



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
REPUBLIK INDONESIA

Kepada Yth.:

Para Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

**SURAT EDARAN
NOMOR : 43/SE/M/2015**

TENTANG

**PEDOMAN PENENTUAN SPEKTRUM RESPONS DESAIN
DI PERMUKAAN TANAH UNTUK JEMBATAN**

A. Umum

Dalam rangka melaksanakan dan melengkapi Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan, perlu menetapkan Pedoman penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan dengan Surat Edaran Menteri. Pedoman tersebut digunakan untuk perencanaan dan atau perancangan pembangunan konstruksi jembatan terhadap beban gempa.

B. Dasar Pembentukan

1. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Daerah Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 8);
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
5. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2014-2019;

6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 08/PRT/M/2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum;
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan;
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan.

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, perancang, perencana dan pelaksana dalam menentukan spektrum respon desain di permukaan tanah sebagai bagian dari perencanaan beban gempa yang penting dalam rangka pembangunan konstruksi jembatan. Tujuannya agar jembatan yang direncanakan memiliki kemungkinan kecil mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan pelayanan akibat gempa.

D. Ruang Lingkup

Pedoman penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan menetapkan prosedur penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan konvensional meliputi penentuan spektrum respons berdasarkan prosedur umum dan prosedur spesifik-situs, penentuan klasifikasi situs, dan perhitungan spektrum respons di permukaan.

E. Penutup

Ketentuan lebih rinci mengenai pedoman ini tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran ini.

**Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 18 Mei 2015**

**MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



Tembusan disampaikan kepada Yth.:
Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

LAMPIRAN
SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR : 43/SE/M/2015

PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

**Penentuan spektrum respons desain
di permukaan tanah untuk jembatan**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

Daftar isi

1	Ruang lingkup	1
2	Acuan normatif	1
3	Istilah dan definisi.....	1
4	Ketentuan.....	3
4.1	Persyaratan ketahanan gempa untuk jembatan	3
4.2	Penentuan beban gempa.....	3
4.3	Persyaratan spektrum respons desain berdasarkan prosedur umum.....	4
4.3.1	Klasifikasi situs	4
4.3.2	Faktor amplifikasi.....	5
4.3.3	Penentuan spektrum respons desain.....	6
4.4	Persyaratan spektrum respons desain berdasarkan prosedur spesifik-situs	7
4.4.1	Identifikasi sumber gempa	8
4.4.2	Pemilihan fungsi atenuasi	9
5	Prosedur penentuan spektrum respons desain di permukaan.....	9
5.1	Penentuan spektrum respons desain dengan prosedur umum.....	10
5.2	Penentuan spektrum respons desain dengan prosedur spesifik situs	16
5.2.1	Identifikasi sumber gempa	17
5.2.2	Pemilihan fungsi atenuasi.....	21
5.2.3	Analisis probabilistik spektrum respons desain di batuan dasar (SB).....	23
5.2.4	Simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal	24
5.2.5	Perambatan gelombang ke permukaan	24
	Lampiran A (informatif) Parameter sumber-sumber gempa.....	27
	Lampiran B (informatif) Contoh penentuan spektrum respons desain menggunakan prosedur umum.....	29
	Lampiran C (informatif) Contoh hasil analisis spesifik situs	33
	Lampiran D (informatif) Rekapitulasi perubahan pada Pedoman Perencanaan Beban Gempa untuk Jembatan (PdT-04-2004-B).....	41
	Gambar 1 - Spektrum respons desain, dibentuk menggunakan metode tiga titik (AASHTO, 2012).....	6
	Gambar 2 - Kriteria empiris untuk mengidentifikasi gempa berdasarkan kriteria magnitudo dan waktu	8
	Gambar 3 - Kriteria empiris untuk mengidentifikasi gempa berdasarkan kriteria magnitudo dan jarak.....	9
	Gambar 4 - Diagram alir penentuan perhitungan menggunakan prosedur umum dan prosedur spesifik-situs	10

Gambar 5 - Tahapan penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah menggunakan prosedur umum	11
Gambar 6 - Percepatan puncak horizontal (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.....	12
Gambar 7 - Percepatan spektral respons horizontal pada periode 0,2 detik di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.	13
Gambar 8 - Percepatan spektral respons horizontal pada periode 1,0 detik di batuan dasar SB untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun	14
Gambar 9 - Tahapan analisis spesifik-situs menggunakan pendekatan probabilistik (Irsyam. M, et al, 2007)	17
Gambar 10 - Tahapan identifikasi sumber gempa.....	18
Gambar 11 - Ilustrasi permodelan perambatan gelombang 1-Dimensi (J.P. Bardet & T Tobita, 2001)	25
Gambar 12 - Kurva <i>tripartite</i> (Kramer, 1996).....	26
Tabel 1 - Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah (AASHTO, 2012).....	3
Tabel 2 - Faktor modifikasi respons (R) untuk hubungan antarelemen struktur	4
Tabel 3 - Klasifikasi situs (AASHTO, 2012).....	4
Tabel 4 - Parameter dan metode pengujian yang digunakan untuk mendapatkan parameter kelas situs	5
Tabel 5 - Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F_{pga} dan F_a) (AASHTO, 2012).....	5
Tabel 6 - Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v) (AASHTO, 2012)	6
Tabel 7 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Sumatra dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).	18
Tabel 8 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Jawa dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).	19
Tabel 9 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Sulawesi dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).	19
Tabel 10 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Papua dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).	20
Tabel 11 - Data dan parameter sumber gempa subduksi (<i>Megathrust</i>) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).....	20
Tabel 12 - <i>Logic tree</i> untuk sumber gempa patahan (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).....	21
Tabel 13 - <i>Logic tree</i> untuk sumber gempa subduksi <i>interface</i> (<i>Megathrust</i>) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).....	22
Tabel 14 - <i>Logic tree</i> untuk sumber gempa subduksi <i>shallow background</i> (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).....	22
Tabel 15 - <i>Logic tree</i> untuk sumber gempa subduksi <i>deep intraslab</i> (<i>Benioff</i>) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).....	23

Prakata

Pedoman penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan merupakan revisi Pd T-04-2004-B, Pedoman Perencanaan Beban Gempa untuk Jembatan dan mengacu pada AASHTO LRFD *Bridge Design Specification, 5th Edition*, 2012. Pedoman ini disusun untuk melengkapi SNI 2833, Standar perancangan jembatan terhadap beban gempa, khususnya mengenai penentuan spektrum respons desain berdasarkan prosedur umum dan analisis spesifik-situs. Revisi mencakup perubahan susunan isi dengan lingkup sesuai dengan judul pedoman, prosedur penentuan klasifikasi situs, prosedur penentuan spektrum respons berdasarkan prosedur umum, dan analisis spesifik-situs.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan 91-01/S2 melalui Gugus Kerja Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 13 Mei 2014 di Bandung, yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Penentuan spektrum respons merupakan bagian dari perencanaan beban gempa yang penting dalam rangka pembangunan konstruksi jembatan. Seiring dengan perjalanan waktu diperlukan pengkinian dalam hal perencanaan beban gempa untuk jembatan.

Parameter sumber gempa yang digunakan untuk membuat peta gempa dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun pada pedoman ini mengacu pada tahapan pembuatan Peta Gempa 2010 dan SNI 1726:2012 yang telah disusun sebelumnya oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia sehingga dapat mewakili kondisi seismisitas di Indonesia yang terkini. Peta gempa dalam pedoman ini meliputi peta percepatan puncak (*Peak Ground Acceleration*, PGA) dan respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1,0 detik di batuan dasar (SB).

Spektrum respons di permukaan tanah dapat ditentukan berdasarkan prosedur umum dan prosedur spesifik-situs. Prosedur umum dilakukan untuk mendapatkan spektrum respons desain di permukaan tanah yang terdiri atas koefisien percepatan puncak gempa rencana untuk koefisien percepatan, A_s , koefisien percepatan periode pendek, SDS, dan koefisien percepatan periode 1 detik, SD1, dengan bantuan peta standar dan faktor amplifikasi yang tersedia pada pedoman ini. Prosedur spesifik-situs dilakukan untuk kondisi apabila lokasi proyek terletak dekat patahan aktif dan masuk kategori situs kelas F (tanah khusus).

Pedoman ini dimaksudkan sebagai pegangan dan petunjuk bagi para pemilik pekerjaan dan perencana untuk mendapatkan spektrum respons desain untuk jembatan.

Penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan prosedur penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk jembatan konvensional. Cakupan bahasan dalam pedoman ini meliputi penentuan spektrum respons berdasarkan prosedur umum dan prosedur spesifik-situs, penentuan klasifikasi situs, dan perhitungan spektrum respons di permukaan. Pengaruh likuifaksi dan pendekatan deterministik untuk analisis spesifik-situs tidak dibahas pada pedoman ini.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

ASTM D 5777, *Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.*

ASTM D 4428, *Standard test methods for crosshole seismic testing.*

ASTM D 7400, *Standard test methods for downhole seismic testing.*

SNI 03-2487-1991, *Standar cara uji kuat geser baling pada tanah kohesif di lapangan.*

SNI 03-3420-1994, *Standar cara uji kuat geser langsung tidak terkonsolidasi tanpa terdrainase.*

SNI 4153:2008, *Standar cara uji penetrasi lapangan dengan SPT.*

SNI 2833, *Standar perancangan jembatan terhadap beban gempa.*

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1

batuan dasar

lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser (V_s) ≥ 750 m/detik dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai kecepatan rambat gelombang geser < 750 m/detik

3.2

faktor modifikasi respons (R)

faktor yang digunakan untuk menghitung kekuatan yang dibutuhkan (*strength demand*) atau kuat rencana elemen struktur berdasarkan analisis elastis akibat perilaku daktail

3.3

jembatan konvensional

jembatan dengan bangunan atas berupa sistem pelat, balok, gelagar boks, dan rangka, kemudian memiliki bangunan bawah yang berupa pilar dan menumpu pada fondasi dangkal atau fondasi tiang; jembatan konvensional berdasarkan kriteria operasional terbagi menjadi jembatan penting, sangat penting, dan lainnya

3.4

jembatan penting (*essential bridges*)

jembatan konvensional yang harus dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun atau setara dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

3.5

jembatan sangat penting (*critical bridges*)

jembatan konvensional yang harus dapat dilalui oleh semua jenis kendaraan (lalu lintas normal) dan dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan segera setelah mengalami gempa dengan periode ulang 1000 tahun atau setara dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

3.6

jembatan lainnya (*other bridges*)

jembatan konvensional yang masih dapat dilalui kendaraan darurat dengan lalu lintas yang terbatas setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun atau setara dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

3.7

kelas situs

klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan hingga kedalaman 30 m

3.8

likuifaksi

kondisi tanah yang kehilangan kuat geser akibat gempa sehingga daya dukung tanah turun secara mendadak

3.9

spektrum respons

nilai yang menggambarkan respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai periode alami yang mengalami redaman akibat suatu goyangan tanah

3.10

prosedur umum

penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk kelas situs tanah keras (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE) dengan bantuan peta standar dan faktor amplifikasi yang tersedia pada pedoman ini

3.11

prosedur spesifik-situs

penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah untuk kondisi lokasi di dekat patahan aktif (kurang dari 10 km) dan kategori kelas situs tanah khusus (SF) dengan menggunakan analisis bahaya seismik probabilistik dan deterministik

3.12

ketidakpastian *aleatory*

ketidakpastian yang timbul karena proses/kejadian alamiah yang variasinya tidak bisa diprediksi

3.13

ketidakpastian *epistemic*

ketidakpastian yang timbul karena masih kurangnya pengetahuan tentang mekanika proses gempa dan masih kurangnya data

4 Ketentuan

4.1 Persyaratan ketahanan gempa untuk jembatan

- Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh tetapi dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun atau setara dengan periode ulang 1000 tahun.
- Bahaya gempa (*seismic hazard*) pada jembatan harus dikarakterisasi menggunakan spektrum respons percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai.

4.2 Penentuan beban gempa

- Gaya gempa harus diasumsikan untuk dapat bekerja dari semua arah lateral.
- Faktor modifikasi respons (R) yang sesuai harus digunakan di kedua arah sumbu ortogonal bangunan bawah.
- Pilar tipe dinding dapat dianalisis sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah.
- Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respons (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antarelemen struktur.
- Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) menggunakan Persamaan 1.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (1)$$

Keterangan:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN);

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke- m ;

R adalah faktor modifikasi respons mengacu pada Tabel 1 dan Tabel 2;

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN).

Tabel 1 - Faktor modifikasi respons (R) untuk bangunan bawah (AASHTO, 2012)

Bangunan bawah	Kategori kepentingan jembatan konvensional		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang:			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit:			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

CATATAN Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar.

Tabel 2 - Faktor modifikasi respons (*R*) untuk hubungan antarelemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber: AASHTO (2012)

4.3 Persyaratan spektrum respons desain berdasarkan prosedur umum

4.3.1 Klasifikasi situs

- a. Penentuan spektrum respons desain harus ditentukan berdasarkan klasifikasi situs proyek dengan menggunakan kriteria pada Tabel 3.

Tabel 3 - Klasifikasi situs (AASHTO, 2012)

Klasifikasi Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N}_{SPT} , atau $\bar{N}_{SPT_{ch}}$	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$, dan 3. Kuat geser niralir, $s_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		
CATATAN N/A = tidak dapat dipakai			
\bar{N}_{SPT} adalah nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata.			
$\bar{N}_{SPT_{ch}}$ adalah nilai rata rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non kohesif.			
\bar{v}_s adalah nilai rata rata kecepatan gelombang geser (m/detik).			
\bar{s}_u adalah nilai rata rata kuat geser niralir lapisan (kPa).			

- b. Parameter kelas situs, yaitu nilai penetrasi standar (N_{SPT}), nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s) dan nilai kuat geser niralir (s_u) didapatkan berdasarkan tata cara pengujian yang berlaku seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 - Parameter dan metode pengujian yang digunakan untuk mendapatkan parameter kelas situs

No	Parameter yang didapatkan	Metode pengujian
1	Nilai penetrasi standar (N_{SPT})	SNI 4153:2008
2	Nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s)	ASTM D 5777 atau ASTM D 4428 atau ASTM D 7400
3	Nilai kuat geser niralir (s_u)	SNI 03-3420-1994 atau SNI 03-2487-1991

- c. Penetapan kelas situs tanah keras (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE) harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah.
- d. Penetapan kelas situs batuan keras (SA) dan batuan dasar (SB) dilakukan menggunakan nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s), namun apabila pada profil lapisan 30 m dari permukaan tanah ditemui lapisan tanah dengan tebal lebih dari 3 m, maka kelas situs batuan keras dan batuan dasar tidak dapat diberlakukan.
- e. Apabila salah satu dari dua parameter menunjukkan kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk, maka kondisi tersebut harus diberlakukan.

4.3.2 Faktor amplifikasi

- a. Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik berdasarkan kelas situsnya ditentukan berdasarkan Tabel 5.

Tabel 5 - Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F_{pga} dan F_a) (AASHTO, 2012)

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA \geq 0,5$ $S_s \geq 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

CATATAN Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier.
 PGA adalah percepatan puncak batuan dasar (SB) mengacu pada Gambar 6;
 S_s adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 0,2 detik mengacu pada Gambar 7;
SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifik-situs.

- b. Faktor amplifikasi seismik pada periode 1,0 detik berdasarkan kelas situsnya ditentukan berdasarkan Tabel 6.

Tabel 6 - Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v) (AASHTO, 2012)

Kelas situs	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

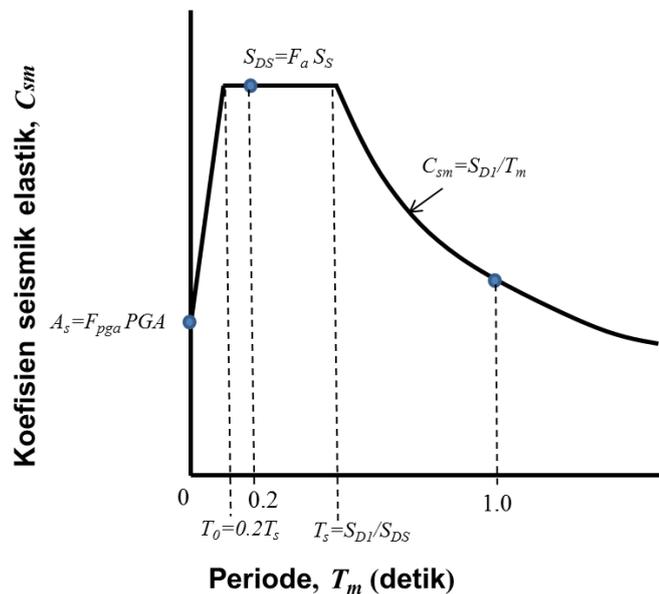
CATATAN Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

S_I adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 1,0 detik mengacu pada Gambar 8.

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifik-situs.

4.3.3 Penentuan spektrum respons desain

- a. Spektrum respons yang dibangun menggunakan prosedur umum adalah untuk rasio redaman 5% dan tidak memasukkan penyesuaian goyangan tanah (*ground motion*) di dekatnya. Penentuan kurva spektrum respons desain di permukaan tanah mengacu pada Gambar 1 dan mengikuti ketentuan ketentuan di bawah ini:



Gambar 1 - Spektrum respons desain, dibentuk menggunakan metode tiga titik (AASHTO, 2012)

$$A_s = F_{pga} PGA \quad (2)$$

$$S_{DS} = F_a S_s \quad (3)$$

$$S_{D1} = F_v S_I \quad (4)$$

Keterangan:

- F_{pga} adalah koefisien situs untuk percepatan puncak di batuan dasar mengacu klasifikasi situs seperti diperlihatkan pada Tabel 5;
- PGA adalah percepatan puncak horizontal di batuan dasar (SB) (Gambar 6);
- F_a adalah koefisien situs untuk percepatan spektral periode 0,2 detik seperti diperlihatkan pada Tabel 5;
- S_s adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 0,2 detik mengacu pada Gambar 7;
- F_v adalah koefisien situs untuk percepatan spektral periode 1,0 detik seperti diperlihatkan pada Tabel 6;
- S_l adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 1,0 detik mengacu pada Gambar 8.

- b. Untuk periode kurang atau sama dengan T_0 , koefisien seismik elastik, C_{sm} ditentukan menggunakan Persamaan berikut:

$$C_{sm} = A_s + (S_{DS} - A_s) \frac{T_m}{T_0} \quad (5)$$

$$T_0 = 0,2T_s \quad (6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (7)$$

Keterangan:

- A_s adalah koefisien percepatan puncak gempa rencana;
- S_{DS} adalah koefisien percepatan respons spektral rencana periode 0.2 detik;
- S_{D1} adalah koefisien percepatan periode 1 detik;
- T_m adalah periode getar fundamental struktur (detik);
- T_0 adalah periode referensi yang digunakan untuk menentukan bentuk spektral (detik).

- c. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan kurang dari atau sama dengan T_s , koefisien seismik elastik, C_{sm} , ditentukan sebagai berikut:

$$C_{sm} = S_{DS} \quad (8)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien seismik elastik, C_{sm} , didefinisikan sebagai berikut.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T_m} \quad (9)$$

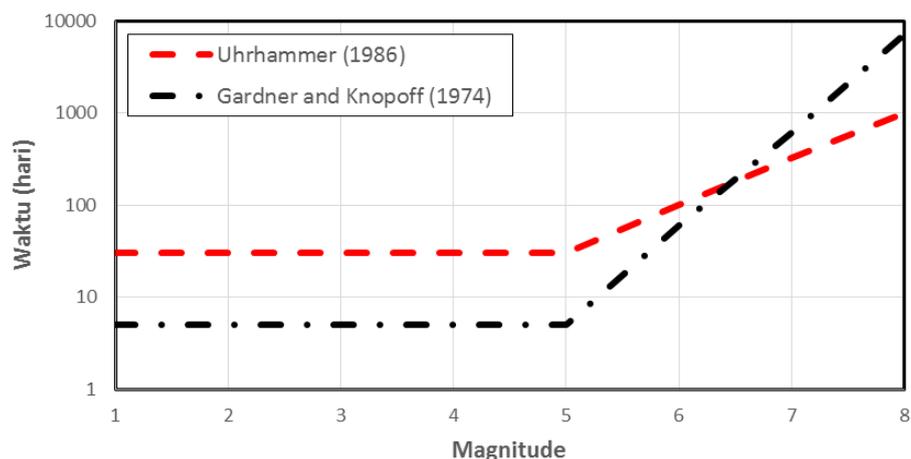
4.4 Persyaratan spektrum respons desain berdasarkan prosedur spesifik-situs

- Spektrum respons desain di permukaan tanah pada prosedur ini harus didapatkan menggunakan analisis perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah menggunakan metode probabilitas total.
- Analisis probabilitas gerak tanah spesifik-situs harus menghasilkan spektrum respons desain yang memperhitungkan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun pada nilai spektral dalam rentang periode yang ditentukan.
- Riwayat waktu gerak tanah batuan dasar harus menjadi masukan ke dalam profil tanah sebagai gerak dari referensi batuan dasar.
- Dengan menggunakan teknik perhitungan yang memberlakukan sifat tanah secara nonlinier ke dalam suatu metode nonlinier atau linier ekuivalen, maka respons profil tanah harus ditentukan dan respons riwayat waktu gerak tanah di permukaan harus dihitung.
- Rasio spektrum respons (dengan redaman 5%) di permukaan tanah dan di batuan dasar harus dihitung.

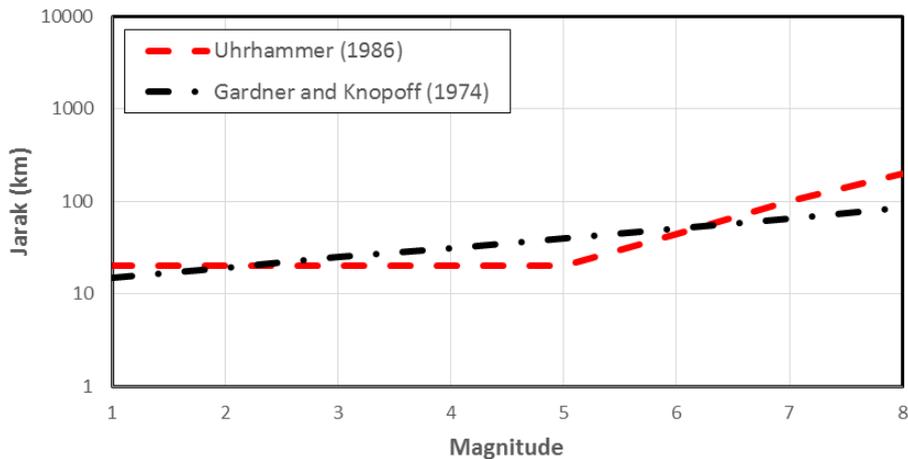
- f. Gerak dasar permukaan yang direkomendasikan dari hasil analisis harus menggambarkan pertimbangan atas sensitivitas respons terhadap ketidakpastian sifat-sifat tanah, kedalaman model tanah dan gerak tanah masukan (*input motion*).
- g. Sekurang-kurangnya disyaratkan 5 (lima) rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal yang harus dipilih dari beberapa kejadian gempa dengan magnitudo dan jarak sumber gempa (patahan/subduksi) yang secara konsisten mengontrol gerak tanah gempa. Setiap riwayat waktu yang dipilih tersebut harus diskalakan, sehingga spektrum responsnya secara rata-rata dekat dengan level spektrum respons gempa batuan dasar (SB) pada rentang periode yang signifikan dari respons struktur jembatan yang akan direncanakan.

4.4.1 Identifikasi sumber gempa

- a. Ketidakpastian dalam pemodelan sumber gempa dan parameter harus diperhitungkan dalam analisis.
- b. Dokumen analisis bahaya gempa harus ditelaah oleh tenaga ahli yang terkait.
- c. Identifikasi sumber gempa didasarkan pada kondisi tektonik di sekitar lokasi proyek dengan mengacu dan tidak terbatas pada parameter sumber gempa yang diperlihatkan pada Lampiran A. Bila terdapat sumber gempa aktif lainnya yang telah dipublikasikan secara ilmiah, maka sumber gempa tersebut dapat digunakan.
- d. Data-data kejadian gempa dikumpulkan dalam suatu katalog gempa yang meliputi dan tidak terbatas pada katalog gempa yang disusun oleh lembaga-lembaga nasional maupun internasional. Selanjutnya katalog gempa yang digunakan adalah gempa utama dengan menggunakan kriteria mengacu pada Gardner dan Knopoff (1974) atau Uhrhammer (1986) seperti diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Kriteria ini dikembangkan berdasarkan suatu rentang waktu dan jarak tertentu dari satu kejadian gempa besar dan dalam penggunaannya, kedua kriteria tersebut digunakan secara bersamaan.



Gambar 2 - Kriteria empiris untuk mengidentifikasi gempa berdasarkan kriteria magnitudo dan waktu



Gambar 3 - Kriteria empiris untuk mengidentifikasi gempa berdasarkan kriteria magnitudo dan jarak

4.4.2 Pemilihan fungsi atenuasi

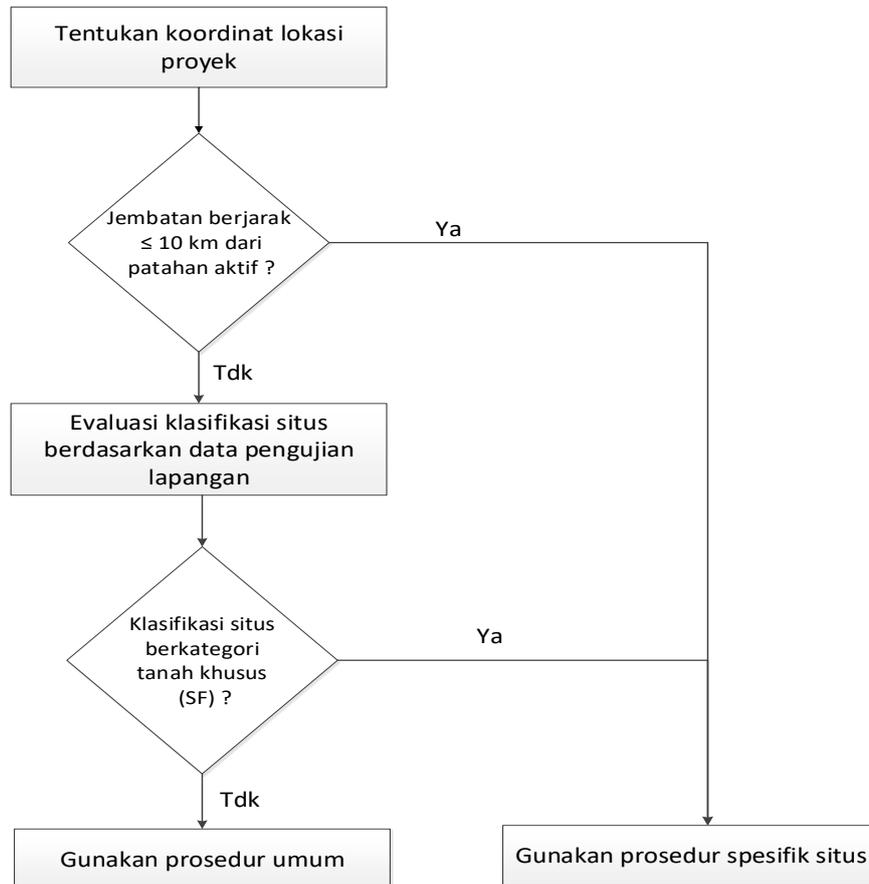
- a. Penentuan besarnya percepatan maksimum dan respons spektra di batuan dasar dengan metode probabilistik harus mempertimbangkan ketidakpastian *aleatory* (lokasi gempa, magnitudo dan karakteristiknya serta proses pecahnya patahan) dan *epistemic* (lokasi dan batas/luasan sumber gempa, distribusi gempa dan magnitudo maksimum, seismisitas (*activity rate*) dan variasi karakteristik *ground motion* dalam rumus atenuasi dengan menggunakan *expert judgment* dalam bentuk *logic-tree*.
- b. Pemilihan fungsi atenuasi harus didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah ketika fungsi atenuasi itu dibuat. Fungsi atenuasi yang digunakan disarankan untuk menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), yang dalam pembuatannya sudah menggunakan data gempa *global* (*worldwide data*).

5 Prosedur penentuan spektrum respons desain di permukaan

Spektrum respons percepatan di permukaan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum (Pasal 5.1) atau berdasarkan prosedur spesifik-situs (Pasal 5.2). Prosedur spesifik-situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut :

1. jembatan berjarak ≤ 10 km dari patahan aktif;
2. situs fungsi masuk dalam kategori situs kelas *F* sesuai Tabel 3.

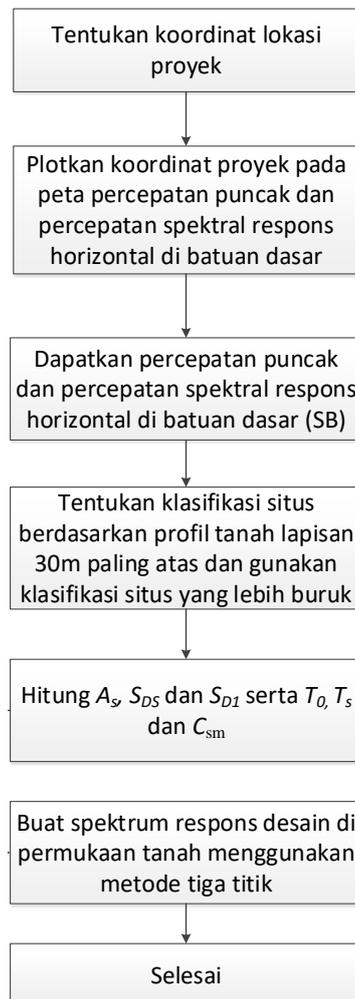
Bila riwayat percepatan digunakan untuk karakterisasi bahaya gempa pada situs tertentu, maka riwayat percepatan tersebut harus sesuai dengan Pasal 5.2. Tahapan penentuan penggunaan prosedur umum atau prosedur spesifik-situs dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 4 - Diagram alir penentuan perhitungan menggunakan prosedur umum dan prosedur spesifik-situs

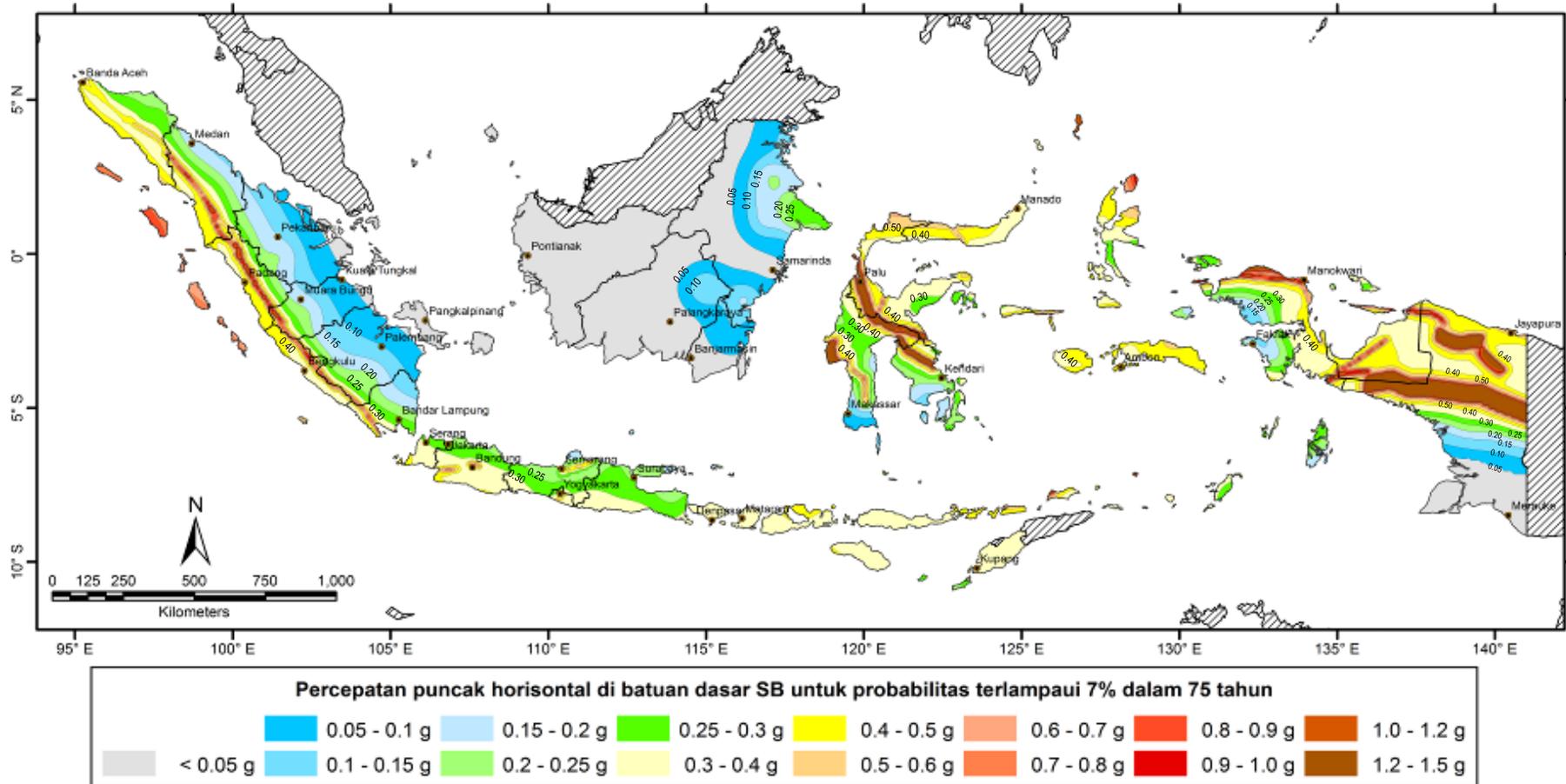
5.1 Penentuan spektrum respons desain dengan prosedur umum

Prosedur umum dilakukan untuk mendapatkan spektrum respons desain di permukaan tanah yang terdiri atas koefisien percepatan puncak gempa rencana untuk koefisien percepatan, A_s , koefisien percepatan periode pendek, S_{DS} , dan koefisien percepatan periode 1 detik, S_{D1} , dengan bantuan peta standar dan faktor amplifikasi yang tersedia pada pedoman ini. Tahapan yang diperlukan untuk mendapatkan koefisien tersebut dapat mengacu pada Gambar 5.



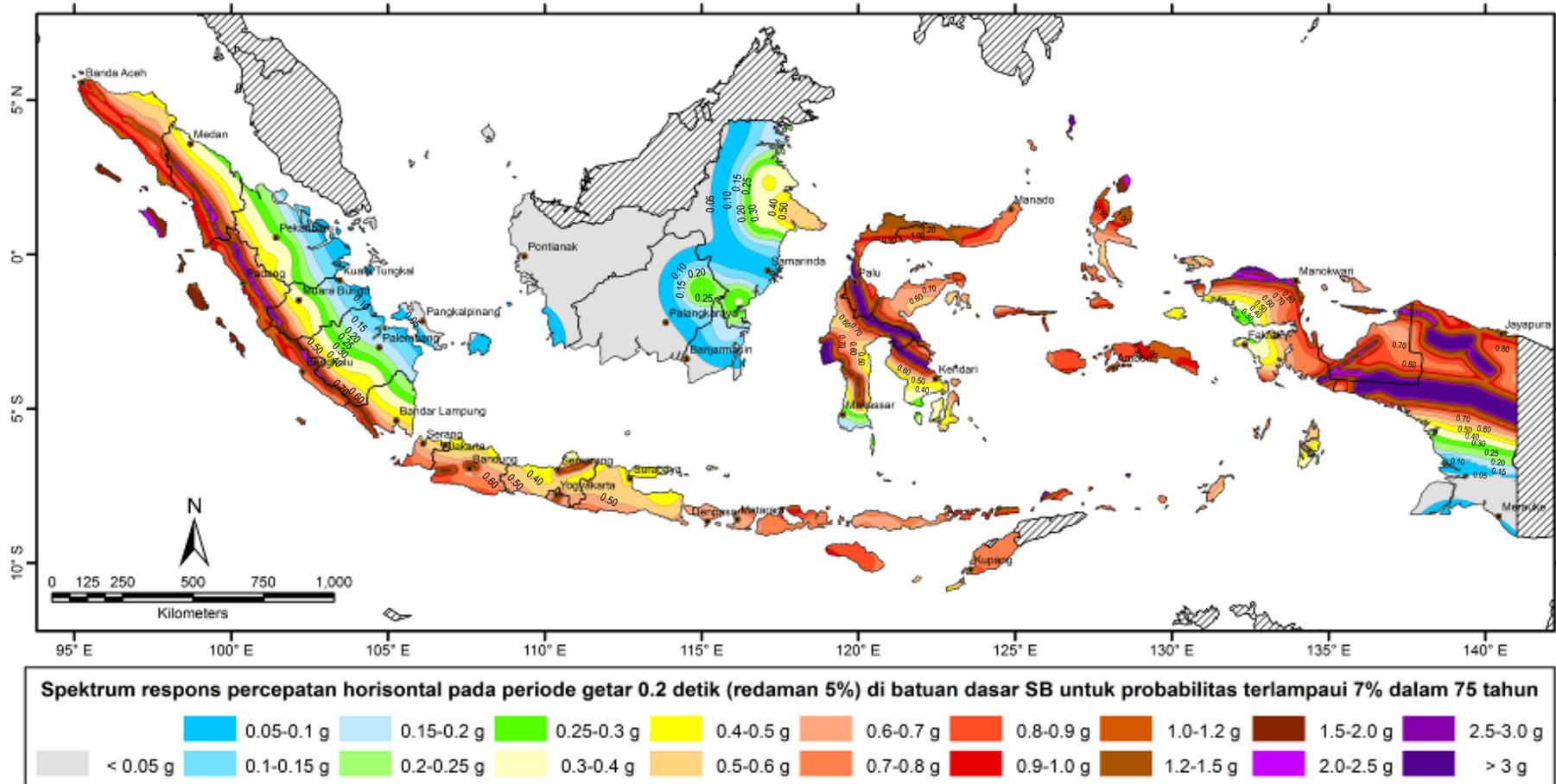
Gambar 5 - Tahapan penentuan spektrum respons desain di permukaan tanah menggunakan prosedur umum

1. Tentukan koordinat lokasi proyek berdasarkan pengukuran *Global Positioning System* (GPS) dengan referensi spasial *World Geodetic System* (WGS) 84.
2. Plotkan koordinat proyek (Bujur timur dan lintang utara atau lintang selatan) pada peta percepatan puncak dan percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.
3. Dapatkan percepatan puncak dan percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB). Interpolasi linier dapat digunakan pada lokasi proyek yang berada di antara garis kontur.



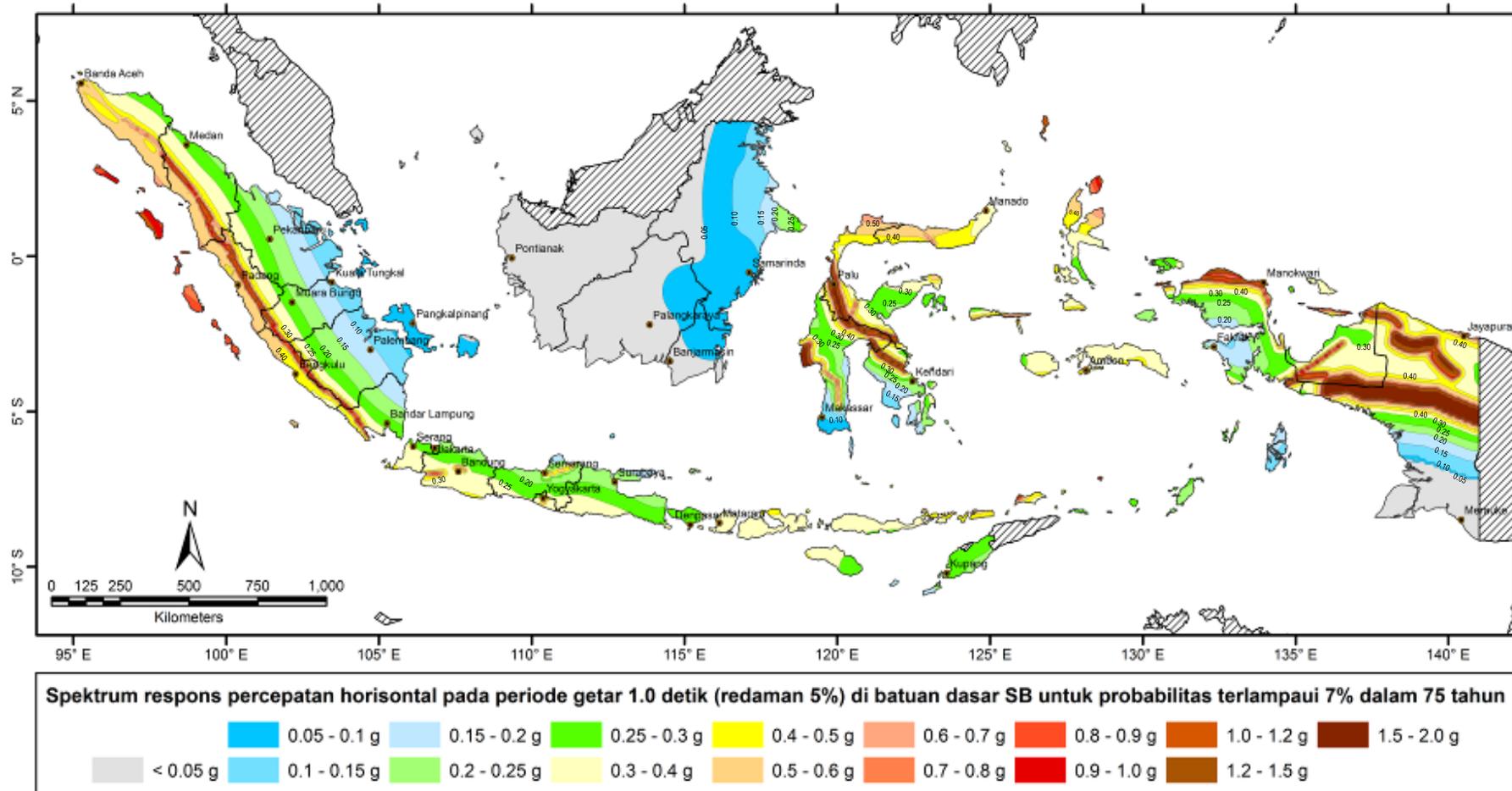
Sumber: M. Asrurifak, M. Irsyam, F. Aldiarnar (2012)

Gambar 6 - Percepatan puncak horizontal (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Sumber: M. Asrurifak, M. Irsyam, F. Aldiamar (2012)

Gambar 7 - Percepatan spektral respons horisontal pada periode 0,2 detik di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.



Sumber: M. Asrurifak, M. Irsyam, F. Aldiarnar (2012)

Gambar 8 - Percepatan spektral respons horizontal pada periode 1,0 detik di batuan dasar SB untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

4. Tentukan klasifikasi situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas dengan mengacu pada ketentuan 4.3.1. Tahapan penentuan klasifikasi situs adalah sebagai berikut:
- Dapatkan profil lapisan 30 m dari permukaan tanah yang terdiri dari nilai penetrasi standar (N_{SPT}) dan nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s) atau nilai kuat geser niralir (s_u).
 - Tentukan \bar{N}_{SPT} atau, $\bar{N}_{SPT\ ch}$, \bar{v}_s dan, (\bar{s}_u) berdasarkan Persamaan (10), (11), (13) dan (14). Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke- n dari atas ke bawah, sehingga ada total n -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut. Bila sebagian dari lapisan n adalah kohesif dan yang lainnya non kohesif, maka k adalah jumlah lapisan kohesif dan m adalah jumlah lapisan non kohesif. Simbol i mengacu pada lapisan antara 1 dan n .

- Nilai \bar{N}_{SPT} , dan $\bar{N}_{SPT\ ch}$ harus ditentukan sesuai dengan Persamaan berikut:

$$\bar{N}_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (10)$$

$$\bar{N}_{SPT\ ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s \quad (12)$$

Keterangan:

\bar{N}_{SPT} adalah nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata;

$\bar{N}_{SPT\ ch}$ adalah nilai tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non kohesif;

N_i adalah tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi;

d_i adalah tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 m sampai 30 m (m);

d_s adalah tebal total lapisan tanah non kohesif (m);

$\sum_{i=1}^n d_i$ adalah jumlah ketebalan lapisan tanah = 30 m.

- Nilai \bar{v}_s harus ditentukan sesuai dengan Persamaan berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (13)$$

Keterangan:

v_{si} adalah kecepatan gelombang geser lapisan i dinyatakan dalam meter per detik (m/detik).

- Nilai \bar{s}_u harus ditentukan sesuai dengan Perumusan berikut:

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (15)$$

Keterangan:

d_c adalah ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas (m);

s_{ui} adalah kuat geser niralir lapisan i dinyatakan dalam kPa, dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa seperti yang ditentukan dan sesuai dengan tata cara yang berlaku.

- c. Nilai \bar{N}_{SPT} atau, \bar{N}_{SPTch} , \bar{v}_s dan, (\bar{s}_u) yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk menentukan klasifikasi situs lokasi proyek berdasarkan kriteria pada Tabel 3.

5. Hitung A_s , S_{DS} dan S_{DI} serta T_0 , T_s dan C_{sm} dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Tentukan faktor amplifikasi seismik pada PGA , periode 0,2 detik dan periode 1,0 detik berdasarkan klasifikasi situs lokasi proyek yang telah didapatkan pada butir c dengan mengacu pada ketentuan 4.3.2. Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik berdasarkan kelas situsnya dapat ditentukan berdasarkan Tabel 5. Faktor amplifikasi seismik pada periode 1,0 detik berdasarkan kelas situsnya dapat ditentukan berdasarkan Tabel 6. Interpolasi linier dapat digunakan pada nilai PGA , S_s dan S_j yang berada di antara nilai yang tercantum pada Tabel 5 dan Tabel 6.
- b. Hitung nilai A_s , S_{DS} dan S_{DI} menggunakan Persamaan (2), (3) dan (4).
- c. Hitung T_0 dan T_s menggunakan Persamaan (6) dan (7).
- d. Hitung C_{sm} menggunakan Persamaan (5), (8) dan (9) sesuai persyaratan yang dinyatakan pada ketentuan 4.3.3.

6. Pembuatan spektrum respons desain di permukaan tanah menggunakan metode tiga titik mengacu pada Gambar 1 sesuai persyaratan yang dinyatakan pada ketentuan 4.3.3 dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Plotkan nilai A_s , S_{DS} dan S_{DI} pada periode 0 detik, 0,2 detik dan 1,0 detik.
- b. Plotkan nilai T_0 dan T_s dengan nilai C_{sm} yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya.
- c. Buat spektrum respons desain dengan menarik garis yang menghubungkan nilai A_s , S_{DS} , S_{DI} dan C_{sm} berdasarkan periodenya.

5.2 Penentuan spektrum respons desain dengan prosedur spesifik situs

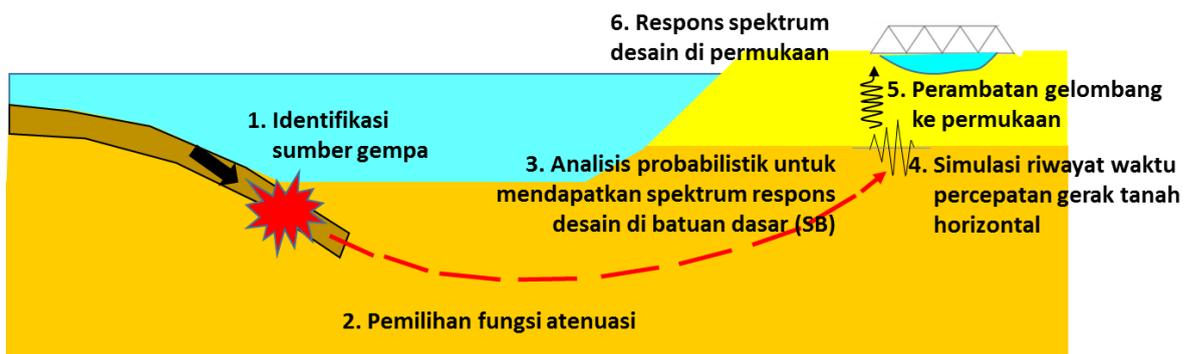
Prosedur spesifik-situs adalah prosedur untuk pembuatan spektrum respons desain di permukaan bila terdapat kondisi khusus seperti diperlihatkan pada Gambar 4 atau di lokasi manapun sesuai dengan persetujuan pemilik pekerjaan.

Untuk keperluan analisis respons spesifik-situs, maka suatu model respons situs harus

didasarkan pada nilai penetrasi standar (N_{SPT}) dan nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s) atau nilai kuat geser niralir (s_u) berdasarkan tata cara pengujian sesuai ketentuan pada pasal 4.3.b.

Pendekatan probabilistik dilakukan pada kondisi yang memungkinkan ketidakpastian untuk diidentifikasi, diukur dan digabungkan pada suatu hubungan yang rasional untuk menghasilkan gambaran yang terperinci/detail dalam perhitungan analisis spesifik-situs.

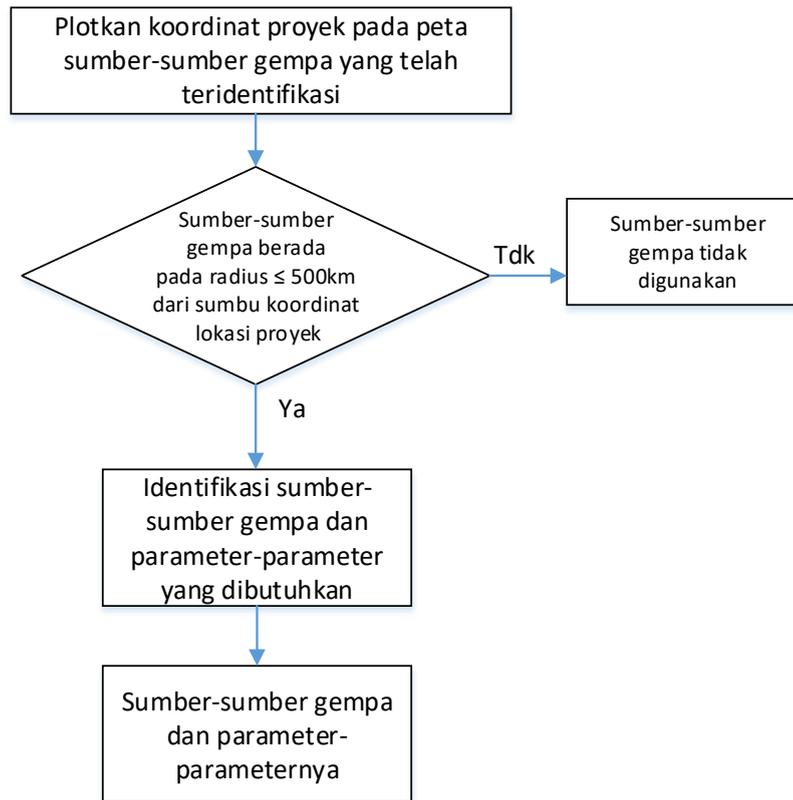
Tahapan analisis spesifik-situs menggunakan pendekatan probabilistik diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9 - Tahapan analisis spesifik-situs menggunakan pendekatan probabilistik (Irsyam. M, et al, 2007)

5.2.1 Identifikasi sumber gempa

Tahapan identifikasi sumber gempa dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 - Tahapan identifikasi sumber gempa

Penjelasan setiap tahapan adalah sebagai berikut.

1. Plotkan koordinat proyek pada peta sumber-sumber gempa yang telah teridentifikasi mengacu dan tidak terbatas pada lampiran A.
2. Area sumber gempa yang harus diperhitungkan pada analisis spesifik-situs adalah dengan radius sebesar 500 km dari sumbu koordinat lokasi proyek. Bila terdapat sumber-sumber gempa dengan radius ≥ 500 km, maka data tersebut tidak digunakan.
3. Identifikasi sumber-sumber gempa dan parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu subduksi dan patahan sebagai berikut:
 - a. Sumber gempa patahan dengan menggunakan parameter-parameter pada Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9 dan Tabel 10.
 - b. Sumber gempa subduksi dengan menggunakan parameter-parameter pada Tabel 11.

Tabel 7 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Sumatera dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

No.	Patahan Nama	Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
		mm/tahun	Bobot						
1	Aceh	2	1	Patahan geser	90	-3	-20	230	7,70
2	Seulimeum	2,5	1	Patahan geser	90	-3	-20	120	7,50
3	Tripa	6	1	Patahan geser	90	-3	-20	180	7,70
4	Renun	27	1	Patahan geser	90	-3	-20	220	7,80
5	Toru	24	1	Patahan geser	90	-3	-20	95	7,40
6	Angkola	19	1	Patahan geser	90	-3	-20	160	7,60
7	Barumun	4	1	Patahan geser	90	-3	-20	125	7,50

Tabel 8 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Sumatera dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010) (lanjutan)

No.	Patahan Nama	Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
		mm/tahun	Bobot						
8	Sumpur	23	1	Patahan geser	90	-3	-20	35	6,90
9	Sianok	23	1	Patahan geser	90	-3	-20	90	7,30
10	Sumani	23	1	Patahan geser	90	-3	-20	60	7,20
11	Suliti	23	1	Patahan geser	90	-3	-20	95	7,40
12	Siulak	23	1	Patahan geser	90	-3	-20	70	7,20
13	Dikit	11	1	Patahan geser	90	-3	-20	60	7,20
14	Ketaun	11	1	Patahan geser	90	-3	-20	85	7,30
15	Musi	11	1	Patahan geser	90	-3	-20	70	7,20
16	Manna	11	1	Patahan geser	90	-3	-20	85	7,30
17	Kumering	11	1	Patahan geser	90	-3	-20	150	7,60
18	Semangko	5	1	Patahan geser	90	-3	-20	65	7,20
19	Sunda	5	1	Patahan geser	90	-3	-20	150	7,60

Tabel 9 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Jawa dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

No.	Patahan Nama	Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
		mm/tahun	Bobot						
1	Cimandiri	4	1	Patahan geser	90	-3	-18	62,2	7,20
2	Opak (Jogja)	2,4	1	Patahan geser	90	-3	-18	31,6	6,80
3	Lembang	1,5	1	Patahan geser	90	-3	-18	34,4	6,60
4	Pati	0,5	1	Patahan geser	90	-3	-18	51,4	6,80
5	Lasem	0,5	1	Patahan geser	90	-3	-18	114,9	6,50
6	Flores back-arc	28	1	Patahan naik	45	-3	-20	504,6	7,80
7	Timor back-arc	30	1	Patahan naik	45	-3	-20	468,0	7,50
8	Wetar back-arc	30	1	Patahan naik	45	-3	-20	653,0	7,50
9	Sumba normal	10	1	Patahan turun	60	-3	-18	339,9	8,30
10	South Seram thrust	11	1	Patahan turun	45	-3	-20	415,5	7,50

Tabel 10 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Sulawesi dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

No.	Patahan Nama	Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
		mm/tahun	Bobot						
1	Palu-Koro	30	0,25	Patahan geser	50	-3	-18	459	7,94
		35	0,5						
		44	0,25						
2	Poso	2	1	Patahan geser	90	-3	-18	55	6,93
3	Matano	37	0,5	Patahan geser	90	-3	-18	541	7,90
		44	0,5						
4	Lawanopo	25	1	Patahan geser	70	-3	-15	303	7,59
5	Walanae	2	1	Patahan geser	90	-3	-18	227	7,53
6	Gorontalo	11	1	Patahan geser	80	-3	-15	93	7,06
7	Batui thrust	2	1	Patahan naik	40	-3	-18	48	7,06
8	Tolo thrust	9	0,5	Patahan naik	25	-3	-20	220	7,94
		19	0,5						
9	Makassar thrust	4	0,5	Patahan naik	25	-3	-20	72	7,46
		13	0,5						
10	Sulu thrust	10	1	Patahan naik	45	-3	-18	72	7,19
11	West Molucca sea	13	1	Patahan turun	30	-3	-30	567	8,47
12	East Molucca sea	29	1	Patahan turun	40	-3	-30	730	8,47

Tabel 11 - Data dan parameter sumber gempa patahan untuk daerah Papua dan sekitarnya (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).

No.	Patahan Nama	Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
		mm/tahun	Bobot						
70	Yapen	46	1	Patahan geser	90	-3	-18	391,4	7,90
71	Tarera Aidun	20	1	Patahan geser	90	-3	-18	102,2	7,30
72	Sula	8.5	1	Patahan geser	90	-3	-18	753,6	7,70
73	West Sorong	8.5	1	Patahan geser	90	-3	-18	292,5	7,90
74	East Sorong	17	1	Patahan geser	90	-3	-18	420,7	7,60
75	Ransiki	8.5	1	Patahan geser	90	-3	-18	225,8	7,60
76	West Mamberambo	22	1	Patahan naik	30	-3	-20	150,4	7,12
77	East Mamberambo	22	1	Patahan naik	30	-3	-20	113,3	7,90
78	Manokwari	10	1	Patahan naik	20	-3	-20	218,1	7,90
79	Waipago	2	1	Patahan geser	90	-3	-20	203,5	6,80
80	Highland thrust belt	10	1	Patahan naik	20	-3	-18	522,0	7,20
81	North Papua thrust	12	1	Patahan turun	20	-3	-20	1176,1	8,20

Tabel 12 - Data dan parameter sumber gempa subduksi (Megathrust) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010).

No.	Nama	M _{max}	b-val	a-val	M _{max}	
					GR	Char
1	Megathrust Andaman-Sumatra	9,2	0,826	4,69	8,0	9,2
2	Megathrust Nias	8,7	0,878	4,71	8,7	8,7
3	Megathrust Siberut	8,5	0,970	5,35	8,5	8,5
4	Megathrust bagian selatan Sumatra	7,9	1,050	5,76	8,2	8,2
5	Megathrust Jawa	8,1	1,100	6,14	8,1	8,1
6	Megathrust Sumba	7,8	1,200	6,81	7,8	-
7	Megathrust Timor	7,9	1,600	9,09	7,9	-
8	Megathrust laut Banda utara	7,9	1,200	7,26	7,9	-
9	Megathrust laut Banda selatan	7,1	1,340	7,56	7,0	-
				7,56	7,4	-
10	Megathrust Sulawesi Utara	7,9	0,914	4,82	8,2	-
11	Megathrust Philipina	8,2	0,878	4,64	8,2	-

- c. Model *gridded seismicity* digunakan untuk sumber gempa *background* dan subduksi *intraslab* berdasarkan pada laju gempa (*seismicity rates*) secara *spatially smoothed* (Frankel, 1995). *Seismicity rate* dari model ini didapatkan dari perhitungan gempa di *grid-cell* dengan dimensi 0.1° kali 0.1° bujur timur dan lintang utara atau lintang selatan. Untuk tiap sel *i*, nilai *smooth* \hat{n}_i diperoleh dari Persamaan (16).

$$\hat{n}_i = \frac{\sum_j n_j e^{-\Delta_{ij}^2 / c^2}}{\sum_j e^{-\Delta_{ij}^2 / c^2}} \quad (16)$$

Keterangan:

- Δ_{ij} adalah jarak antara sel ke *i* dan sel ke *j*;
c adalah korelasi jarak;
n adalah nilai grid.

Model *gridded* ini dalam analisisnya dibagi dalam lima interval kedalaman, yaitu *shallow background source* (0 km – 50 km), dan subduksi *intraslab* (50 km – 100 km), (100 km – 150 km), (150 km – 200 km) dan (200 km – 300 km) menggunakan

data gempa utama sesuai ketentuan 4.4.1 dan dihitung dengan bantuan peranti lunak.

4. Hasil yang didapatkan dari proses tahap ini adalah sumber-sumber gempa beserta parameter-parameternya yang selanjutnya digunakan pada proses analisis probabilistik.

5.2.2 Pemilihan fungsi atenuasi

Dalam analisis probabilistik, fungsi atenuasi yang digunakan untuk masing-masing model sumber gempa mengacu pada ketentuan 4.4.2 dan tidak terbatas pada fungsi atenuasi berikut ini:

1. Sumber gempa *shallow crustal*, untuk model sumber gempa patahan dan *shallow background*:
 - a. Boore and Atkinson (2008).
 - b. Campbell and Bozorgnia (2008).
 - c. Chiou and Youngs (2008).
2. Sumber gempa subduksi *interface (Megathrust)*, untuk model sumber gempa subduksi:
 - a. Youngs et al. SRL (1997).
 - b. Atkinson and Boore (2003).
 - c. Zhao et al (2006).
3. Sumber gempa *Benioff (deep intraslab)*, untuk model sumber gempa *intraslab*:
 - a. Atkinson-Boore, Cascadia (2003).
 - b. Youngs et al (1997).
 - c. Atkinson-Boore, Worldwide (2003).

Penggunaan masing-masing model sumber gempa, ketidakpastian dan fungsi atenuasi didasarkan pada *logic tree* dan pembobotan mengacu pada Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14, dan Tabel 15.

Tabel 13 - Logic tree untuk sumber gempa patahan (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

Model Patahan	Ketidakpastian Magnitude	Fungsi atenuasi
Patahan	<i>Characteristic</i> 0,66 <ul style="list-style-type: none"> $M_{max} - 0,2$ 0,2 M_{max} 0,6 $M_{max} + 0,2$ 0,2 	Boore-Atkinson NGA (2008) 1/3
		Campbell-Borozognia NGA (2008) 1/3
		Chiou-Youngs NGA (2008) 1/3
	<i>Gutenberg Richter</i> 0,34 <ul style="list-style-type: none"> $M_{6,5}$ 0,2 M_{max} 0,6 $M_{max} + 0,2$ 0,2 	Boore-Atkinson NGA (2008) 1/3
		Campbell-Borozognia NGA (2008) 1/3
		Chiou-Youngs NGA (2008) 1/3

Tabel 14 - Logic tree untuk sumber gempa subduksi *interface* (*megathrust*) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

Model Subduksi	Ketidakpastian Magnitude	Fungsi atenuasi
Subduksi	<p><i>Characteristic</i></p> <p>0,5</p> <p>$M_{max} - 0,2$ 0,2</p> <p>M_{max} 0,6</p> <p>$M_{max} + 0,2$ 0,2</p>	<p>Youngs, et al., (1997) 0,25</p> <p>Atkinson-Boore., (2003) 0,25</p> <p>Zhao, et al., (2006) 0,5</p>
	<p><i>Gutenberg Richter</i></p> <p>0,5</p> <p>M7,0 0,2</p> <p>M_{max} 0,6</p> <p>$M_{max} + 0,2$ 0,2</p>	<p>Youngs, et al., (1997) 0,25</p> <p>Atkinson-Boore., (2003) 0,25</p> <p>Zhao, et al., (2006) 0,5</p>

Tabel 15 - Logic tree untuk sumber gempa subduksi *shallow background* (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

Model gempa <i>shallow background</i>	Ketidakpastian magnitudo dan mekanisme	Fungsi atenuasi
Katalog gempa utama Kedalaman 0 s/d 50 km	<p>M5 s/d M6,5</p> <p>Patahan geser 0,33</p> <p>Patahan naik 0,33</p> <p>Patahan turun 0,33</p>	<p>Youngs, et al., (1997) 0,25</p> <p>Atkinson-Boore., (2003) 0,25</p> <p>Zhao, et al., (2006) 0,5</p>

Tabel 16 - Logic tree untuk sumber gempa subduksi deep intraslab (Benioff) (Tim Revisi Peta Gempa, 2010)

Model gempa deep intraslab (benioff)	Ketidakpastian magnitudo dan mekanisme	Fungsi atenuasi
Katalog gempa utama Kedalaman 50 s/d 300km	M5 s/d M7,8 <div style="text-align: center;"> </div>	<div style="text-align: center;"> </div>

5.2.3 Analisis probabilistik spektrum respons desain di batuan dasar (SB)

Kurva bahaya seismik (*seismic hazard curve*) bisa didapatkan berdasarkan sumber gempa dan kombinasi sumber gempa untuk menggambarkan kumpulan bahaya gempa pada situs tertentu. Tahapan untuk mendapatkan kurva bahaya seismik adalah sebagai berikut:

- Untuk suatu kejadian gempa, probabilitas parameter goyangan tanah (*ground motion*) akan melampaui nilai tertentu, y^* dapat dihitung menggunakan teori probabilitas total sebagai berikut:

$$P[Y > y^*] = \iint P[Y > y^* | m, r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (17)$$

Keterangan:

- Y adalah parameter goyangan tanah;
- y^* adalah nilai tertentu yang dinyatakan;
- $f_M(m)$ adalah *probability density functions* untuk magnitudo;
- $f_R(r)$ adalah *probability density functions* untuk jarak.

- Selanjutnya hitung *total average exceedance rate* untuk suatu area dihitung dengan bantuan peranti lunak menggunakan Persamaan dasar berikut:

$$\lambda_{y^*} = \sum_{i=1}^{N_s} v_i \iint P[Y > y^* | m, r] f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dm dr \quad (18)$$

$$v_i = \exp(\alpha_i - \beta_i m_0) \quad (19)$$

Keterangan:

- v_i adalah *threshold magnitude of exceedance*;
- m_0 adalah magitudo *threshold* terendah;
- α dan β adalah parameter yang didapatkan dari hukum *recurrence Gutenberg-Richter*.

- c. Perkiraan probabilitas terlampaui dalam interval waktu tertentu dapat dihitung menggunakan Persamaan dasar berikut.

$$P[Y_T > y^*] = 1 - e^{-\lambda_{y^*} T} \quad (20)$$

Keterangan:

T adalah periode waktu.

- d. Luaran dari hasil analisis probabilistik adalah spektrum respons desain di batuan dasar (SB) beserta spektrum respons target untuk masing-masing sumber gempa dan periode ulang desain untuk kebutuhan pencocokan spektral (*spectral matching*).

5.2.4 Simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal

Untuk mendapatkan riwayat percepatan gerak tanah horizontal, maka tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Lakukan pemilihan catatan gerakan tanah (*ground motion records*) dengan keserupaan magnitude, jarak dan karakteristik sumber gempa yang didapatkan dari proses *deaggregation* menggunakan bantuan peranti lunak menggunakan Persamaan dasar berikut:

$$\lambda_{y^*}(m_j, r_k) \approx P[M = m_j] P[R = r_k] \sum_{i=1}^{N_s} v_i P[Y > y^* | m_j, r_k] \quad (21)$$

Keterangan:

$P[M = m_j]$ adalah probabilitas magnitude;

$P[R = r_k]$ adalah probabilitas jarak.

- b. Periode deagregasi yang ditinjau adalah PGA, 0,2 detik dan 1,0 detik, dan sumber gempa yang ditinjau adalah keseluruhan sumber gempa (subduksi, patahan dan *background*) dan masing-masing sumber gempa secara terpisah berdasarkan mekanismenya
- c. Hasil luaran proses deagregasi berupa *probability density* jarak, magnitude dan sumber gempa yang mengontrol suatu lokasi proyek yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan catatan gerakan tanah.
- d. Setelah diketahui tipe sumber gempa, jarak dan magnitude yang mengontrol pada suatu lokasi situs, selanjutnya dilakukan pencarian dan pengumpulan catatan gerakan tanah yang memiliki keserupaan karakteristik dengan jumlah catatan mengacu pada ketentuan 4.4
- e. Selanjutnya dilakukan pencocokan spektral dengan mengacu pada kode pencocokan spektral domain-waktu (Linda Al Atik, et al., 2010) menggunakan catatan gerakan tanah yang didapatkan pada butir d sebagai *input* dan spektrum respons target yang didapatkan pada 5.2.1.3 sebagai target batas pencocokan. Mengingat banyaknya iterasi yang diperlukan dalam analisis ini, maka diperlukan bantuan peranti lunak untuk menghitungnya.
- f. Hasil yang didapatkan pada tahap ini adalah gerakan tanah sintesis berupa riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal.

5.2.5 Perambatan gelombang ke permukaan

Untuk mendapatkan spektrum respons desain di permukaan, maka tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Lakukan tahap penentuan klasifikasi situs, yaitu tahapan pengklasifikasian berdasarkan profil lapisan tanah 30 m paling atas dengan tahapan yang sama dengan tahapan pada prosedur umum (Pasal 5.1) dan penentuan kedalaman batuan dasar (SB) di lokasi proyek berdasarkan pengujian lapangan atau laboratorium.
- Setelah diketahui parameter tanah diatas batuan dasar, maka dilakukan permodelan menggunakan peranti lunak analisis seismik *equivalent linier atau non linier* pada lapisan tanah berlapis horizontal dengan ilustrasi diperlihatkan pada Gambar 11 dan Persamaan dasar berikut:

$$u(z, t) = Ee^{i(kz+\omega t)} + Fe^{-i(kz-\omega t)} \quad (22)$$

$$\tau(z, t) = ik * G * (Ee^{ikz} - Fe^{-ikz})e^{i\omega t} \quad (23)$$

Keterangan:

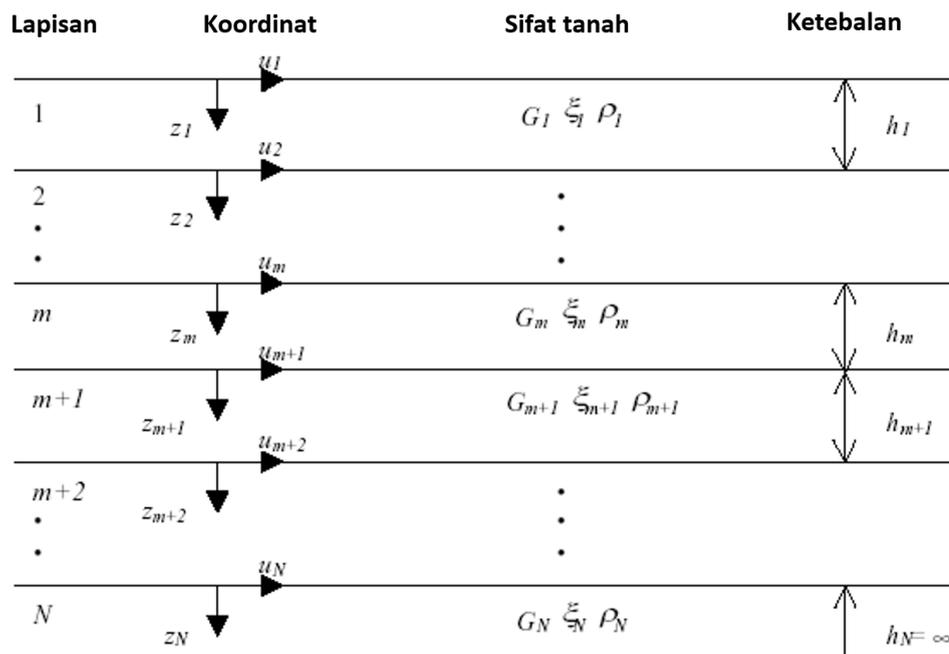
$u(z, t)$ adalah perpindahan horizontal pada kedalaman dan waktu tertentu;

$\tau(z, t)$ adalah tegangan pada kedalaman dan waktu tertentu;

$Ee^{i(kz+\omega t)}$ adalah perambatan gelombang arah z-negatif (ke atas);

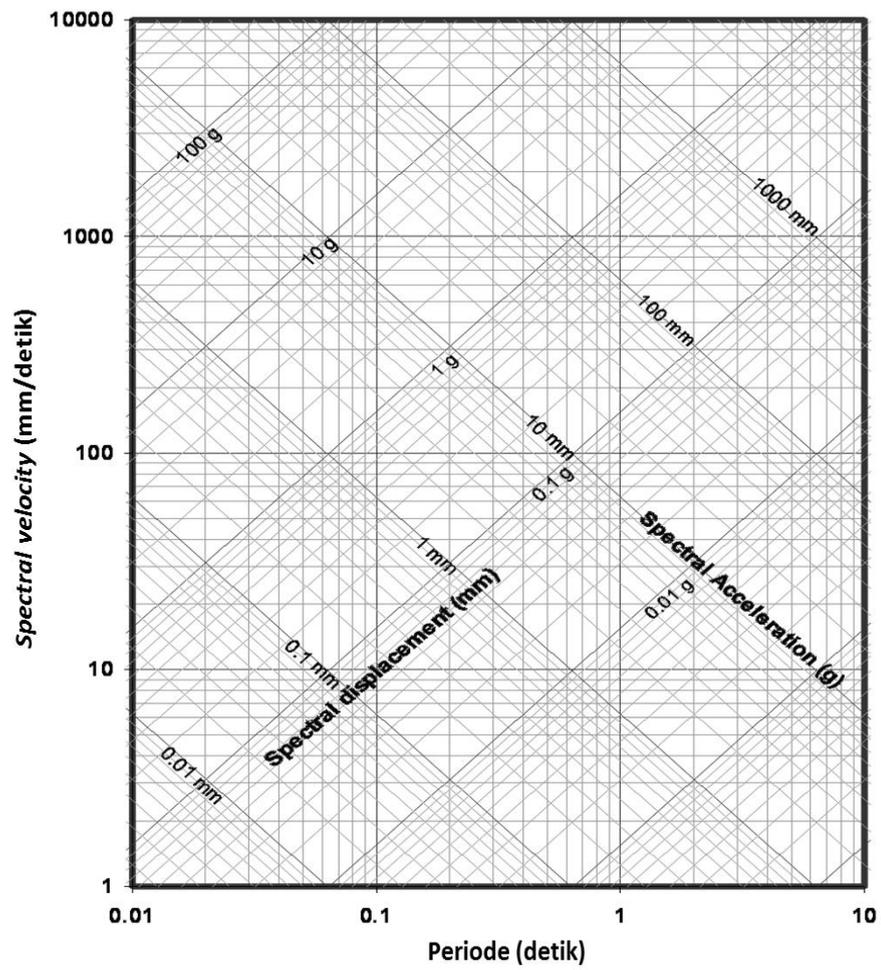
$Fe^{-i(kz-\omega t)}$ adalah pantulan perambatan gelombang dalam arah z- positif (ke bawah);

G^* modulus geser kompleks = $G(1+2i\xi)$ untuk $\xi = \omega\eta/2G$.



Gambar 11 - Ilustrasi permodelan perambatan gelombang 1-Dimensi (J.P. Bardet & T Tobita, 2001)

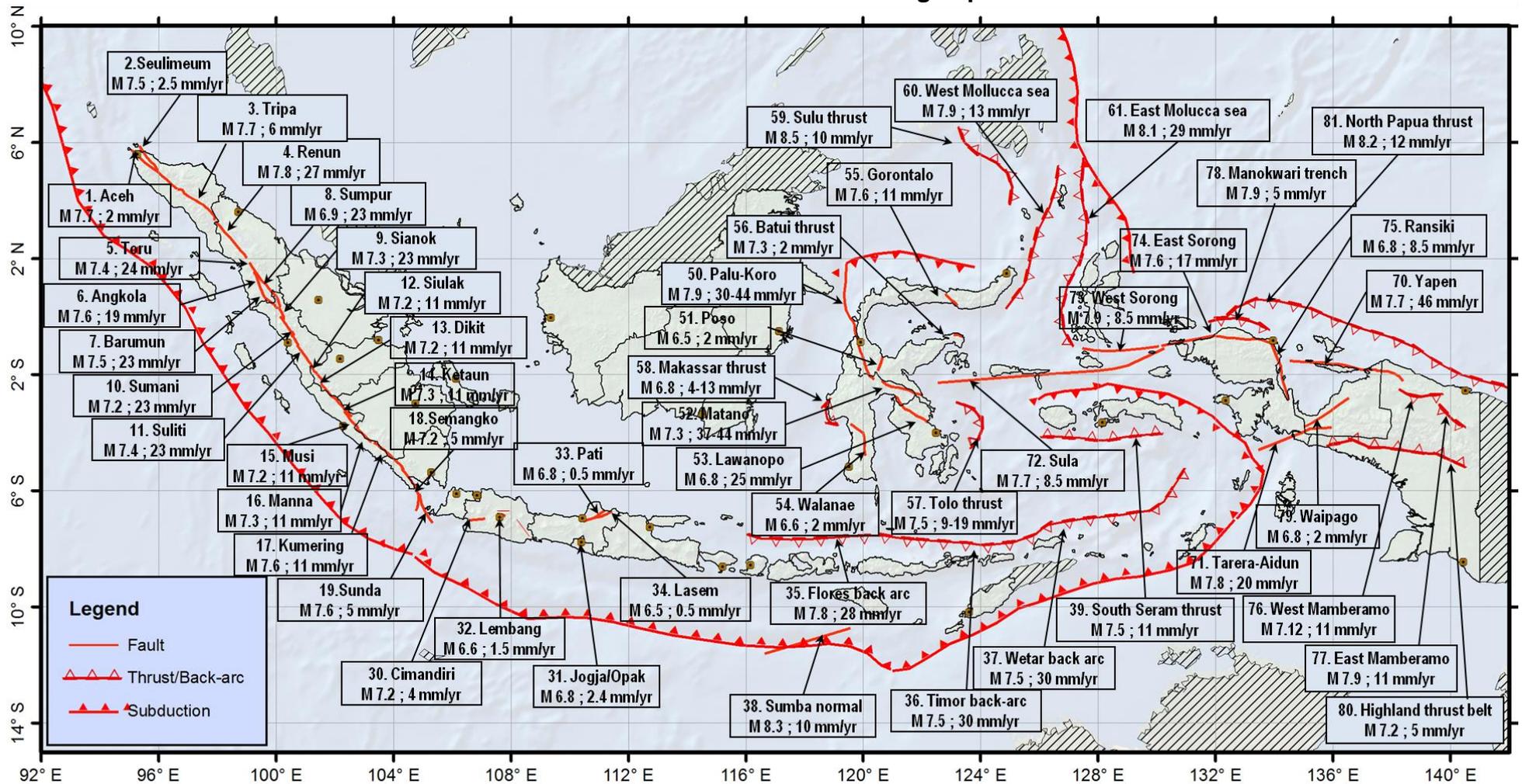
- Perambatan gelombang dilakukan untuk setiap gerakan tanah sintesis yang merepresentasikan masing-masing karakteristik sumber gempa (subduksi, patahan dan *gridded seismicity*) hingga menghasilkan *spectral acceleration, velocity* dan *displacement* masing-masing sumber gempa di permukaan.
- Selanjutnya buatlah grafik perbandingan nilai *spectral velocity* terhadap periode masing-masing sumber gempa di permukaan pada kurva *tripartite* seperti diperlihatkan pada Gambar 12.
- Spektrum respons desain di permukaan selanjutnya dibentuk berdasarkan nilai rata-rata *spectral velocity* ditambah 1 standar deviasi.



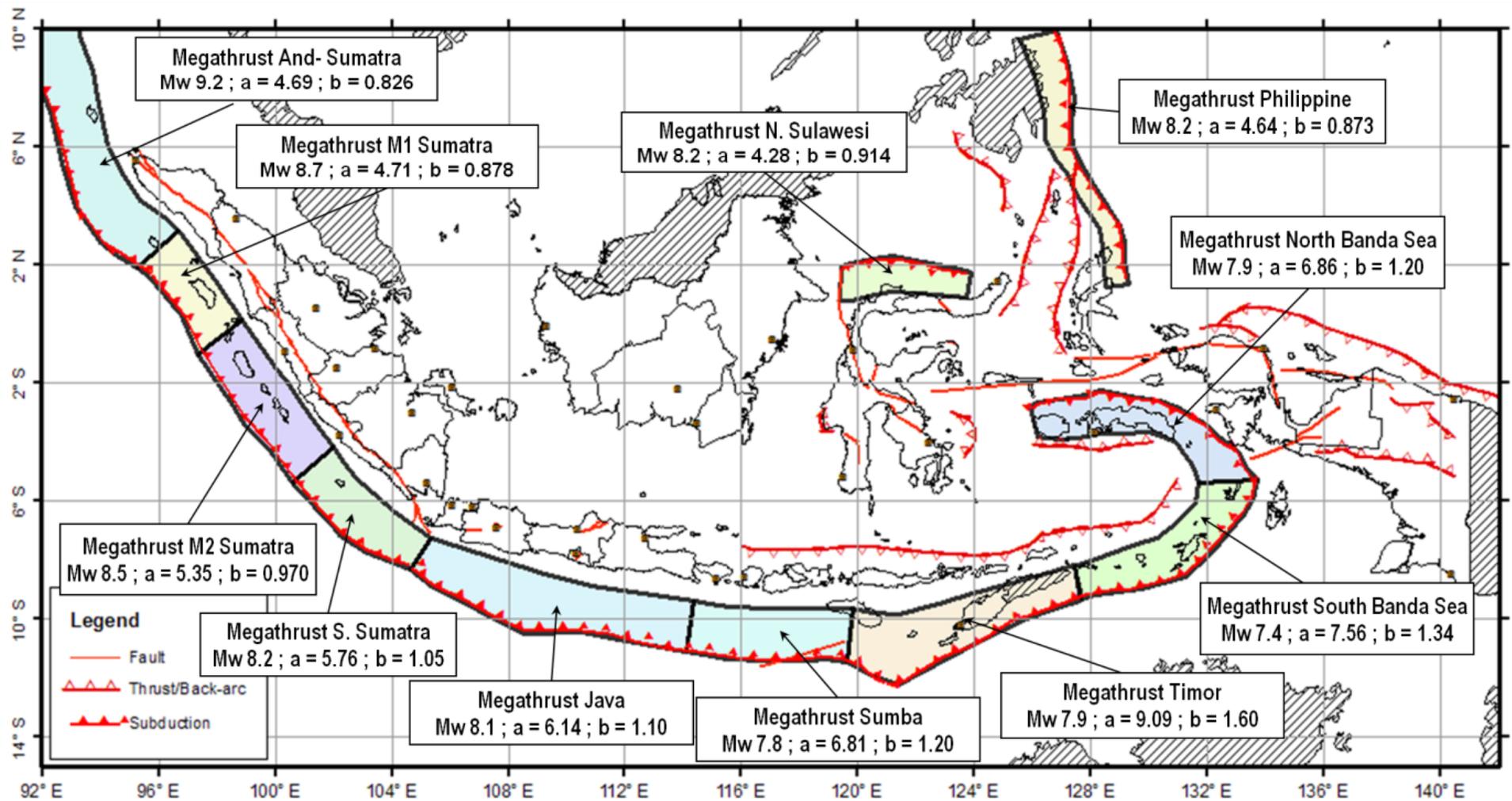
Gambar 12 - Kurva *tripartite* (Kramer, 1996)

Lampiran A
(informatif)

Parameter sumber-sumber gempa



Gambar A.1 - Parameter sumber-sumber gempa patahan berdasarkan data tim peta gempa indonesia 2010

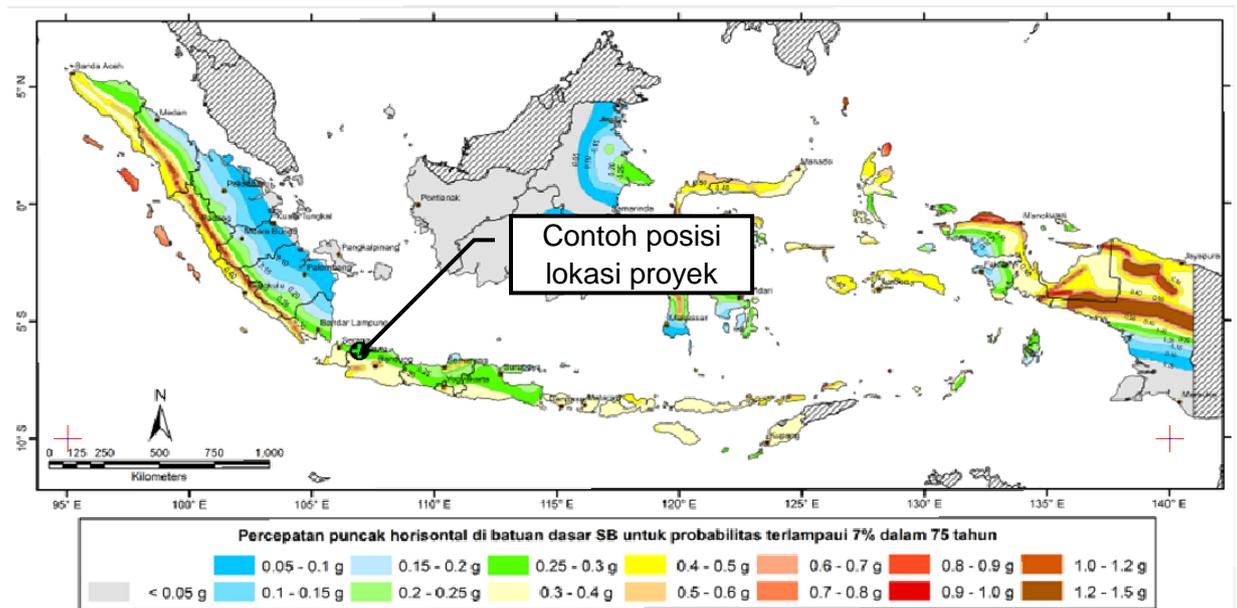


Gambar A.2 - Parameter sumber gempa subduksi (*Megathrust*) Wilayah Indonesia berdasarkan data tim peta gempa indonesia 2010

Lampiran B (informatif)

Contoh penentuan spektrum respons desain menggunakan prosedur umum

1. Tentukan koordinat lokasi proyek berdasarkan pengukuran *Global Positioning System* (GPS) dengan referensi spasial *World Geodetic System* (WGS) 84.
2. Plotkan koordinat proyek (Bujur timur dan lintang utara atau lintang selatan) pada peta percepatan puncak dan respons spektra Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 seperti contoh di bawah ini:



Gambar B.1 - Contoh plot koordinat proyek pada peta percepatan puncak horizontal di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

3. Interpolasi linier dapat digunakan pada lokasi proyek yang berada di antara garis kontur hingga didapatkan hasil seperti diperlihatkan pada Tabel B.1.

Tabel B.1 - Contoh hasil interpolasi linier pada masing-masing periode

Periode (detik)	Batuan dasar (SB)
	Periode ulang 1000 tahun (7% dalam 75 tahun)
PGA	0.272
0.2	0.501
1	0.264

4. Tentukan klasifikasi situs berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas sebagai berikut:
 - a. Dapatkan nilai penetrasi standar (N) pada uji lapangan menggunakan acuan SNI 4153:2008.

- b. Dapatkan pula nilai kecepatan rambat gelombang regangan geser kecil (v_s) pada lokasi yang sama/berdekatan dengan uji penetrasi standar. Uji lapangan untuk mendapatkan v_s menggunakan acuan ASTM D 5777 untuk uji refraksi seismik atau menggunakan acuan ASTM D 4428 untuk uji seismik *crosshole*.
- c. Misal diketahui, contoh profil tanah yang terdiri dari tebal lapisan tanah hingga kedalaman lebih dari 30 m, identifikasi jenis tanah dan nilai penetrasi standar untuk tiap perlapisan seperti diperlihatkan pada Tabel B.2.

Tabel B.2 - Contoh profil tanah

Kedalaman (m)	Identifikasi jenis tanah	N_{SPT}	v_s (m/detik)
0.00 - 1.55	Lempung teguh	5	154.65
1.55 - 3.55		6	162.29
3.55 - 5.55		6	162.29
5.55 - 7.55		6	162.29
7.55 - 9.55		4	145.79
9.55 - 11.55	Lempung kenyal	13	199.10
11.55 - 13.55	Lempung sangat kenyal	22	228.81
13.55 - 15.55	Lempung pasiranan sangat kenyal	26	239.14
15.55 - 17.55	Lempung keras	44	274.83
17.55 - 19.55	Lempung keras	95	336.86
19.55 - 21.55	Lempung keras	93	334.97
21.55 - 23.55	Lempung keras	47	279.67
23.55 - 25.55	Lempung keras	86	328.11
25.55 - 27.55	Lempung lanauan keras	30	248.36
27.55 - 29.55	Lempung lanauan keras	32	252.64
29.55 - 31.55	Lempung lanauan keras	29	246.15
31.55 - 33.55	Lempung lanauan keras	31	250.53
33.55 - 35.55	Lempung lanauan keras	23	231.51
35.55 - 37.55	Lempung lanauan keras	23	231.51
37.55 - 39.55	Lempung lanauan keras	22	228.81

- d. Hitung nilai \bar{v}_s sampai dengan 30 m menggunakan Persamaan berikut :

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Dari contoh data tanah di atas didapatkan $\bar{v}_s = 216.86$ m/detik yang menunjukkan bahwa lokasi proyek masuk dalam kategori kelas situs tanah sedang (SD).

- e. Hitung nilai \bar{N}_{SPT} , menggunakan Persamaan berikut:

$$\bar{N}_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dari contoh data tanah di atas didapatkan $\bar{N}_{SPT} \bar{N} = 12.24$ yang menunjukkan bahwa lokasi proyek masuk dalam kategori kelas situs tanah lunak (SE). Rekapitulasi perhitungan pada butir d dan e dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel B.3 - Contoh tabel perhitungan nilai \bar{N}_{SPT} dan \bar{v}_s

Kedalaman (m)	Identifikasi jenis tanah	N-SPT	v_s (m/detik)	d_i (m)	$\sum_{i=1}^n d_i$	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}$	\bar{v}_s	$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}$	\bar{N}_{SPT}
0 - 1.55	Lempung teguh	5	154.65	1.55	29.55	0.14	216.86	2.41	12.24
1.55 - 3.55		6	162.29	2					
3.55 - 5.55		6	162.29	2					
5.55 - 7.55		6	162.29	2					
7.55 - 9.55		4	145.79	2					
9.55 - 11.55	Lempung kenyal	13	199.1	2					
11.55 - 13.55	Lempung sangat kenyal	22	228.81	2					
13.55 - 15.55	Lempung pasiran sangat kenyal	26	239.14	2					
15.55 - 17.55	Lempung keras	44	274.83	2					
17.55 - 19.55	Lempung keras	95	336.86	2					
19.55 - 21.55	Lempung keras	93	334.97	2					
21.55 - 23.55	Lempung keras	47	279.67	2					
23.55 - 25.55	Lempung keras	86	328.11	2					
25.55 - 27.55	Lempung lanauan keras	30	248.36	2					
27.55 - 29.55	Lempung lanauan keras	32	252.64	2					
29.55 - 31.55	Lempung lanauan keras	29	246.15						
31.55 - 33.55	Lempung lanauan keras	31	250.53						
33.55 - 35.55	Lempung lanauan keras	23	231.51						
35.55 - 37.55	Lempung lanauan keras	23	231.51						
37.55 - 39.55	Lempung lanauan keras	22	228.81						

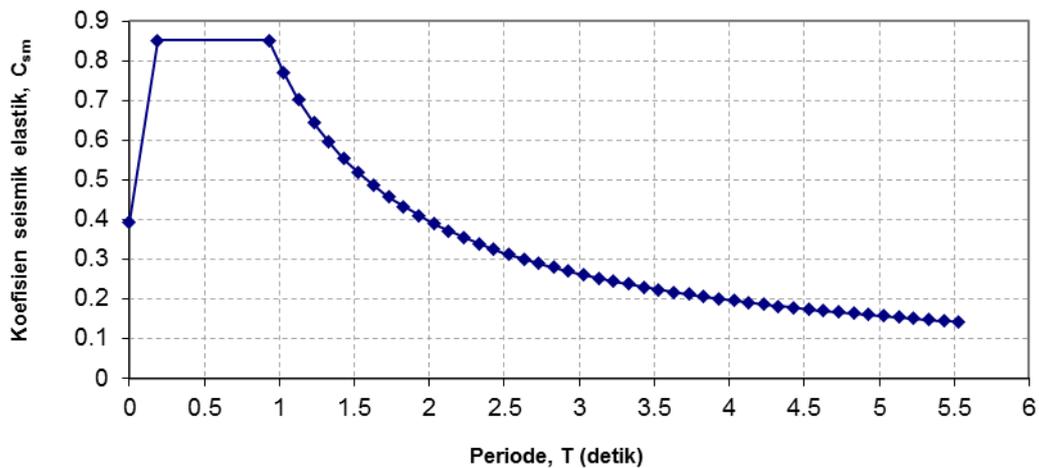
f. Kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan sesuai pasal 4.2.1, karenanya pada perencanaan respons spektra rencana, kelas situs tanah lunak (SE) yang digunakan.

5. Hitung A_s , S_{DS} , dan S_{D1} sebagai berikut:

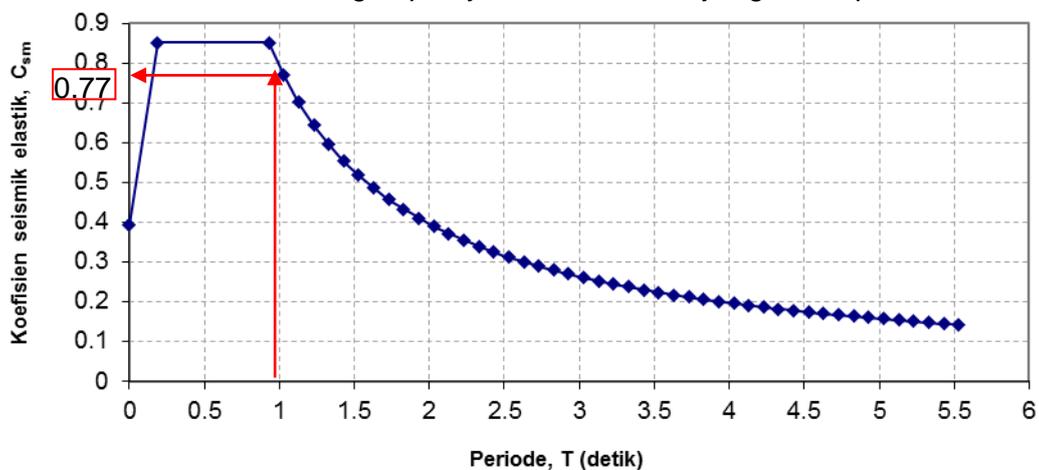
a. $A_s = F_{PGA} \cdot PGA$;

$A_s =$ interpolasi faktor amplifikasi antara 1.7 dan 1.2 (1.45) x 0.272 = 0.394g.

- b. $S_{DS} = F_a \cdot SS$;
 S_{DS} = interpolasi faktor amplifikasi $(1.7) \times 0.501 = 0.852g$.
- c. $S_{D1} = F_v \cdot S_1$;
 S_{D1} = interpolasi faktor amplifikasi antara 3.2 dan 2.8 $(3) \times 0.264 = 0.792g$.
6. Hitung T_0 dan T_s sebagai berikut:
- a. $T_0 = 0.2T_s$, $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- b. $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.792/0.852 = 0.929$ detik
- c. $T_0 = 0.2T_s = 0.2 \times 0.816 = 0.186$ detik
7. Plotkan persamaan yang dihasilkan pada tahap 5 dan tahap 6 dengan mengacu pada Gambar 1, hingga dihasilkan kurva sebagai berikut:



8. Berdasarkan kurva di atas, diketahui nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik, S_{D1} adalah 0.77 dengan cara menarik garis pada periode 1.0 detik seperti diperlihatkan pada grafik di bawah ini. Nilai tersebut menunjukkan bawah kategori kinerja seismik pada lokasi ini berada pada zona gempa 4 ($SD1 > 0,50$) dan struktur jembatan harus dianalisis sesuai dengan persyaratan minimum yang diatur pada SNI 2833.

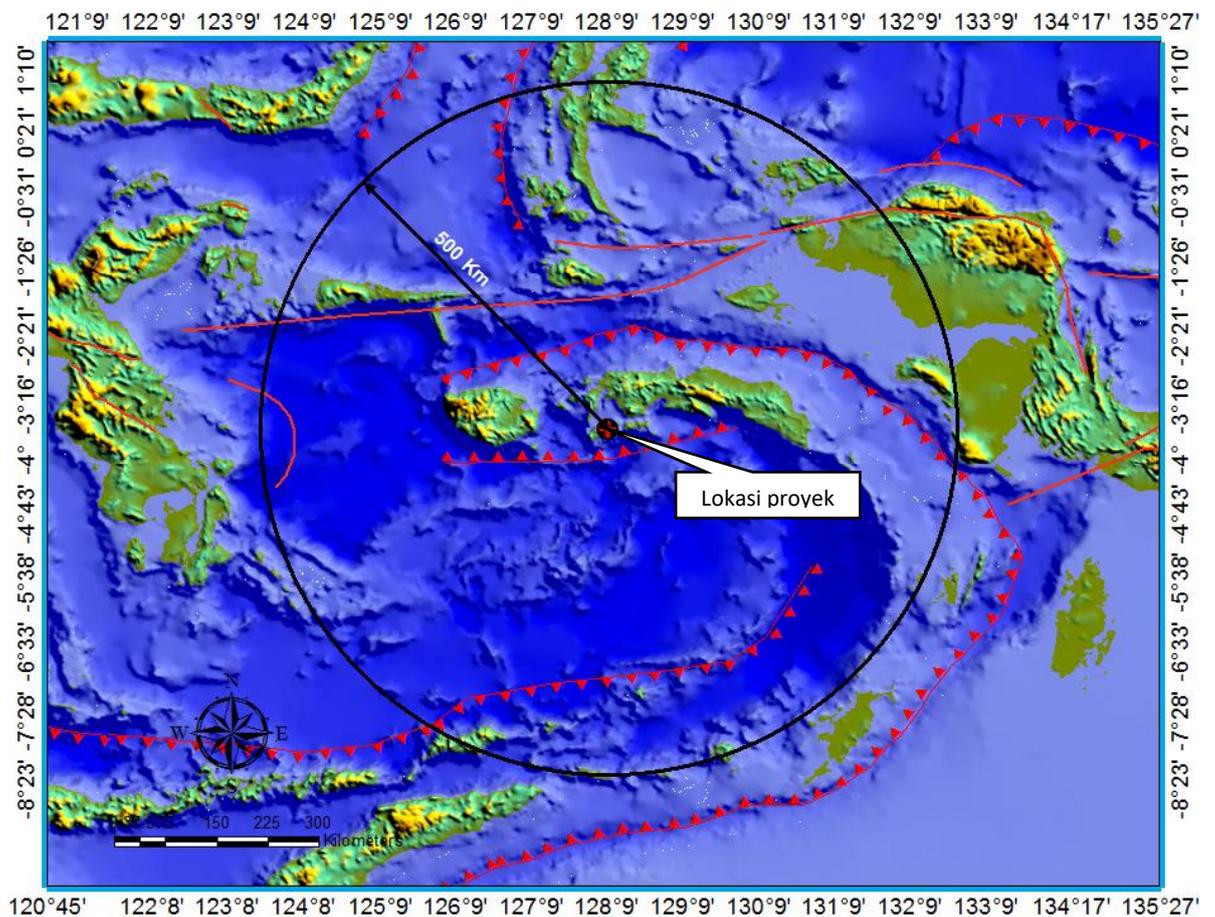


Lampiran C (informatif)

Contoh hasil analisis spesifik situs

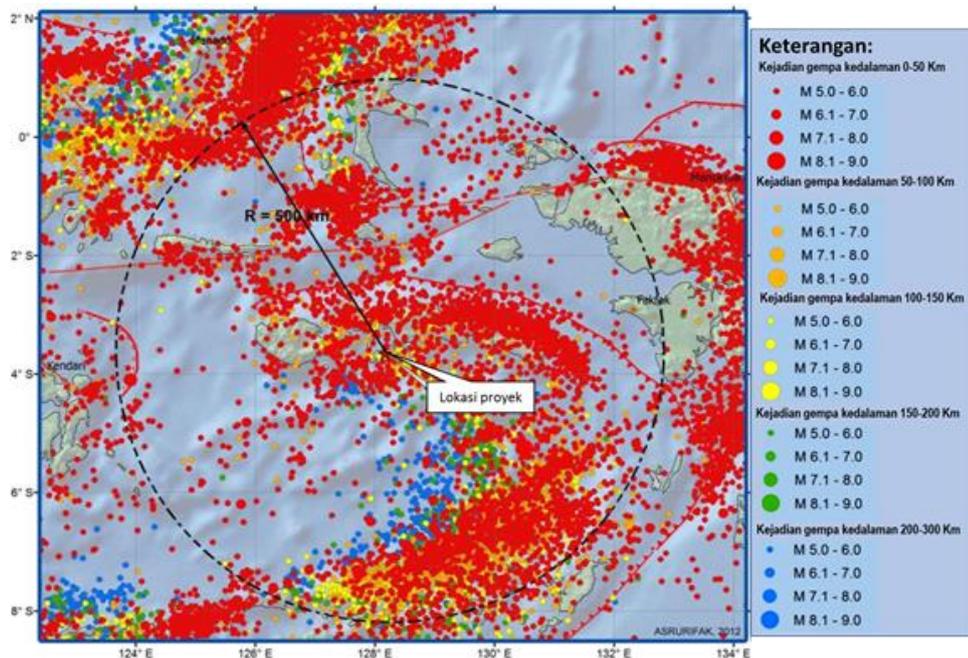
1. Identifikasi sumber gempa

- a. Tentukan koordinat lokasi proyek berdasarkan pengukuran *Global Positioning System* (GPS) dengan referensi spasial *World Geodetic System* (WGS) 84.
- b. Plotkan koordinat proyek (Bujur timur dan lintang utara atau lintang selatan) pada Gambar A.1 dan Gambar A.2 dengan radius 500 km seperti diperlihatkan pada Gambar C.1.



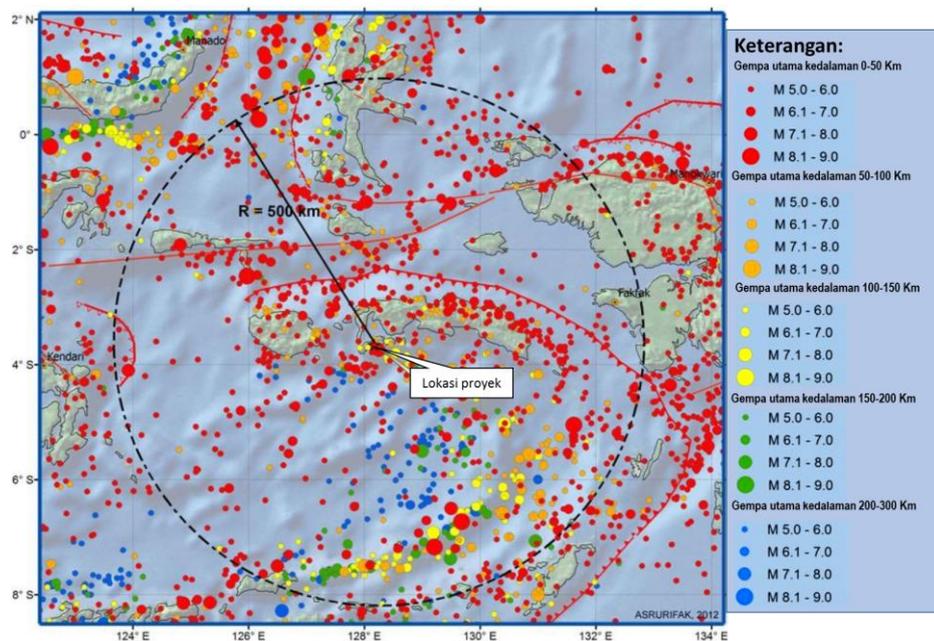
Gambar C.1 - Contoh hasil penempatan posisi lokasi proyek pada sumber-sumber gempa patahan dan subduksi

- c. Plotkan seluruh data kejadian gempa disekitar lokasi proyek seperti diperlihatkan pada Gambar C.2.



Gambar C.2 - Contoh hasil penempatan seluruh data gempa di sekitar lokasi proyek (Meilano, dkk, 2014)

- d. Lakukan penyortiran data gempa untuk mendapatkan data gempa utama disekitar lokasi proyek mengacu pada ketentuan 4.3.1. dengan hasil seperti diperlihatkan pada Gambar C.3.



Gambar C.3 - Contoh hasil sebaran data gempa utama di sekitar lokasi proyek (Meilano, dkk, 2014)

- e. Gunakan sumber-sumber gempa patahan, subduksi dan data gempa utama dengan jarak < 500 km dari lokasi proyek. Sumber-sumber gempa dengan radius ≥ 500 km, maka data tersebut tidak digunakan.
- f. Identifikasi seluruh sumber-sumber gempa yang berada pada area < 500 km dari lokasi proyek dan gunakan parameter yang dibutuhkan mengacu pada Tabel 7 hingga Tabel 11 dengan hasil diperlihatkan pada Tabel C1 dan Tabel C2. Identifikasi model *gridded seismicity* untuk sumber gempa *background* dan subduksi *intraslab* mengacu 5.2.1 menggunakan Persamaan 15 dengan bantuan peranti lunak.

Tabel C.1 - Data dan parameter sumber gempa subduksi yang diperhitungkan

No	Nama	M _{max}	b-val	a-val	M _{max}	
					GR	Char
1	Megathrust laut Banda utara	7,9	1,200	7,26	7,9	-

Tabel C.2 - Data dan parameter sumber gempa patahan yang diperhitungkan

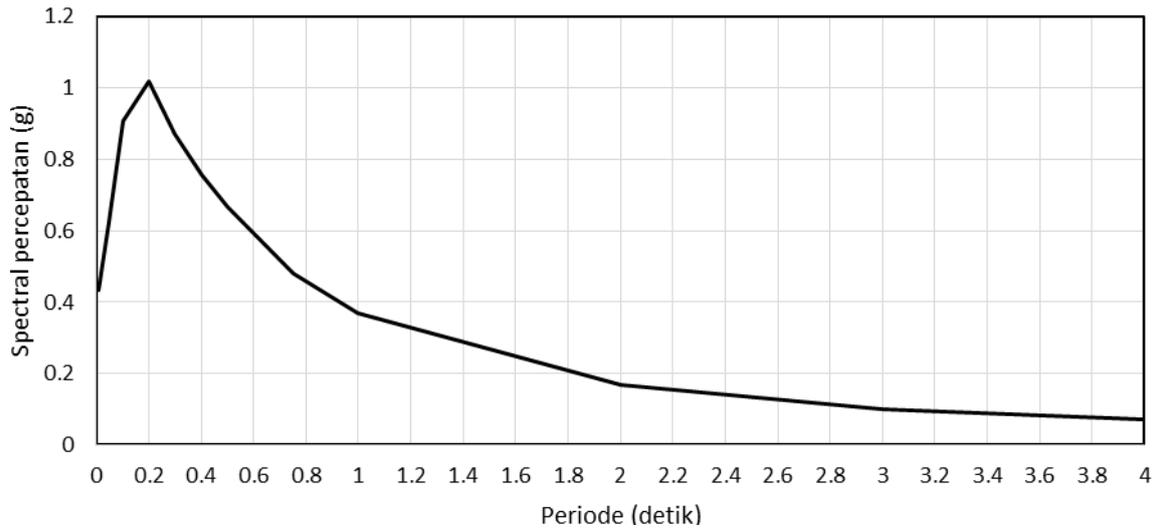
Patahan		Slip-rate		Mekanisme	dip	Elevasi atas (km)	Elevasi bawah (km)	Panjang, L (km)	M _{max}
No	Nama	mm/tahun	Bobot						
1	Wetar back-arc	30	1	Patahan naik	45	-3	-20	653,0	7,50
2	South Seram thrust	11	1	Patahan turun	45	-3	-20	415,5	7,50
3	East Molucca sea	29	1	Patahan turun	40	-3	-30	730	8,47
4	Sula	8,5	1	Patahan geser	90	-3	-18	753,6	7,70
5	West Sorong	8,5	1	Patahan geser	90	-3	-18	292,5	7,90
6	East Sorong	17	1	Patahan geser	90	-3	-18	420,7	7,60

2. Pemilihan fungsi atenuasi

Sumber-sumber gempa yang telah teridentifikasi pada tahap 1, selanjutnya di lakukan pembobotan sesuai dengan *logic tree* mengacu pada Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14 dan Tabel 15.

3. Analisis probabilistik spektrum respons desain di batuan dasar (SB)

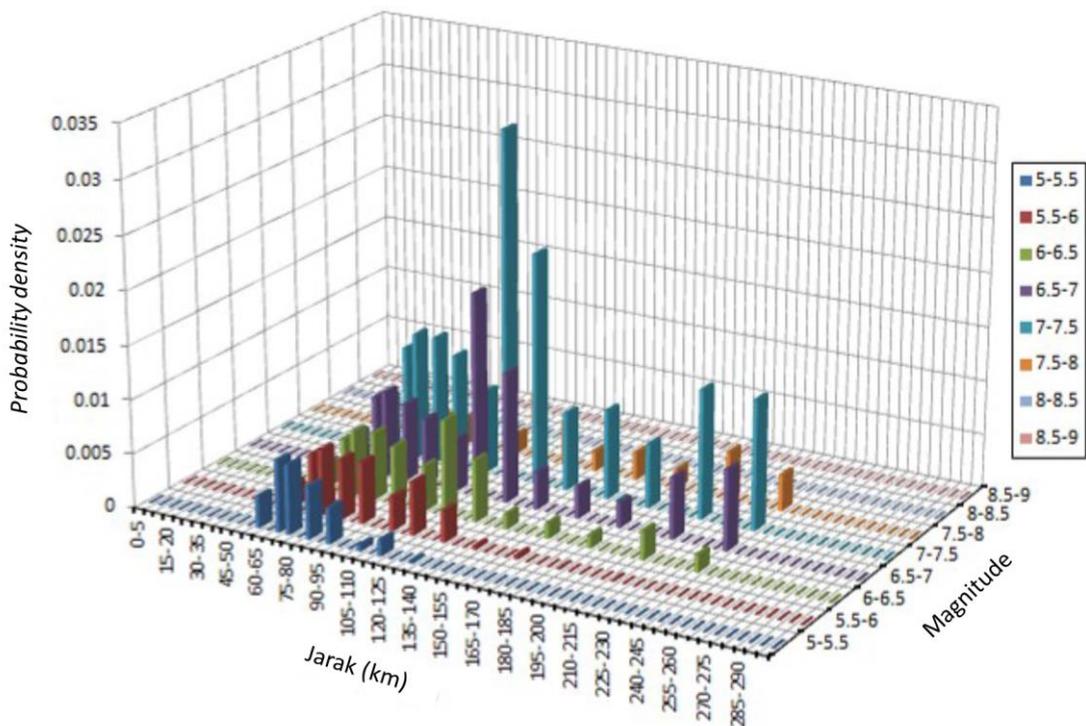
Hasil pembuatan kurva bahaya seismik dengan mengacu pada tahapan 5.2.3 menggunakan bantuan peranti lunak statistik dengan metode probabilitas total dapat dilihat pada Gambar C.4.



Gambar C.4 - Contoh hasil analisis probabilistik spektrum respons desain di batuan dasar (SB)

4. Simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal

- a. Proses deagregasi dilakukan dengan mengacu pada tahapan 5.2.4 dengan salah satu contoh hasil menggunakan bantuan peranti lunak statistik diperlihatkan pada Gambar C.5.



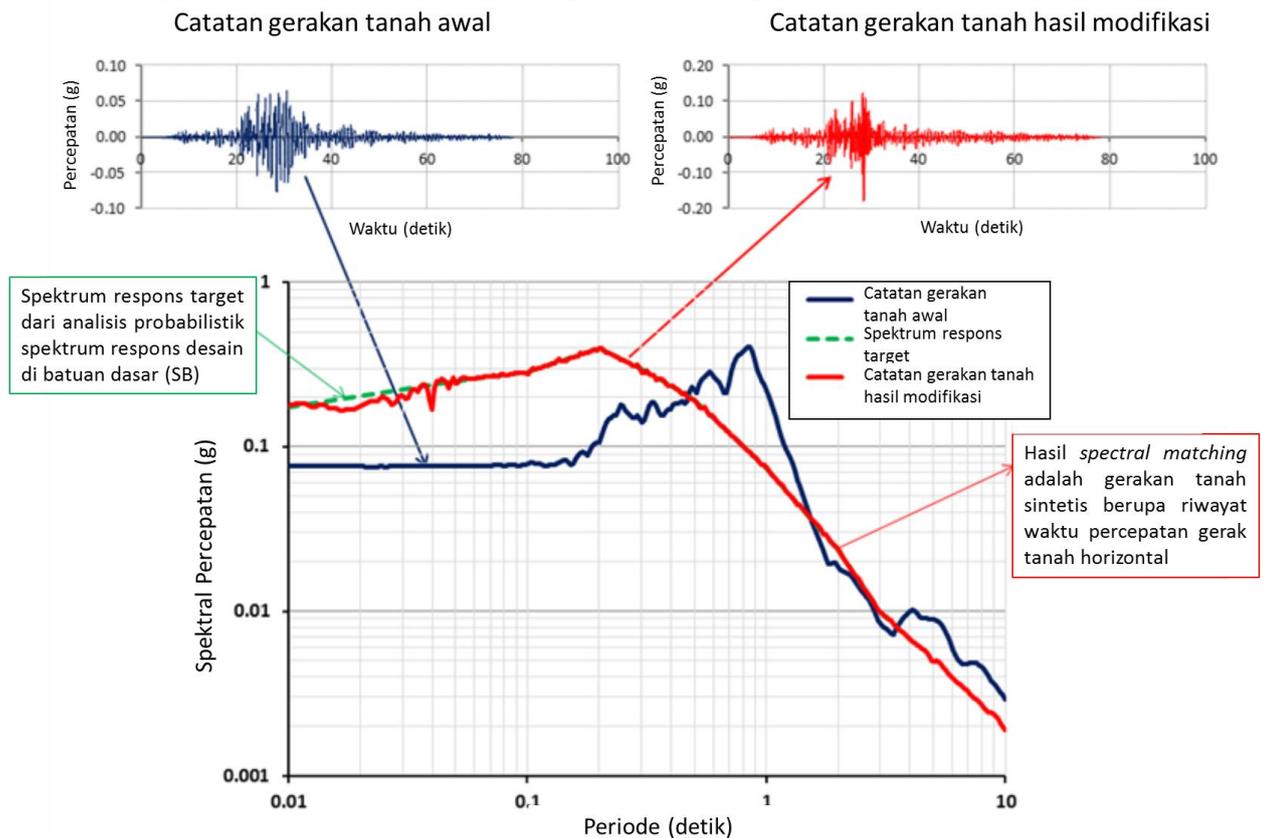
Gambar C.5 - Contoh hasil analisis deagregasi (Meilano, dkk, 2014)

- b. Hasil luaran proses *deaggregation* berupa *probability density* jarak, magnitudo dan sumber gempa yang mengontrol suatu lokasi proyek yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan catatan gerakan tanah.
- c. Setelah diketahui tipe sumber gempa, jarak dan magnitudo yang mengontrol pada suatu lokasi situs, selanjutnya dilakukan pencarian dan pengumpulan catatan gerakan tanah yang memiliki keserupaan karakteristik dengan jumlah catatan mengacu pada ketentuan 4.4 dengan contoh hasil diperlihatkan pada Tabel C.3.

Tabel C.3 - Contoh hasil penentuan catatan gerakan tanah (Meilano, dkk, 2014)

Karakteristik gempa	<i>Earthquake event</i>	Magnitudo	<i>Hypocentral Distance (km)</i>
<i>Megathrust</i>	Chi-chi, Taiwan, NGA1278, STA-HWA029, 1999	7.62	54.3
<i>Benioff</i>	Michoacán Earthquake, STA-CALETA DE CAMPOS, data source CESMD, 22 Mar 1997, D 70 km	6.60	138.0
	Miyagi Oki, STA-YMTH09, data source CESMD, 2003, D 60 km	7.00	152.0
Patahan	Morgan Hill, Santa Crus Mine, NGA0471, STA-USGS STATION 1655, PEER, 1984	6.19	31.9
	Landers, NGA0897, STA-TWENTYNINE PALMS, PEER, 1992	7.28	41.4

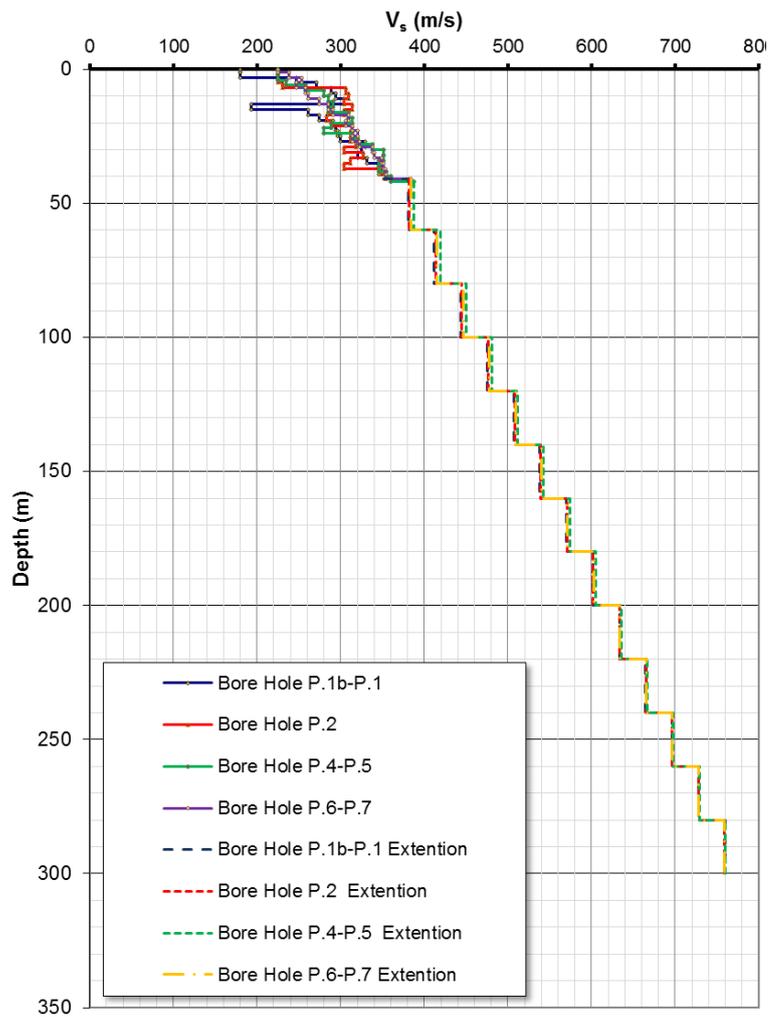
- d. Pencocokan spektral menggunakan kode pencocokan spektral percepatan domain-waktu menggunakan bantuan peranti lunak diperlihatkan pada Gambar C.6. Catatan gerakan tanah awal yang didapatkan pada butir c diskalakan terhadap spektrum respons target dari analisis probabilistik spektrum respons desain di batuan dasar (SB). Hasil penskalaan berupa catatan gerakan tanah hasil modifikasi berupa riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal.



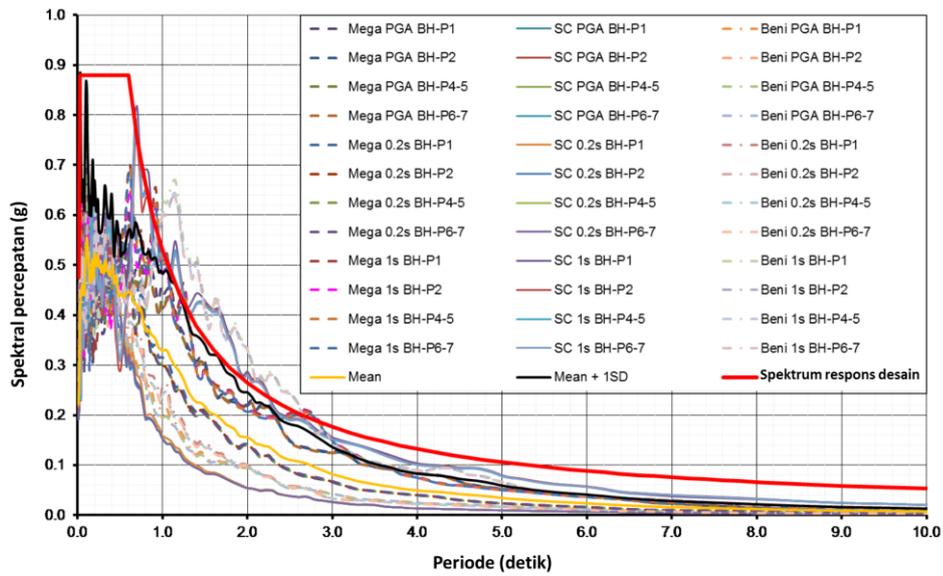
Gambar C.6 - Contoh hasil pencocokan spektral percepatan (Meilano, dkk, 2014)

5. Perambatan gelombang ke permukaan

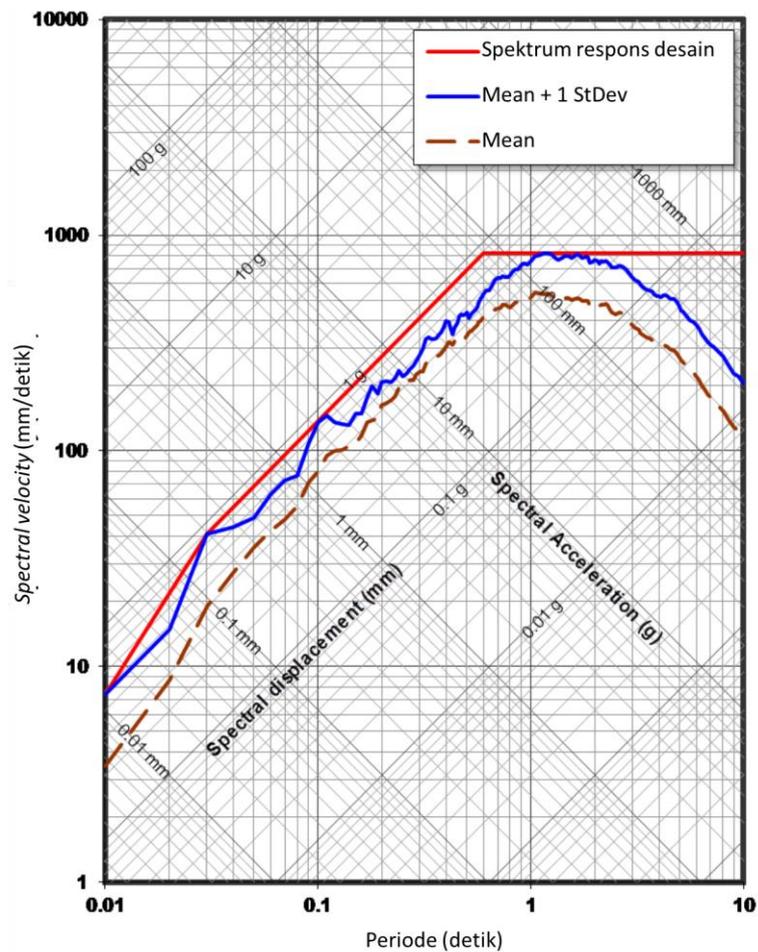
- a. Setelah diketahui parameter tanah di atas batuan dasar, maka dilakukan permodelan menggunakan peranti lunak analisis seismik *equivalent linier atau non linier* pada lapisan tanah berlapis horizontal dengan ilustrasi diperlihatkan pada Gambar C.7.
- b. Perambatan gelombang dilakukan untuk setiap gerakan tanah sintesis yang merepresentasikan masing-masing karakteristik sumber gempa (subduksi, patahan dan *gridded seismicity*) hingga menghasilkan *spectral acceleration*, *velocity* dan *displacement* masing-masing sumber gempa di permukaan
- c. Spektrum respons desain selanjutnya di buat dalam bentuk grafik antara spektral percepatan terhadap periode seperti diperlihatkan pada Gambar C.8.
- d. Spektrum respons desain di permukaan selanjutnya dibentuk berdasarkan nilai rata-rata *spectral velocity* ditambah 1 standar deviasi seperti diperlihatkan pada Gambar C.9.



Gambar C.7 - Contoh profil kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman batuan dasar (SB) (Meilano, dkk, 2014)



Gambar C.8 - Contoh spektrum respons desain menggunakan prosedur spesifik situs (Meilano, dkk, 2014)



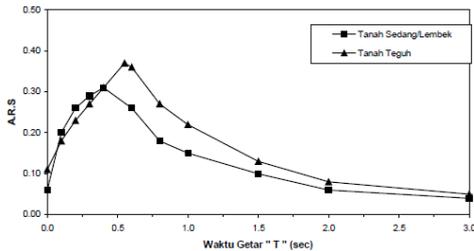
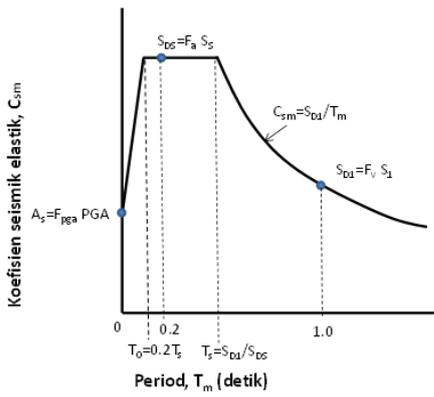
Gambar C.9 - Contoh penggunaan kurva *tripartite* (Meilano, dkk, 2014)

Lampiran D
(informatif)

Rekapitulasi perubahan pada Pedoman perencanaan beban gempa untuk jembatan (PdT-04-2004-B)

Garis besar rekapitulasi item-item perubahan atau revisi Pedoman perencanaan beban gempa untuk jembatan diperlihatkan pada Tabel D.1.

Tabel D.1 - Rekapitulasi item-item perubahan

No.	Kriteria	PdT-04-2004-B	Revisi yang dilakukan
1	Periode ulang gempa	500 tahun (10% dalam 50 tahun)	1000 tahun (7% dalam 75 tahun)
2	Format peta gempa	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA), respons spektra di batuan dasar untuk periode 0.2 detik dan 1 detik
3	Spektrum respons desain	 <p>The graph shows A.R.S (0.00 to 0.50) on the y-axis and Waktu Getar "T" (sec) (0.0 to 3.0) on the x-axis. Two curves are shown: Tanah Sedang/Lembek (squares) and Tanah Teguh (triangles). Both curves peak around T=0.5s. Tanah Teguh has a higher peak (~0.38) than Tanah Sedang/Lembek (~0.30).</p>	 <p>The graph shows Koefisien seismik elastik, C_{sm} on the y-axis and Period, T_m (detik) on the x-axis. Key points are marked: $A_s = F_{pga}$ at T_0, $S_{DS} = F_a$ at $T_0 = 0.2 T_s$, $C_{sm} = S_{DS} / T_m$ in the constant region, and $S_{DS} = F_v$ at T_s.</p>
4	Koefisien seismik elastik	Ditentukan berdasarkan akselerasi puncak di batuan dasar, periode alami struktur dan koefisien tanah	Ditentukan berdasarkan spektrum respons desain di permukaan tanah dengan memperhitungkan kelas situs dan faktor amplifikasi

Bibliografi

- Aldiamar F, 2012, Naskah ilmiah kajian level hazard gempa untuk jembatan, ISBN 978-602-8256-93-3, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012, AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition, 2012.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 5th Edition, 2010.
- Asrurifak M., Irsyam M., Budiono B., Triyoso W., Hendriyawan.,: Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method, J. Civil Engineering Dimension, Vol. 12, No. 1(2010), March 2010, 52-62 ISSN 1410-9530 print / ISSN 1979-570X online.
- Atkinson, G.M., and Boore, D.M., Erratum—Earthquake ground-motion prediction equations for eastern North America: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 97 (2007), p. 1032.
- Atkinson, G.M., Boore, D.M., "Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4 (2003), pp 1703-1729.
- Boore, D., and Atkinson, G., Next generation attenuation relations to be published in Earthquake Spectra (2007).
- Campbell, K., and Bozorgnia, Y., Next generation attenuation relations to be published in Earthquake Spectra (2007).
- Chiou, B., and Youngs, R., 2007, Next generation attenuation relations to be published in Earthquake Spectra (2007).
- Engdahl, E. R., Villasenor, A., DeShon, H. R. & Thurber, C. H., (2007). Teleseismic relocation and assessment of seismicity (1918–2005) in the region of the 2004 Mw 9.0 Sumatra–Andaman and 2005 Mw 8.6 Nias island great earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., 97, S43-S61.
- Frankel, A.D., Petersen, M.D., Mueller, C.S., Haller, K.M., Wheeler, R.L., Leyendecker, E.V., Wesson, R.L., Harmsen, S.C., Cramer, C.H., Perkins, D.M., Rukstales, K.S., 2002, Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-420.
- Harmsen, S., 2007, USGS Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Draft Document, (unpublished).
- Irsyam M., Asrurifak M., Hendriyawan, Budiono B., Triyoso W., Anita Firmanti A.: Development of Spectral Hazard Maps for Proposed Revision of Indonesia Seismic Building Code, Geomechanic and Geoengineering an International Journal, Vol. 5. No. 1 (2010), 35-47, DOI: 10.1080/17486020903452725.
- Irsyam, M., Dangkoa, D. T., Kusumastuti, D., Kertapati, E.K. 2007. Methodology of Site-Specific Seismic Hazard Analysis for Important Civil Structure, Civil Engineering Dimension, Vol 9, No.2, 103-112, ISSN 1410-9530.

M. Asrurifak, M. Irsyam, F. Aldiamar, 2012., “*Seismic Hazard dan Pembuatan Seismic Hazard Map untuk jembatan*”., Proceeding workshop peta gempa dengan level hazard untuk konstruksi jembatan, ISBN: 978-602-8256-80-3, 22 October 2012.

Meilano, I., Irsyam, M., M. Asrurifak., Nugraha, A. D., Saepuloh A., 2014 “Studi analisis *seismic hazard* untuk jembatan merah putih bentang tengah”, Laporan akhir, Waskita-PP-Wika KSO.

Pedoman perencanaan pembebanan gempa untuk Jembatan (PDT-04-2004-B)

Socquet, A., Vigny, C., Chamot-Rooke, N., Simons, W., Rangin, C., and Ambrosius, B., 2006, India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar defungsiined by GPS: *Journal of Geophysical Research*, v. 111, B05406, doi: 10.1029/2005JB003877, 11 p.

Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan (SNI 2833-2008).

Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung (SNI 03-1726-2002)

Tim Revisi Peta Gempa 2010, Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 http://www.preventionweb.net/files/14654_AIFDR.pdf (2010).

Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R., 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismol. Res. Lett.* 68, 58–73.

Zhao John X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H., Somerville, P., et al.,2006, Attenuation Relations of Strong Motion in Japan using site classification based on predominant periode, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, 898.

**Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 18 Mei 2015**

**MENTERI PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



