

Nomor : 2180 /BSN/B2-b2/7/2020

Jakarta, 13 Juli 2020

Lampiran : 7 (tujuh) berkas

Hal : Penyampaian Keputusan

Kepala Badan Standardisasi Nasional

Kepada Yth.

Sekretaris Badan Penelitian dan Pengembangan

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

di Jakarta

Bersama ini kami sampaikan:

1. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 229/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8369:2020 Praktik baku bangunan gedung dan jembatan baja sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 8369:2016 Pelaksanaan bangunan gedung dan jembatan baja;
2. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 230/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 7972:2020 Sambungan terpraktualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 7972:2013 Sambungan terpraktualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah baja pada aplikasi seismik;
3. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 231/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8900:2020 Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang;
4. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 232/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 1729:2015 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural;
5. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 233/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 7860:2020 Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 7860:2015 Ketentuan Seismik Untuk Struktur Baja Bangunan Gedung;
6. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 234/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8899:2020 Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa; dan

-
7. Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 235/KEP/BSN/7/2020 tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 1727:2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain;
untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Atas perhatian dan kerja samanya, kami mengucapkan terima kasih.

Kepala Biro Sumber Daya Manusia,
Organisasi, dan Hukum,



Margahayu
Iryana Margahayu

Tembusan:

1. Sekretaris Utama, BSN;
2. Deputi Bidang Pengembangan Standar, BSN;
3. Direktur Pengembangan Standar Infrastruktur, Penilaian Kesesuaian, Personal dan Ekonomi Kreatif, BSN;
4. Direktur Sistem Penerapan Standar dan Penilaian Kesesuaian, BSN;
5. Kepala Biro Hubungan Masyarakat, Kerja Sama, dan Layanan Informasi, BSN; dan
6. Kepala Pusat Data dan Sistem Informasi, BSN

KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL
NOMOR 234/KEP/BSN/7/2020
TENTANG
PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA 8899:2020 TATA CARA
PEMILIHAN DAN MODIFIKASI GERAK TANAH PERMUKAAN UNTUK
PERENCANAAN GEDUNG TAHAN GEMPA
KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,

- Menimbang :
- a. bahwa untuk memenuhi kepentingan perlindungan terhadap konsumen, pelaku usaha, tenaga kerja, masyarakat lainnya, mengembangkan tumbuhnya persaingan yang sehat, keselamatan, keamanan, kesehatan, dan kelestarian fungsi lingkungan hidup, Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia yang disusun oleh Komite Teknis perlu ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
 - b. bahwa Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia sebagaimana dimaksud dalam huruf a, telah dikonsensuskan dan dinyatakan memenuhi persyaratan untuk ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
 - c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8899:2020 Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa;

- Mengingat :
1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 216, Tambahan Lembaran Negara Nomor 5584);
 2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2018 tentang Sistem Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 110, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6225);
 3. Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2018 tentang Badan Standardisasi Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 10);
 4. Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Standar Nasional Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 578);
- Memperhatikan : Surat Sekretaris Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Nomor: LB.0207-L5/018 tanggal 27 Desember 2019 Hal Usulan Penetapan 16 (Enam Belas) Rancangan SNI Bidang Perumahan dan Pemukiman;

MEMUTUSKAN:

- Menetapkan : KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL TENTANG PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA 8899:2020 TATA CARA PEMILIHAN DAN MODIFIKASI GERAK TANAH PERMUKAAN UNTUK PERENCANAAN GEDUNG TAHAN GEMPA.
- KESATU : Menetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8899:2020 Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa.
- KEDUA : Keputusan Kepala Badan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 6 Juli 2020
KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,



KUKUH S. ACHMAD

Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa

© BSN 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

BSN

Email: dokinfo@bsn.go.id

www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Daftar gambar	ii
Daftar tabel	iv
Prakata	v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Definisi dan notasi	1
3.1 Definisi	1
3.2 Notasi	2
4 Prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah	3
5 Definisi ukuran intensitas gerak tanah	4
6 Target respons spektrum	7
6.1 Metode 1: Spektrum tunggal Risiko Seragam (<i>Uniform Risk Spectrum</i> - URS) di permukaan	7
6.2 Metode 2: Dua atau lebih Spektrum Rata-rata Terkondisi (CMS)	8
7 Pemilihan gerak tanah	12
7.1 Jumlah dan komponen gerak tanah	12
7.2 Kriteria pemilihan gerak tanah	12
7.3 Durasi gerak tanah	13
8 Modifikasi gerak tanah	14
8.1 Rentang periode untuk modifikasi	14
8.2 Penskalaan amplitudo	14
8.2.1 Prosedur penskalaan	14
8.2.2 Batasan faktor skala	15
8.3 Pencocokan <i>spektral</i>	16
9 Aplikasi gerak tanah pada model analisis struktur	18
Lampiran A	19
Lampiran B	27
Lampiran C	33

Daftar gambar

Gambar 1– Diagram alir prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah sesuai SNI 1726:2019	3
Gambar 2 - Orbit percepatan suatu sistem osilator yang memiliki satu massa terpusat dan diasosiasikan dengan periode getar dan rasio redaman tertentu untuk menentukan respons percepatan arah-maksimum (Huang dkk, 2008)	4
Gambar 3 – Diagram skematik prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (Huang dkk, 2008)	5
Gambar 4 – Prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (bagian 1) (Nick dkk, 2019)	5
Gambar 5 – Prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (bagian 2) (Nick dkk, 2019)	6
Gambar 6 - Parameter gerak tanah, S_S , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%) pada kelas situs BC (S_{BC}) (SNI 1726:2019).....	7
Gambar 7 -Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 1 detik (redaman kritis 5%) pada kelas situs BC (S_{BC}) (SNI 1726:2019).....	8
Gambar 8 - Spektrum URS tunggal dan beberapa spektra CMS (ASCE 7-16 <i>commentary</i>) ..	9
Gambar 9 – Contoh hasil deagregasi PSHA yang menunjukkan nilai rata-rata magnitudo (M), jarak (R), dan epsilon (ϵ) (Baker, 2011).....	10
Gambar 10 – Spektrum rata-rata, spektrum rata-rata+ 2σ , dan spektrum individu yang terasosiasi dengan suatu nilai M dan R tertarget (Baker, 2011)	11
Gambar 11 – Spektrum rata-rata, spektrum individu, dan spektrum CMS pada periode $T = 1,0$ det, yang terasosiasi dengan suatu nilai M dan R tertarget (Baker, 2011).....	11
Gambar 12 – Spektrum rata-rata, spektrum rata-rata+ 2σ , dan beberapa spektrum CMS yang terasosiasi dengan nilai M dan R tertarget (Baker, 2011).....	12
Gambar 13 - Hasil analisis deagregasi wilayah Jakarta (2.475 tahun) pada periode $T = 2,0$ detik (kiri) dan $T = 5,0$ detik (kanan).....	13
Gambar 14 - Durasi signifikan DS_{5-75} untuk komponen Timur-Barat rekaman gempa Tohoku 2011 (Chandramohan dkk, 2016).....	13
Gambar 15 - Prediksi nilai durasi signifikan (DS_{5-75}) terhadap magnitudo untuk tiga persamaan model regresi(Chandramohan dkk, 2016)	14
Gambar 16 - Contoh hasil penskalaan amplitudo (kiri) dan contoh spektrum dari satu pasangan gerak tanah individu dengan dekomposisi spektrum komponen horizontal pada dua arah (kanan) (ASCE 7-16 <i>commentary</i>)	15
Gambar 17- Contoh hasil penskalaan amplitudo (kiri) dan pencocokan spektral (kanan) (ASCE 7-16 <i>commentary</i>).....	15
Gambar 18 - Contoh perbandingan hasil metode Pencocokan Spektral Ketat (kiri) dan metode Pencocokan Spektral Rata-rata (kanan) (Mazzoni dkk, 2012).....	17
Gambar 19 - Contoh hasil pencocokan spektral yang benar	17
Gambar 20 - Ilustrasi aplikasi gerak tanah pada model analisis dengan struktur besmen (PEER TBI, 2017)	18

Gambar A.1 -Hasil analisis deagregasi untuk wilayah Jakarta (2.475 tahun) untuk periode 0,2 (kiri) dan 4,0 detik (kanan) (Hendriyawan & Azis, 2010).....	19
Gambar A.2 -Hasil penskalaan spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$	21
Gambar A.3 -Hasil penskalaan spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$	21
Gambar A.4 -Spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu (tanpa skala) dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum.....	22
Gambar A.5 -Perbandingan spektrum hasil analisis spesifik situs dengan spektrum yang didefinisikan dalam peraturan SNI untuk perioda ulang 2.475 tahun di Jakarta.....	22
Gambar A.6 -Rasio rata-rata respons spektrum terhadap target respons spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$ [atas] dan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$ [bawah].....	23
Gambar A.7-Akserogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Utara-Selatan (U-S) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)	24
Gambar A.8 (lanjutan)-Akserogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Utara-Selatan (U-S) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)	25
Gambar A.9 -Akserogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Timur-Barat (T-B) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)	25
Gambar A.10(lanjutan) -Akserogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Timur-Barat (T-B) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)	26
Gambar B.1 -Respons spektrum gerak tanah asli.....	28
Gambar B.2 -Respons spektrum gerak tanah dengan penskalaan amplitudo	29
Gambar B.3 -Respons spektrum gerak tanah dengan pencocokan spektral rata-rata.....	29
Gambar B.4 -Rasio spektrum rata-rata terhadap target spektrum	30
Gambar B.5 -Grafik percepatan, kecepatan, dan simpangan gerak tanah dari gempa Chi-Chi (komponen T-B dan U-S) untuk gerak tanah asal (biru) dan gerak tanah termodifikasi (merah)	31
Gambar B.6 -Respons spektrum gempa Chi-Chi untuk komponen T-B (atas) dan komponen U-S (bawah) untuk gerak tanah asal (biru) dan termodifikasi (merah).....	32
Gambar C.1–Spektrum Target versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik)	34
Gambar C.2 - Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik).....	35
Gambar C.3–Spektrum Target versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 3$ detik)	35
Gambar C.4–Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 3$ detik)	36
Gambar C.5–Spektrum target versus Spektrum tercocokkan ($0,01 < T < 7$ detik).....	36
Gambar C.6–Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 7$ detik)	37
Gambar C.7 -Intensitas Arias gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan	37
Gambar C.8–Spektrum Risiko Seragam (<i>Uniform Risk Spectrum</i> - URS) pada batuan dasar untuk perioda ulang 2.475 tahun.....	38
Gambar C.9 - Deagregasi bahaya untuk Percepatan spektral (S_a) perioda ulang 2.475 tahun	38
Gambar C.10 -Target spektrum versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik).....	39
Gambar C.11–Target Spektrum versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 4$ detik)	40

Gambar C.12—Gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 4$ detik)	41
Gambar C.13 - Intensitas Arias Gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan	42

Daftar tabel

Tabel A. 1 -Gerak tanah yang diseleksi dan diskalakan untuk mendapatkan respons spektrum rata-rata cocok dengan target respons spektrum	20
Tabel B. 1 -Gerak tanah yang diseleksi dan dimodifikasi untuk mendapatkan respons spektrum rata-rata cocok dengan target respons spektrum	27
Tabel C. 1 - Pemilihan Gerak tanah asli	39

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan judul *Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa* merupakan standar baru yang memuat tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah untuk perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung menggunakan prosedur analisis riwayat waktu berdasarkan SNI 1726:2019. Standar ini didukung dengan pengembangan referensi dan riset oleh perumus standar yang terdiri dari pakar dan praktisi yang tergabung dari berbagai perguruan tinggi, asosiasi, lembaga penelitian, dan instansi pemerintah terkait.

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-0 Bahan dan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Struktur Bangunan pada Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. Tata cara penulisan disusun mengikuti PKBSN Nomor 4 Tahun 2016 tentang Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia (SNI), yang telah dibahas dalam forum Rapat Konsensus pada tanggal 2 Desember 2019 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman. Forum rapat konsensus ini dihadiri oleh wakil dari produsen, konsumen, asosiasi, lembaga penelitian, perguruan tinggi dan instansi pemerintah terkait.

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 10 April 2020 sampai dengan 29 April 2020, dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen dimaksud, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa

1 Ruang lingkup

Standar ini memuat tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah untuk perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung menggunakan prosedur analisis riwayat waktu respons nonlinier berdasarkan SNI 1726:2019. Secara spesifik, sesuai penjelasan pada Pasal 4, dokumen ini berlaku untuk target respons spektrum gempa MCE_R (periode ulang 2.475 tahun atau 1 % probabilitas risiko keruntuhan dalam 50 tahun).

Jika dibutuhkan, prosedur yang serupa juga dapat diterapkan untuk taraf kegempaan lainnya, misalnya target respons spektrum SLE (periode ulang 43 tahun atau 50 % probabilitas terlampaui dalam 30 tahun) atau target respons spektrum dengan periode ulang kegempaan lainnya.

2 Acuan normatif

SNI 1726:2019, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.

ASCE 7-16, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.

PEER TBI v2.03-2017, *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Buildings*.

3 Definisi dan notasi

3.1 Definisi

3.1.1

spektrum rata-rata terkondisi (*Conditional mean spectrum*)

respons spektrum yang dikondisikan pada suatu nilai percepatan spektral untuk suatu periode yang terkait

3.1.2

durasi signifikan

interval waktu suatu gerak tanah yang mencakup suatu rentang persentase (%) ukuran intensitas gempa Arias

3.1.3

respons spektrum rata-rata geometrik

respons spektrum dimana ordinat pada setiap periode merupakan rata-rata geometrik dari percepatan respons spektral kedua arah komponen horizontal

3.1.4

respons spektrum arah maksimum

respons spektrum dimana ordinat pada setiap periode dihasilkan dari komponen respons maksimum dengan orientasi sudut tertentu

3.1.5

respons spektrum komponen horizontal

respons spektrum dimana ordinat pada setiap periode dihasilkan dari masing-masing komponen horizontal saling tegak lurus/ortogonal, yaitu Utara-Selatan dan Barat-Timur

3.1.6

target respons spektrum

respons spektrum desain yang digunakan sebagai kriteria/sasaran dalam melakukan prosedur modifikasi gerak tanah

3.1.7

spektrum risiko seragam (*Uniform risk spectrum*) permukaan

respons spektrum gempa di permukaan dimana ordinat setiap periode memiliki probabilitas risiko terlampaui yang seragam di setiap periode ulang

3.1.8

spektrum bahaya seragam (*Uniform Hazard Spectrum*) permukaan

respons spektrum gempa di permukaan dimana ordinat setiap periode memiliki probabilitas bahaya terlampaui yang seragam di setiap perioda ulang

3.2 Notasi

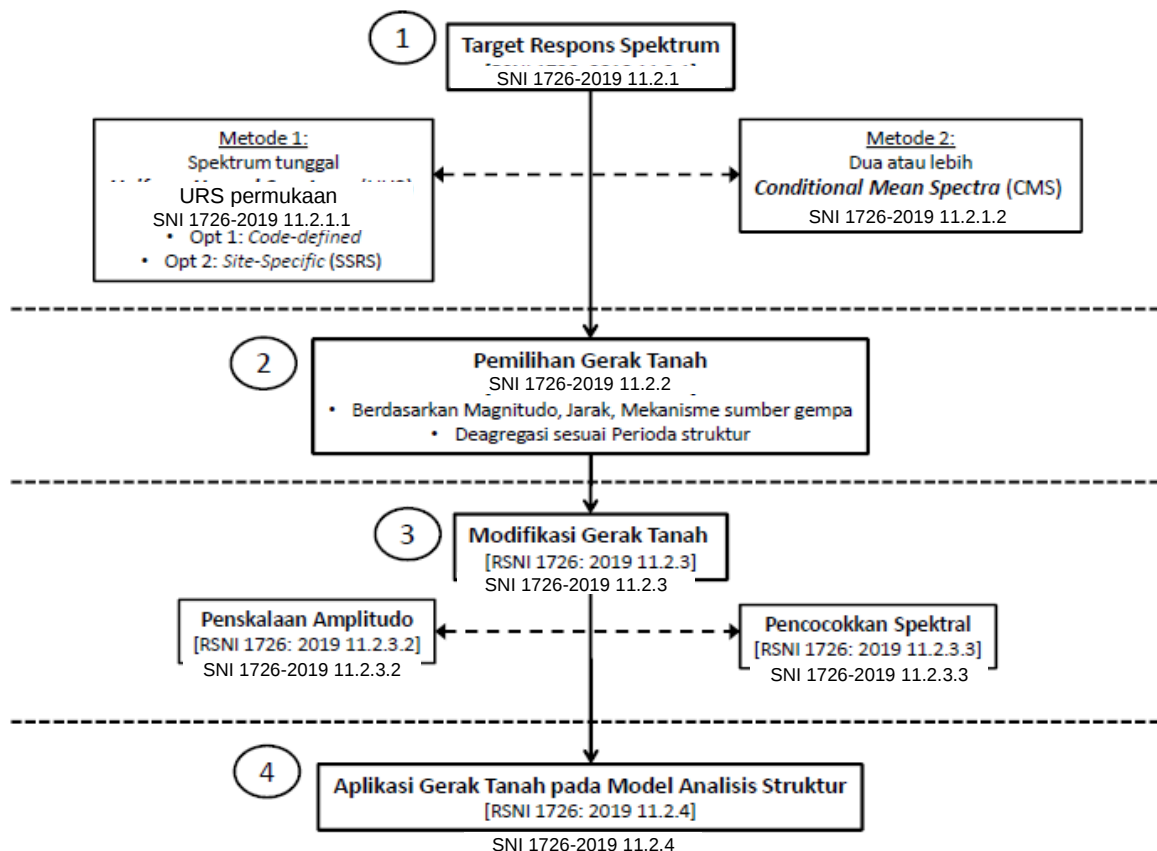
CMS	=	<i>Conditional Mean Spectrum</i>
Ds	=	Durasi signifikan
DS ₅₋₇₅	=	Durasi signifikan 5 % sampai dengan 75 %
DSHA	=	<i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i>
GMPE	=	<i>Ground Motion Prediction Equation</i>
MCE _R	=	Gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan risiko tertarget (<i>Risk-targeted Maximum Considered Earthquake</i>) yang didefinisikan sebagai gempa dengan perioda ulang 2475 tahun dengan 1% probabilitas risiko keruntuhan terlampaui dalam 50 tahun
PSHA	=	<i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i>
SaRotD ₁₀₀	=	Spektrum Respons percepatan spektral dengan orientasi sudut yang menghasilkan respons maksimum
SLE	=	<i>Service-Level Earthquake</i> yang didefinisikan sebagai gempa dengan periode ulang 43 tahun (50 % probabilitas terlampaui dalam 30 tahun)
Sa	=	parameter percepatan respons spektral pada periode getar tertentu
Sa _{GM}	=	parameter percepatan respons spektral geomean pada periode getar tertentu, yang didefinisikan sebagai $Sa_{GM} = \sqrt{Sa_X \times Sa_Y}$
Sa _X	=	parameter percepatan respons spektral komponen horizontal arah X pada periode getar tertentu
Sa _Y	=	parameter percepatan respons spektral komponen horizontal arah Y pada periode getar tertentu
SRSS	=	<i>square root sum square</i> yang didefinisikan sebagai $SRSS = \sqrt{X^2 + Y^2}$
T _{1A}	=	periode getar fundamental terbesar untuk arah respons horizontal utama
T _{1B}	=	periode getar fundamental terkecil untuk arah respons horizontal utama

UHS	= <i>Uniform Hazard Spectrum</i>
URS	= <i>Uniform Risk Spectrum</i>
M	= magnitudo gempa
R	= jarak antara sumber gempa ke situs yang ditinjau
T^*	= periode getar yang dipilih untuk perhitungan CMS
ε	= <i>normalized residual</i> dari suatu GMPE
$\mu_{\ln Sa}$	= nilai rata-rata dari logaritma percepatan spektral yang diprediksi menggunakan GMPE
$\sigma_{\ln Sa}$	= nilai standar deviasi dari logaritma percepatan spektral yang diprediksi menggunakan GMPE
ρ	= koefisien korelasi

4 Prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah

Keseluruhan prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah dapat dibagi menjadi empat tahapan utama seperti yang diilustrasikan dalam diagram alir pada Gambar 1, yaitu mencakup:

1. Menentukan target respons spektrum [SNI 1726: 2019 Pasal 11.2.1]
2. Pemilihan gerak tanah [SNI 1726:2019 Pasal 11.2.2]
3. Modifikasi gerak tanah [SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3]
4. Aplikasi gerak tanah pada model analisis struktur [SNI 1726:2019 Pasal 11.2.4]



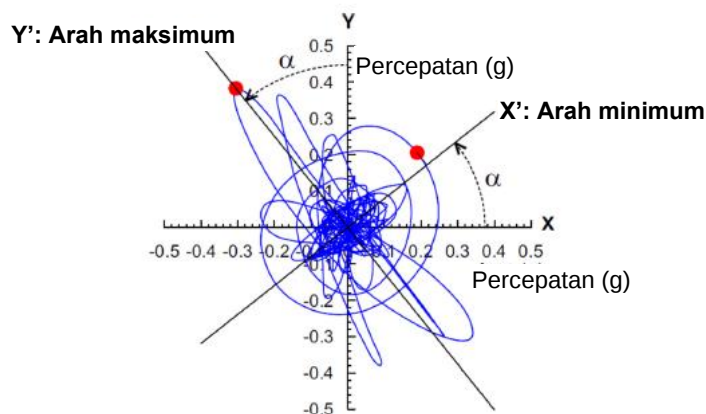
Gambar 1– Diagram alir prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah sesuai SNI 1726:2019

5 Definisi ukuran intensitas gerak tanah

Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 11, gerak tanah yang digunakan dalam prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah, didefinisikan sebagai gerak tanah pada permukaan tanah dengan nilai percepatan horizontal arah maksimum digunakan sebagai ukuran intensitas. Definisi ini adalah untuk menjaga konsistensi antara gerak tanah riwayat waktu yang akan digunakan di permukaan tanah dengan definisi gerak tanah pada peta MCE_R di batuan-dasar (*bedrock*), yaitu di mana spektra percepatan pada periode 0,2 detik (S_s) dan percepatan spektral pada periode 1 detik (S_1) telah dirumuskan dan didefinisikan berdasarkan gerak tanah dengan nilai percepatan horizontal arah maksimum. Perlu diperhatikan bahwa definisi ini berlaku juga untuk level bahaya gempa pada intensitas lainnya jika diperlukan, misalnya untuk *Service Level Earthquake (SLE)* yang diperlukan dalam analisis riwayat waktu respons nonlinier.

CATATAN Sejak edisi ASCE 7-10, berdasarkan hasil studi Huang et al. 2008, diperkenalkan definisi baru ukuran intensitas gerak tanah horizontal (S_a) yang digunakan dalam perencanaan gempa. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, sepasang gerak tanah dengan 2 (dua) komponen horizontal direpresentasikan dengan respons percepatan dari suatu sistem yang memiliki satu massa terpusat dan diasosiasikan dengan periode getar dan rasio redaman tertentu. Gerak tanah horizontal arah maksimum adalah respons percepatan spektral maksimum dari sistem tersebut dengan sudut α yang menunjukkan orientasi maksimum. Jika hal serupa diberlakukan pada setiap periode getar, maka didapat respons spektrum percepatan spektral arah maksimum untuk sebuah pasangan gerak tanah dengan dua komponen horizontal. Dengan demikian, konsisten dengan definisi yang tercantum dalam ASCE 7-16, semua respons spektrum percepatan spektral yang dibahas dalam dokumen ini sudah mencakup dua arah komponen horizontal (*bidirectional*), yaitu respons spektrum percepatan spektral arah-maksimum atau sering juga disebut respons spektrum percepatan spektral $S_{aRotD_{100}}$ (respons spektrum berdasarkan sepasang gerak tanah horizontal 100th persentil (maksimum) dengan orientasi maksimum (α) yang bersifat *period-dependant*). Dalam kaitannya dengan pengembangan pasangan gerak tanah, maka 2 (dua) komponen horizontal rekaman asli gerak tanah perlu dicari orientasi respon arah maksimumnya (sebagai ganti dari SRSS yang didefinisikan sebelumnya dalam SNI 1726:2012 atau ASCE 7-10), sebelum dilakukan penskalaan ataupun pencocokan terhadap spektrum target yang direkomendasikan.

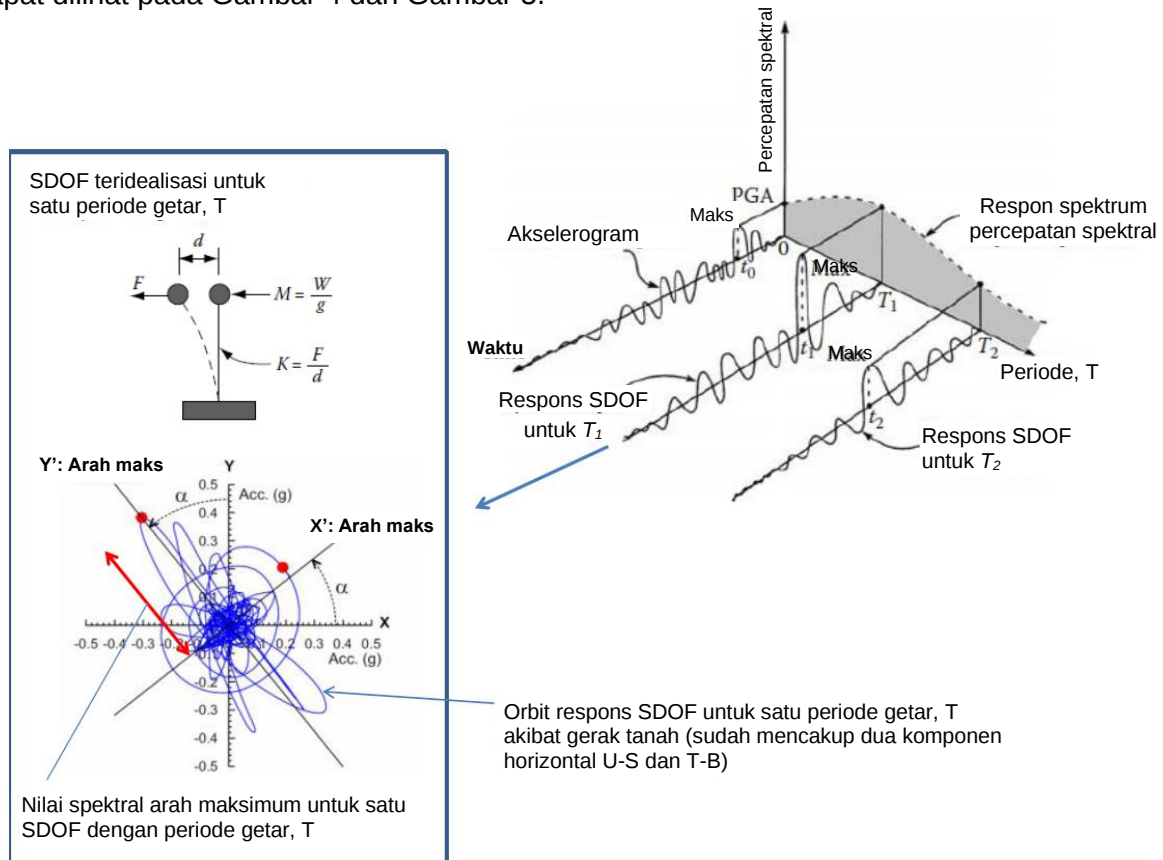
Sebagai catatan, definisi tersebut berbeda dengan definisi yang diterapkan dalam edisi ASCE 7 sebelumnya (termasuk ASCE 7-05), di mana ukuran intensitas gerak tanah diambil berdasarkan rata-rata geometrik, S_{aGM} , yang didapat dengan menggunakan persamaan: $S_{aGM} = \sqrt{S_{aX} \times S_{aY}}$, di mana S_{aX} dan S_{aY} , merupakan nilai percepatan spektral untuk masing-masing arah horizontal komponen gerak tanah.



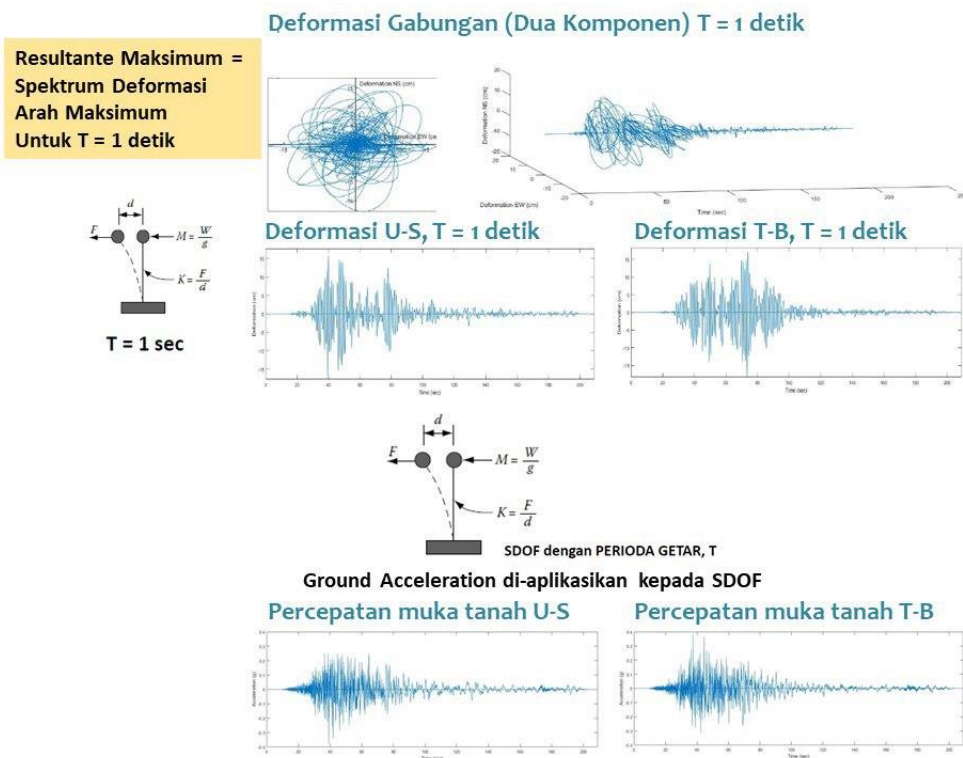
Gambar 2 - Orbit percepatan suatu sistem osilator yang memiliki satu massa terpusat dan diasosiasikan dengan periode getar dan rasio redaman tertentu untuk menentukan respons percepatan arah-maksimum (Huang dkk, 2008)

Spektrum arah maksimum suatu pasang komponen gerak tanah horizontal dapat dibuat konsisten dengan definisi ukuran intensitas gerak tanah yang dijelaskan dalam Pasal 3.2. Diagram skematik prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum dapat dilihat pada

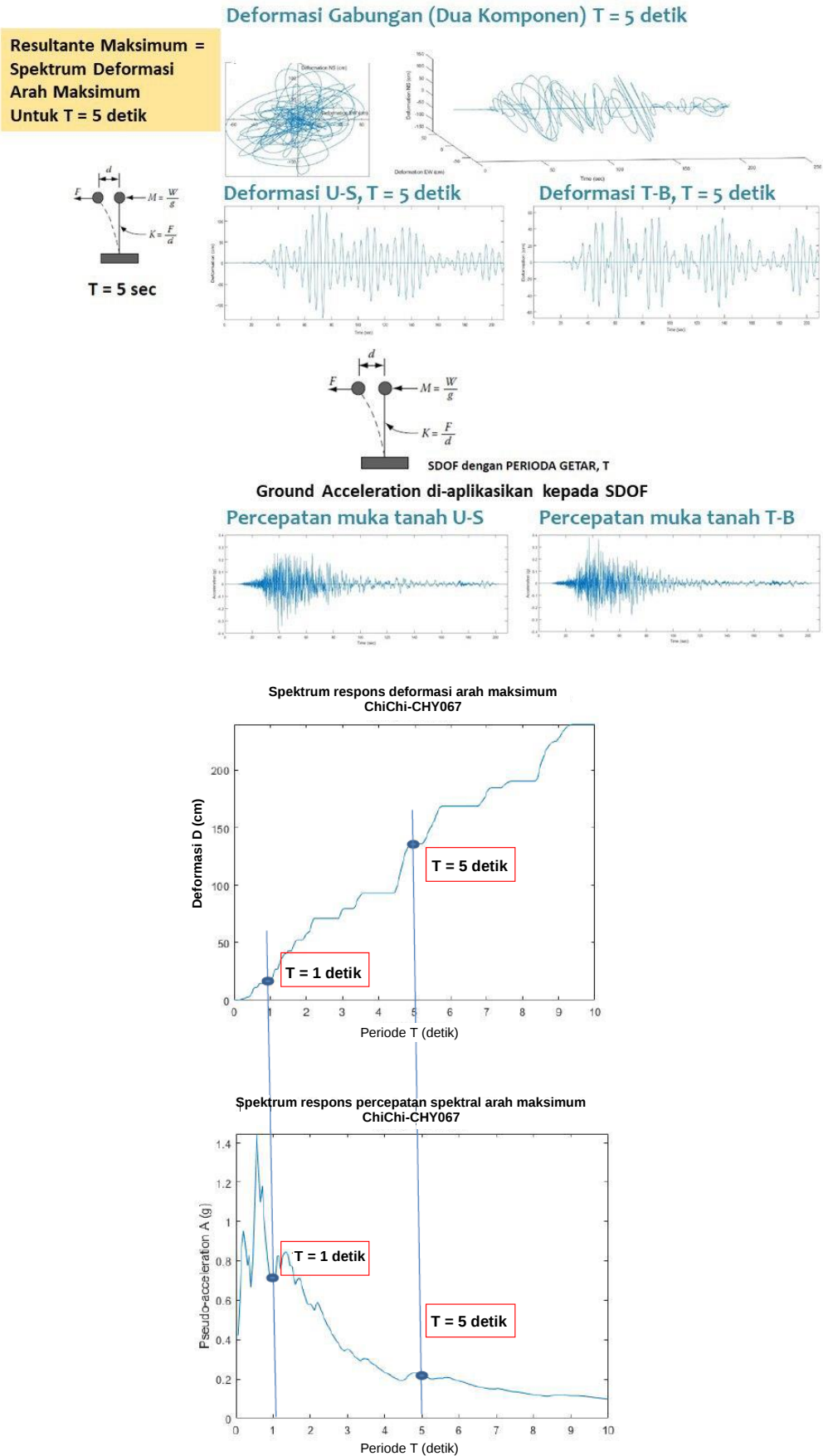
Gambar 3. Contoh aplikasi penerapan prosedur tersebut dengan tahapan-tahapan yang rinci dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3 – Diagram skematik prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (Huang dkk, 2008)



Gambar 4 – Prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (bagian 1) (Nick dkk, 2019)



Gambar 5 – Prosedur pembuatan respons spektrum arah maksimum (bagian 2) (Nick dkk, 2019)

6 Target respons spektrum

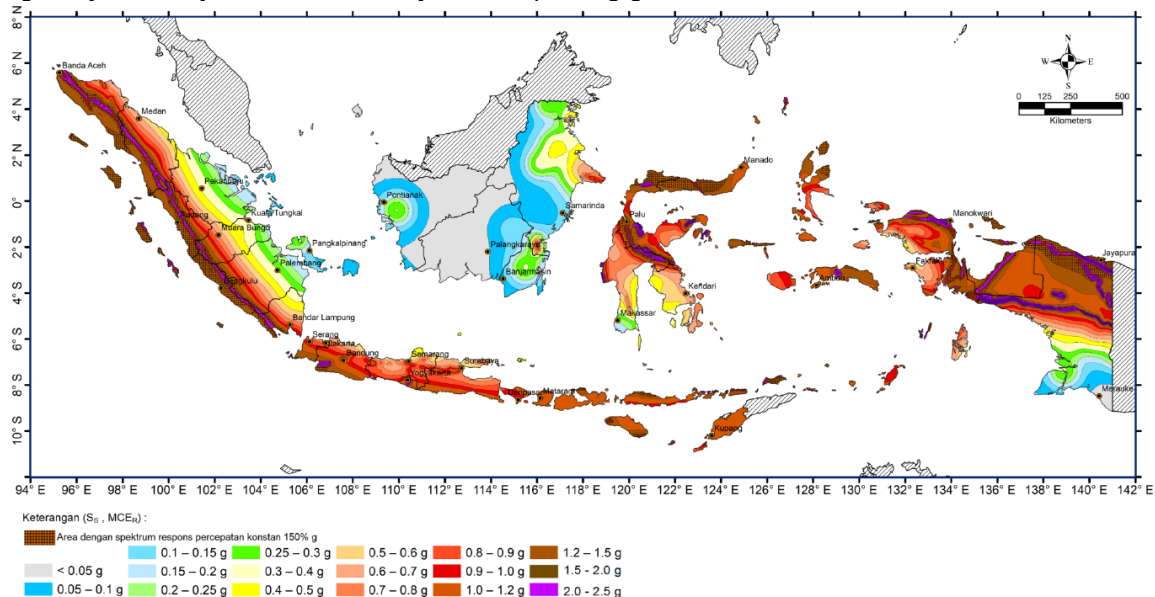
Dalam SNI 1726:2019 Pasal 11.2.1, target respons spektrum gempa yang dipakai adalah spektrum MCE_R pada permukaan tanah dengan redaman 5%. Dua metode dapat digunakan dalam membuat target respons spektrum, yaitu:

6.1 Metode 1: Spektrum tunggal Risiko Seragam (*Uniform Risk Spectrum* - URS) di permukaan

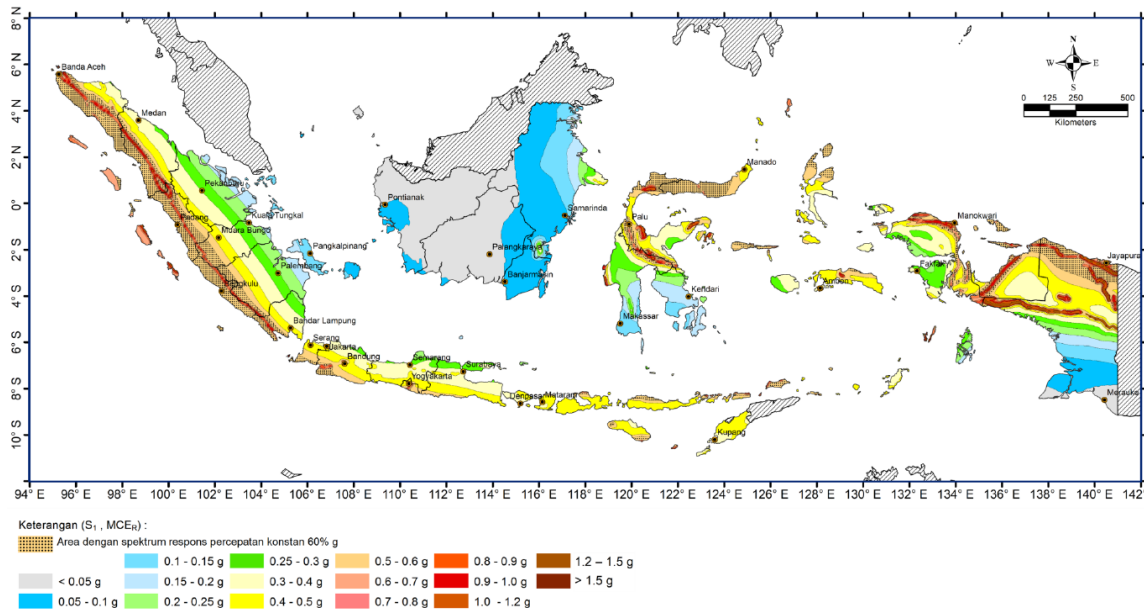
Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 6.8, untuk struktur pada semua kelas situs SA, SB, SC, SD, dan SE, target respons spektrum MCE_R dapat dibuat dengan mengalikan respons spektrum desain (*Design-Based Earthquake* - DBE) dengan faktor 1,5, di mana spektrum desain tersebut dapat langsung dibuat sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.4 menggunakan nilai-nilai parameter percepatan dan koefisien situs spesifik yang sudah tersedia dalam peraturan SNI 1726:2019 (Gambar 7). Sebagai alternatif, untuk kelas situs SA, SB, SC, SD, dan SE, diijinkan menggunakan analisis respons spektrum spesifik situs sesuai prosedur yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Pasal 6.10.

Untuk kelas situs SF, SNI 1726:2019 Pasal 6.9 mengharuskan penggunaan analisis respons spektrum spesifik situs dalam membuat target respons spektrum mengikuti prosedur yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Pasal 6.10.

CATATAN Penggunaan spektrum tunggal risiko seragam di permukaan sebagai target respons spektrum untuk basis seleksi dan modifikasi gerak tanah merupakan pendekatan yang cukup konservatif karena secara prinsip, spektrum dibuat dengan mengambil *envelope* dari hasil analisis *hazard* gempa (PSHA dan DSHA) di setiap periode. Dalam kondisi riil, tentunya nilai respons percepatan pada kurva spektrum tunggal risiko seragam di permukaan untuk rentang periode struktur yang dikaji, bisa saja disebabkan hanya dari sepasang gerak tanah individu.



Gambar 6 - Parameter gerak tanah, S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%) pada kelas situs BC (S_{BC}) (SNI 1726:2019)



Gambar 7 -Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 1 detik (redaman kritis 5%) pada kelas situs BC (S_{BC}) (SNI 1726:2019)

6.2 Metode 2: Dua atau lebih Spektrum Rata-rata Ter kondisi (CMS)

Dua spektrum respons target spesifik situs, atau lebih, harus dibuat. Apabila metode ini digunakan, ketentuan-ketentuan berikut harus dipenuhi, selain juga ketentuan-ketentuan lain dalam Pasal ini:

1. Dua periode, atau lebih, harus dipilih, sesuai dengan ragam-ragam getar yang memberikan kontribusi signifikan terhadap respons dinamik inelastis gedung pada dua arah ortogonal. Dalam pemilihan periode, perpanjangan dari periode elastis harus ikut dipertimbangkan,
2. Untuk setiap periode yang dipilih, suatu spektrum target harus dibuat sehingga cocok atau melebihi nilai MCE_R pada periode tersebut. Saat membuat spektrum target (1) deagregasi situs spesifik hasil PSHA harus dilakukan untuk mengidentifikasi peristiwa-peristiwa gempa yang memberikan kontribusi terbesar kepada gerak tanah MCE_R pada periode yang dipilih dan (2) spektrum target tersebut harus dibuat agar mencakup suatu bentuk spektral untuk kombinasi magnitudo dan jarak dominan yang terasosiasi dengan satu sumber gempa paling dominan berdasarkan hasil deagregasi,
3. Nilai selubung dari kombinasi spektrum-spektrum target tidak boleh kurang dari 75% nilai spektral yang dihitung menggunakan metode 1, untuk semua rentang periode yang berlaku,
4. Untuk setiap spektrum respons target, satu rangkaian gerak tanah untuk analisis respons riwayat waktu harus dibuat menggunakan prosedur pemilihan dan modifikasi gerak tanah. Ketentuan-ketentuan kriteria penerimaan struktur (baik secara global maupun untuk komponen individu) harus dievaluasi secara independen untuk setiap rangkaian gerak tanah,
5. Target spektrum harus dikondisikan pada periode yang dipilih, T^* , dimana nilai rata-rata magnitudo (M), jarak (R), dan epsilon (ϵ) ditentukan dari hasil deagregasi PSHA yang terasosiasi dengan $S_a(T^*)$. Epsilon (ϵ) didefinisikan sebagai nilai kelipatan standar deviasi untuk mengukur besarnya perbedaan nilai $\ln(S_a)$ terhadap nilai rata-rata $\ln(S_a)$,
6. Target spektrum harus dibuat secara deterministik yang terasosiasi dengan nilai M dan R tertarget berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi respons spektrum ($\mu_{\ln S_a}(M,R,T)$ dan $\sigma_{\ln S_a}(T)$) pada semua periode, menggunakan fungsi atenuasi (*Ground Motion*

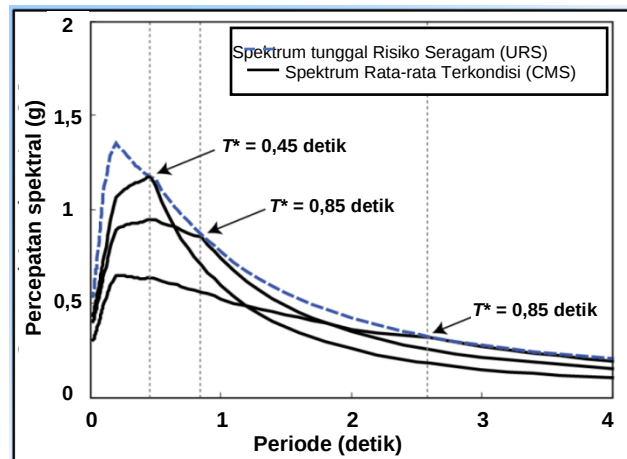
Prediction Equation – GMPE) yang konsisten dengan persamaan GMPE untuk pengembangan peta bahaya gempa Indonesia 2017 (Irsyam et al, 2017),

7. Ordinat spektral target spektrum CMS pada semua periode harus dibuat menggunakan koefisien korelasi epsilon (ρ) antar periode yang dirumuskan oleh Baker dan Jayaram (2008).

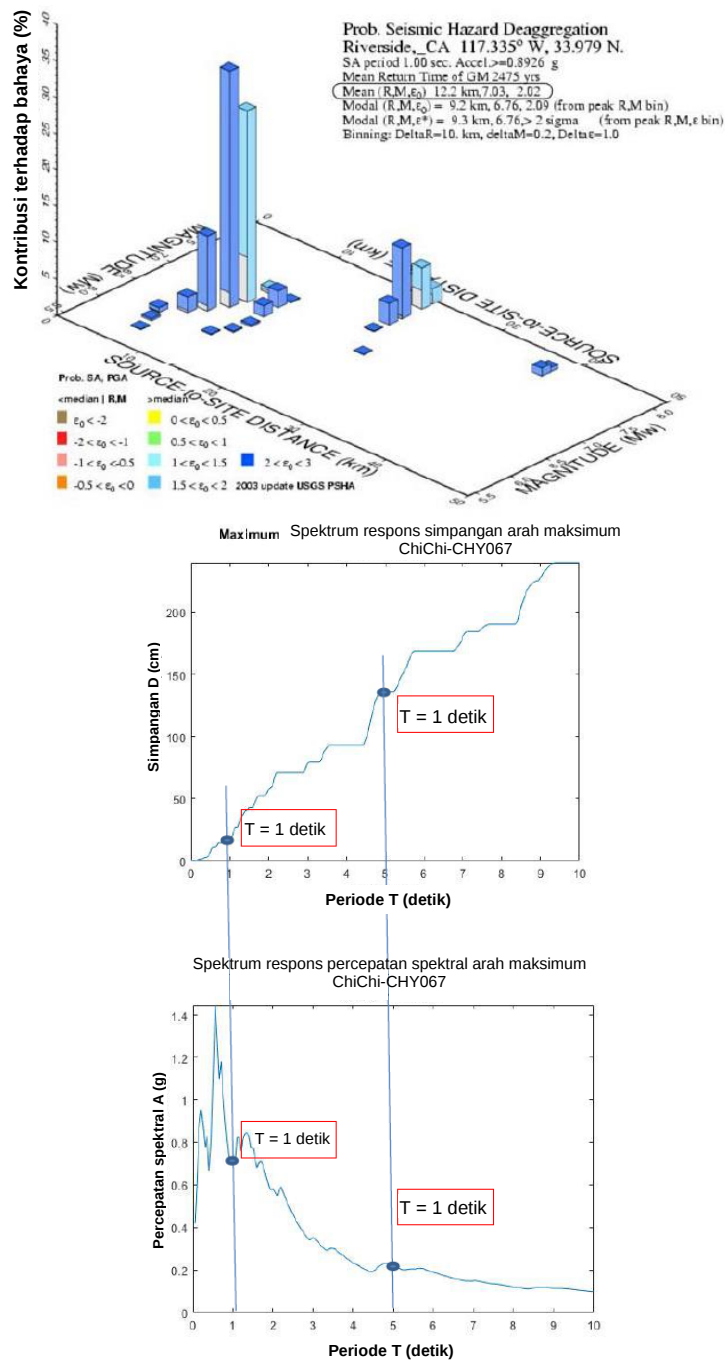
Variasi terhadap prosedur yang dibahas dalam Pasal ini diijinkan untuk digunakan apabila disetujui oleh penelaah desain.

CATATAN Dalam SNI 1726:2019, diijinkan penggunaan metode alternatif dalam membuat target respons spektrum, yaitu dengan menggunakan spektra CMS sebanyak dua atau lebih. Meskipun CMS dapat menghasilkan estimasi respons struktur yang memadai untuk satu periode struktur akibat satu skenario gempa, namun spektrum ini tidak dapat menangkap respons struktur dalam rentan periode lain akibat skenario gempa yang berbeda. Oleh karena itu, CMS harus diaplikasikan dengan penggunaan lebih dari satu spektrum, agar dapat menangkap respons struktur mempertimbangkan berbagai skenario gempa secara menyeluruh (Gambar 8). Gambar tersebut juga menunjukkan perbandingan antara respons spektrum URS dan CMS. Sesuai pasal, kriteria penerimaan struktur harus dilakukan secara independen untuk setiap target respons spektrum CMS sehingga akan meningkatkan upaya dan waktu komputasi serta evaluasi secara signifikan.

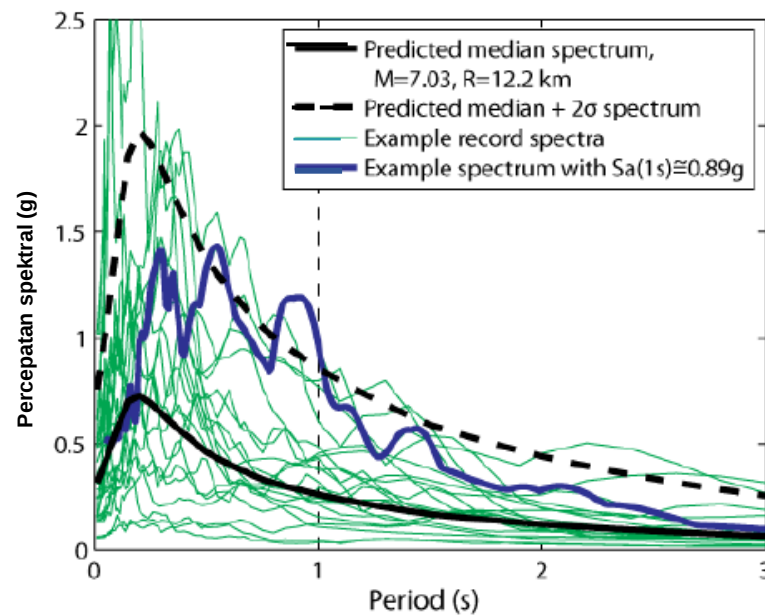
Gambar 9 sampai dengan Gambar 12 menunjukkan gambaran prosedur pembuatan spektra CMS.



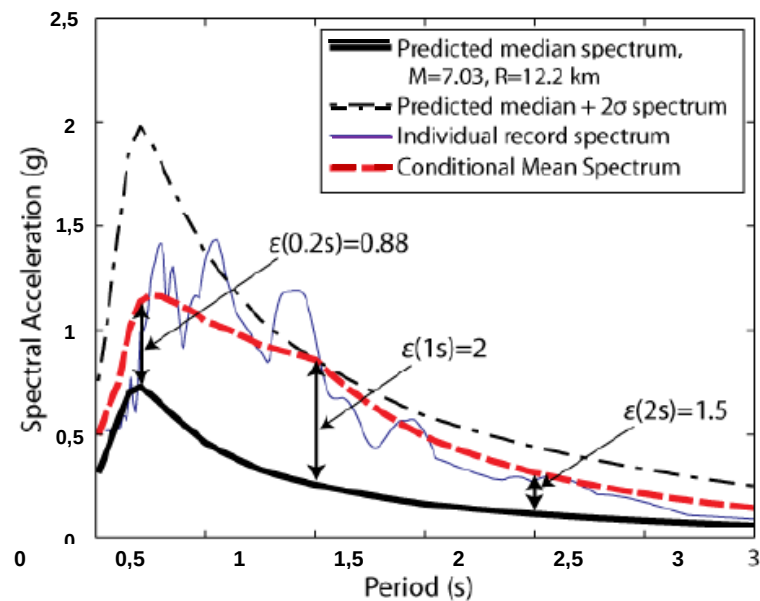
Gambar 8 - Spektrum URS tunggal dan beberapa spektra CMS (ASCE 7-16 commentary)



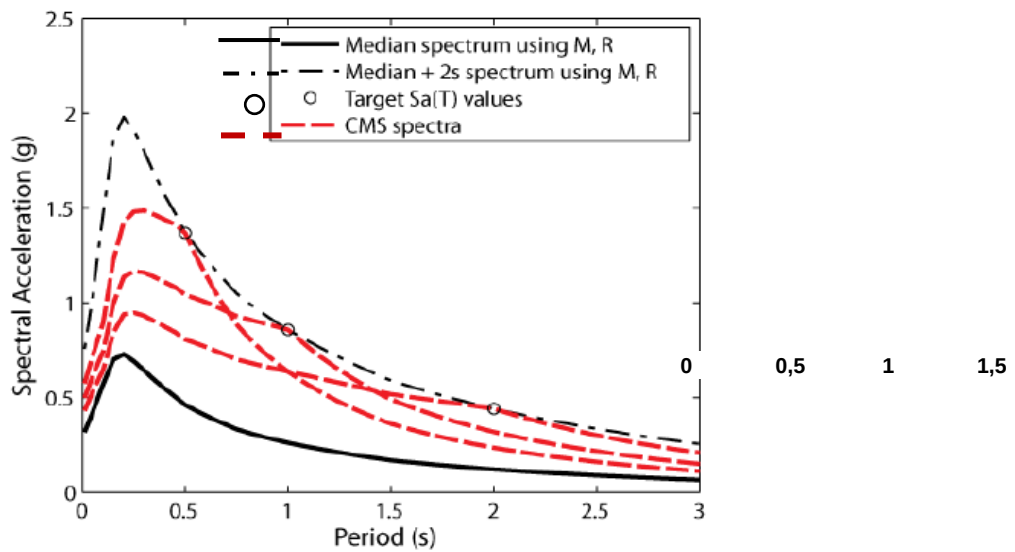
Gambar 9 – Contoh hasil deagregasi PSHA yang menunjukkan nilai rata-rata magnitudo (M), jarak (R), dan epsilon (ε) (Baker, 2011)



Gambar 10 – Spektrum rata-rata, spektrum rata-rata+2 σ , dan spektrum individu yang terasosiasi dengan suatu nilai M dan R tertarget (Baker, 2011)



Gambar 11 – Spektrum rata-rata, spektrum individu, dan spektrum CMS pada periode $T = 1,0$ det, yang terasosiasi dengan suatu nilai M dan R tertarget (Baker, 2011)



Gambar 12 – Spektrum rata-rata, spektrum rata-rata+2 σ , dan beberapa spektrum CMS yang terasosiasi dengan nilai M dan R tertarget (Baker, 2011)

7 Pemilihan gerak tanah

7.1 Jumlah dan komponen gerak tanah

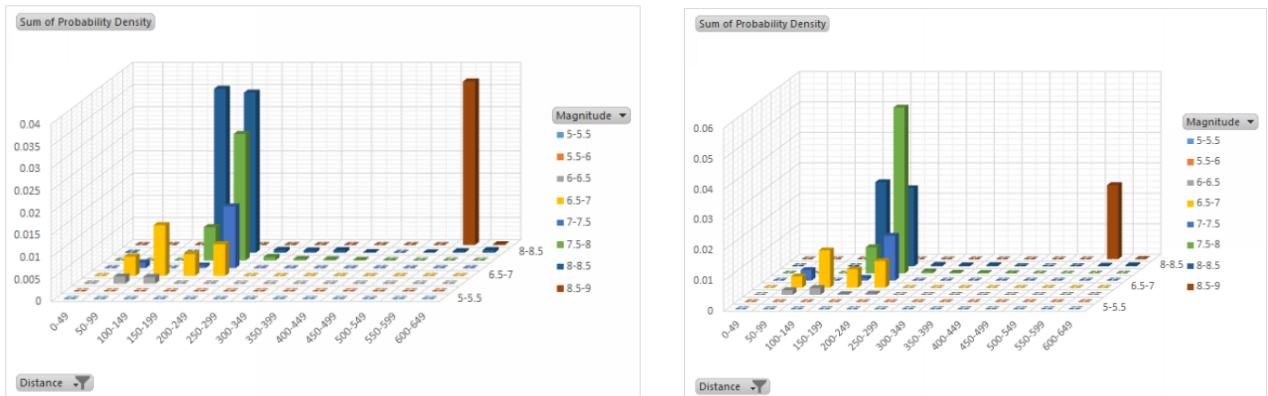
Sesuai SNI 1726:2019, tidak kurang dari 11 pasang gerak tanah horizontal harus dipilih untuk setiap target respons spektrum. Setiap pasang gerak tanah harus terdiri dari dua komponen gerak tanah horizontal saling tegak lurus.

CATATAN Dalam SNI 1726:2019 Pasal 11.2.2, jumlah gerak tanah permukaan yang diperlukan dalam proses seleksi adalah 11 pasang. Dalam *commentary* ASCE 7-16, penetapan jumlah pasangan gerak tanah tersebut bertujuan untuk meningkatkan tingkat *confidence* terhadap hasil respons rata-rata, di mana sebelumnya hanya dibutuhkan ≥ 7 (atau 3) pasang pada ASCE 7-10. Tiga maupun tujuh pasang gerak tanah dinilai belum memadai dalam mencakup rata-rata atau variabilitas antar-rekaman dari respons struktur secara akurat.

7.2 Kriteria pemilihan gerak tanah

Seleksi gerak tanah harus dilakukan dengan mempertimbangkan mekanisme sumber gempa, besaran magnitudo, dan jarak terhadap sesar atau sumber gempa yang dapat merepresentasikan kondisi kegempaan pada lokasi yang ditinjau. Jika memungkinkan, gerak tanah harus diambil dari hasil rekaman akselerometer yang terpasang di permukaan tanah. Jika gerak tanah terekam dengan jumlah yang disyaratkan tidak tersedia, diijinkan menggunakan gerak tanah simulasi, dengan catatan simulasi harus konsisten dengan nilai magnitudo, karakteristik sumber, jarak patahan, dan kondisi lokasi yang menentukan target respons spektrum.

CATATAN Pemilihan gerak tanah harus mengacu pada hasil analisis deagregasi sebagai bagian dari proses PSHA pada rentang periode struktur yang mendominasi perilaku struktur yang sedang dikaji. Analisis deagregasi dapat menyaring dan menghasilkan informasi karakteristik (mekanisme, nilai magnitudo, dan jarak terhadap sumber patahan) gerak tanah yang dominan mengontrol yang merepresentasikan kondisi bahaya gempa lokasi yang ditinjau untuk rentang periode struktur yang dikaji. Gambar 13 menunjukkan contoh hasil analisis deagregasi (2.475 tahun) untuk wilayah Jakarta pada periode $T = 2,0$ detik dan $T = 5,0$ detik.

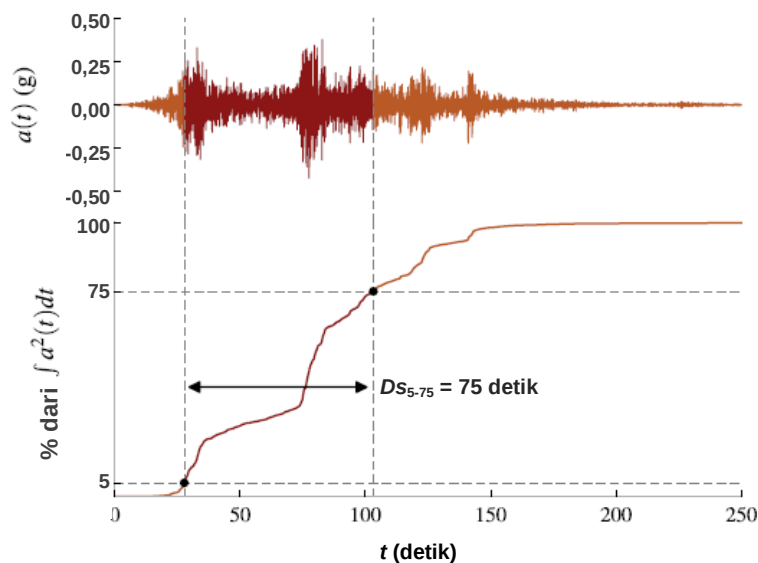


Gambar 13 - Hasil analisis deagregasi wilayah Jakarta (2.475 tahun) pada periode T = 2,0 detik (kiri) dan T = 5,0 detik (kanan)

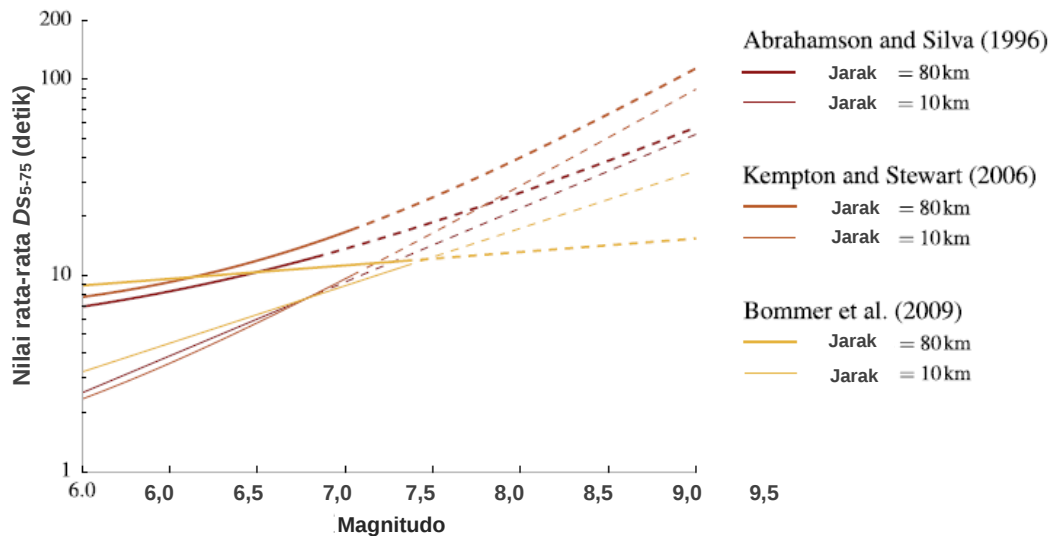
7.3 Durasi gerak tanah

Durasi gerak tanah harus menjadi pertimbangan dalam melakukan pemilihan gerak tanah. Parameter durasi signifikan dapat digunakan sebagai ukuran kuantitatif dalam menentukan kelainan panjang durasi suatu gerak tanah.

CATATAN Berbagai studi menunjukkan bahwa durasi gerak tanah memiliki pengaruh terhadap hasil peninjauan risiko keruntuhan struktur, yang umumnya diindikasikan dengan deformasi struktur maksimum. Pengaruh durasi pada gerak tanah menjadi semakin dominan untuk gempa *interface* dengan magnitudo yang besar. Durasi suatu gerak tanah dapat dikuantifikasi dengan durasi signifikan (*significant duration*- D_s) karena dinilai memiliki relasi dengan kapasitas keruntuhan struktur. Durasi signifikan suatu gerak tanah didefinisikan sebagai interval waktu yang mencakup suatu rentang persentase (%) ukuran intensitas gempa Arias. Gambar 14 menunjukkan durasi signifikan 5 % sampai 75% (D_{s5-75}) untuk komponen Timur-Barat dari rekaman gempa Tohoku 2011. Gambar 15 menunjukkan prediksi nilai durasi signifikan (D_{s5-75}) terhadap magnitudo berdasarkan 3 model regresi untuk 2 nilai jarak yang berbeda, 80 km dan 10 km. Berdasarkan informasi tersebut, pemilihan gerak tanah juga harus mempertimbangkan pengaruh durasi.



Gambar 14 - Durasi signifikan D_{s5-75} untuk komponen Timur-Barat rekaman gempa Tohoku 2011 (Chandramohan dkk, 2016)



Gambar 15 - Prediksi nilai durasi signifikan (D_{5-75}) terhadap magnitudo untuk tiga persamaan model regresi (Chandramohan dkk, 2016)

8 Modifikasi gerak tanah

8.1 Rentang periode untuk modifikasi

Prosedur modifikasi rekaman gerak tanah untuk dicocokkan dengan target respons spektrum harus dilakukan pada rentang periode yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3.1, yaitu antara $0,2T_{1B} - 2T_{1A}$, dimana T_{1A} adalah periode fundamental terbesar dan T_{1B} adalah periode getar fundamental terkecil untuk arah respons horizontal utama. Pengecualian untuk batas ambang atas rentang periode berlaku jika dapat divalidasi secara analitis, di mana batas ambang atas tersebut dapat diperkecil menjadi $1,5T_{1A}$. Rentang periode yang dipakai untuk modifikasi harus sudah mencakup partisipasi massa 90 % di setiap arah horizontal utama.

CATATAN Metode yang dapat digunakan untuk melakukan validasi perpanjangan periode getar adalah dengan menghitung waktu yang terjadi antar-siklus/*between-cycle* pada rentang getaran bebas/*free-vibration* di bagian akhir hasil analisis riwayat waktu respons nonlinier.

8.2 Penskalaan amplitudo

8.2.1 Prosedur penskalaan

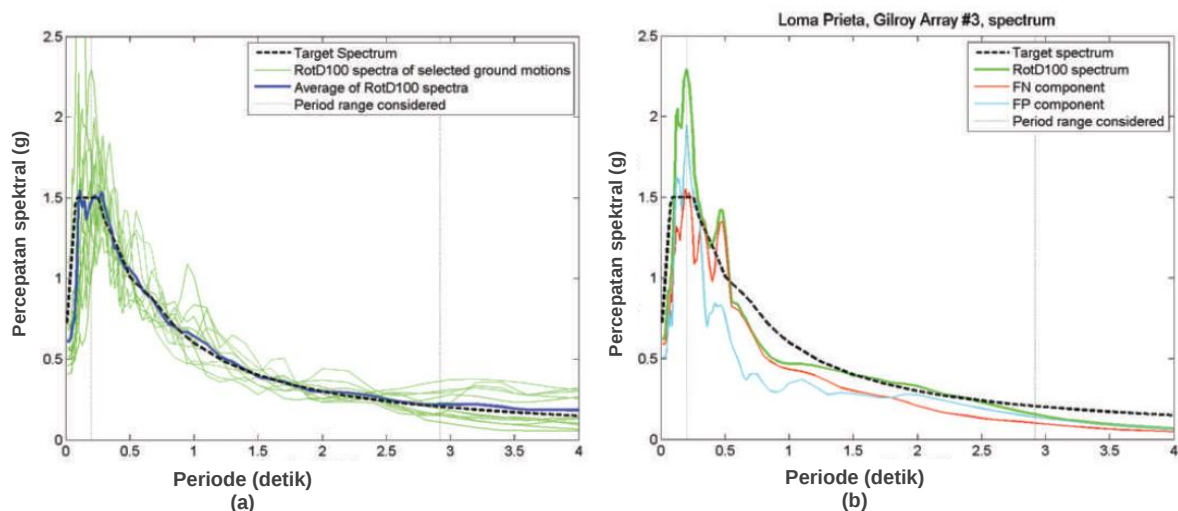
Dalam prosedur ini, spektrum arah-maksimum harus dibuat untuk setiap pasang gerak tanah, menggunakan dua komponen gerak horizontal secara simultan. Setiap pasang gerak tanah harus diskalakan menggunakan faktor skala yang sama untuk kedua komponen horizontal. Faktor skala untuk masing-masing pasangan gerak tanah ditentukan sedemikian rupa sehingga rata-rata respons spektrum arah-maksimum dari semua gerak tanah berada lebih dari 90 % target respons spektra pada rentang periode yang ditetapkan.

CATATAN Nilai 90 % dipakai untuk menghilangkan konservatisme yang berlebihan jika rata-rata spektra diharuskan lebih besar dari 100% target spektrum untuk setiap periode pada rentang periode yang berlaku. Gambar 16 menunjukkan gambaran hasil penerapan metode penskalaan amplitudo. Pada gambar bagian kiri, terlihat berbagai spektrum arah-maksimum ($RotD100$) dari serangkaian gerak tanah dengan nilai rata-ratanya yang dicocokkan dengan target spektrum. Sementara gambar bagian kanan menampilkan spektrum arah-maksimum individu untuk salah satu gerak tanah dengan dekomposisi spektrum komponen horizontal pada dua arah.

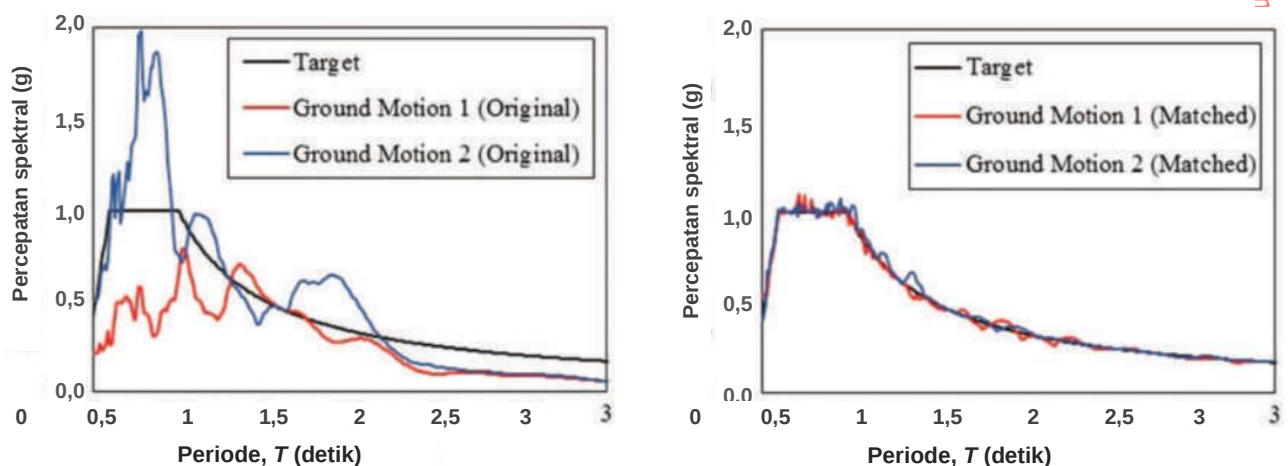
8.2.2 Batasan faktor skala

Nilai faktor skala yang digunakan harus berada dalam batasan dimana gerak tanah terskala yang dihasilkan masih cukup merepresentasikan karakteristik gerak tanah aktual secara memadai.

CATATAN Watson-Lamprey & Abrahamson (2005) merekomendasikan penerapan ambang batas terhadap faktor skala untuk gerak tanah yang diseleksi hanya berdasarkan data magnitudo, jarak, dan kondisi situs, tanpa adanya pertimbangan terhadap karakteristik dari gerak tanah yang diseleksi. Nilai faktor skala yang umum digunakan, berkisar antara 2 sampai 4 dan diambil berdasarkan pertimbangan engineering. Zareian & Zhong (2010) merekomendasikan batasan maksimum untuk *scaling factor* sebesar 5,0 dalam studi kasus GSM untuk gedung tinggi. Rekomendasi batasan nilai faktor skala tersebut berkaitan dengan upaya mempertahankan karakteristik gerak tanah yang representatif dengan kejadian gempa aktual.



Gambar 16 - Contoh hasil penskalaan amplitudo (kiri) dan contoh spektrum dari satu pasangan gerak tanah individu dengan dekomposisi spektrum komponen horizontal pada dua arah (kanan) (ASCE 7-16 commentary)



Gambar 17- Contoh hasil penskalaan amplitudo (kiri) dan pencocokan spektral (kanan) (ASCE 7-16 commentary)

8.3 Pencocokan spektral

Dalam prosedur ini, setiap pasang gerak tanah harus dimodifikasi agar rata-rata dari respons spektra arah maksimum tidak kurang dari 110% target respons spektrum pada rentang periode yang berlaku. Untuk memenuhi persyaratan, dapat digunakan dua jenis metode, yaitu metode Pencocokan Spektral Ketat (*Tight Spectral Matching*) dan metode Pencocokan Spektral Rata-rata (*Mean Spectrum Matching*). Dalam metode Pencocokan Spektral Ketat, nilai ordinat spektral setiap respons spektrum individu dicocokkan terhadap 110% dari nilai target respons spektrum. Dalam metode Pencocokan Spektral Rata-rata, nilai ordinat spektral rata-rata dicocokkan terhadap 110% dari nilai target respons spektrum. Hasil pencocokan spektral dianggap dapat diterima jika:

1. Spektrum hasil pencocokan bentuknya mirip dengan spektrum target,
2. Karakteristik nonstasioner dari gerakan tanah asli (*seed motion*) harus tetap dipertahankan, agar tidak terjadi perbedaan fase antara gerakan riwayat waktu tanah asli dengan riwayat waktu termodifikasi,
3. Intensitas Arias dari riwayat waktu gerakan tanah asli dan gerakan termodifikasi harus mirip.

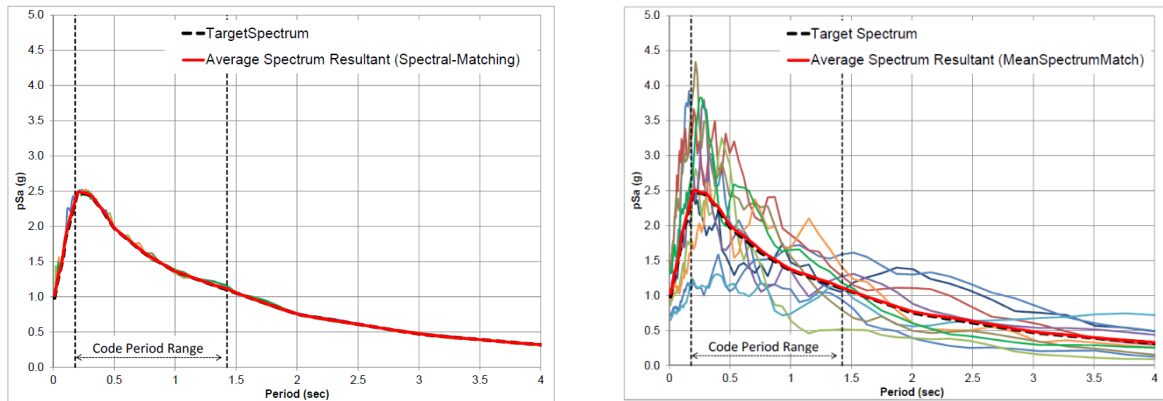
CATATAN Prosedur alternatif pencocokan spektral sudah dibakukan pada edisi ASCE 7-16. Persyaratan yang lebih berat diterapkan untuk prosedur ini dibandingkan prosedur penskalaan amplitudo karena prosedur pencocokan spektral, berpotensi menghilangkan variasi dalam spektra gerak tanah dan menurunkan nilai rata-rata respons spektra. Beberapa teknik untuk melakukan modifikasi gerak tanah berbasis pencocokan spektral tersedia pada laporan NIST GCR 11-917-15 (NIST 2011). Metode pencocokan spektral dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu Pencocokan Spektral Ketat dan Pencocokan Spektral Rata-rata.

Gambar 17 menunjukkan gambaran perbandingan antara metode penskalaan amplitudo dan metode pencocokan spektral ketat, dimana terlihat variasi spektra gerak tanah tetap dipertahankan jika modifikasi dilakukan dengan metode penskalaan amplitudo. Sebaliknya, variasi tersebut hampir tidak terlihat jika modifikasi dilakukan dengan metode pencocokan spektral ketat.

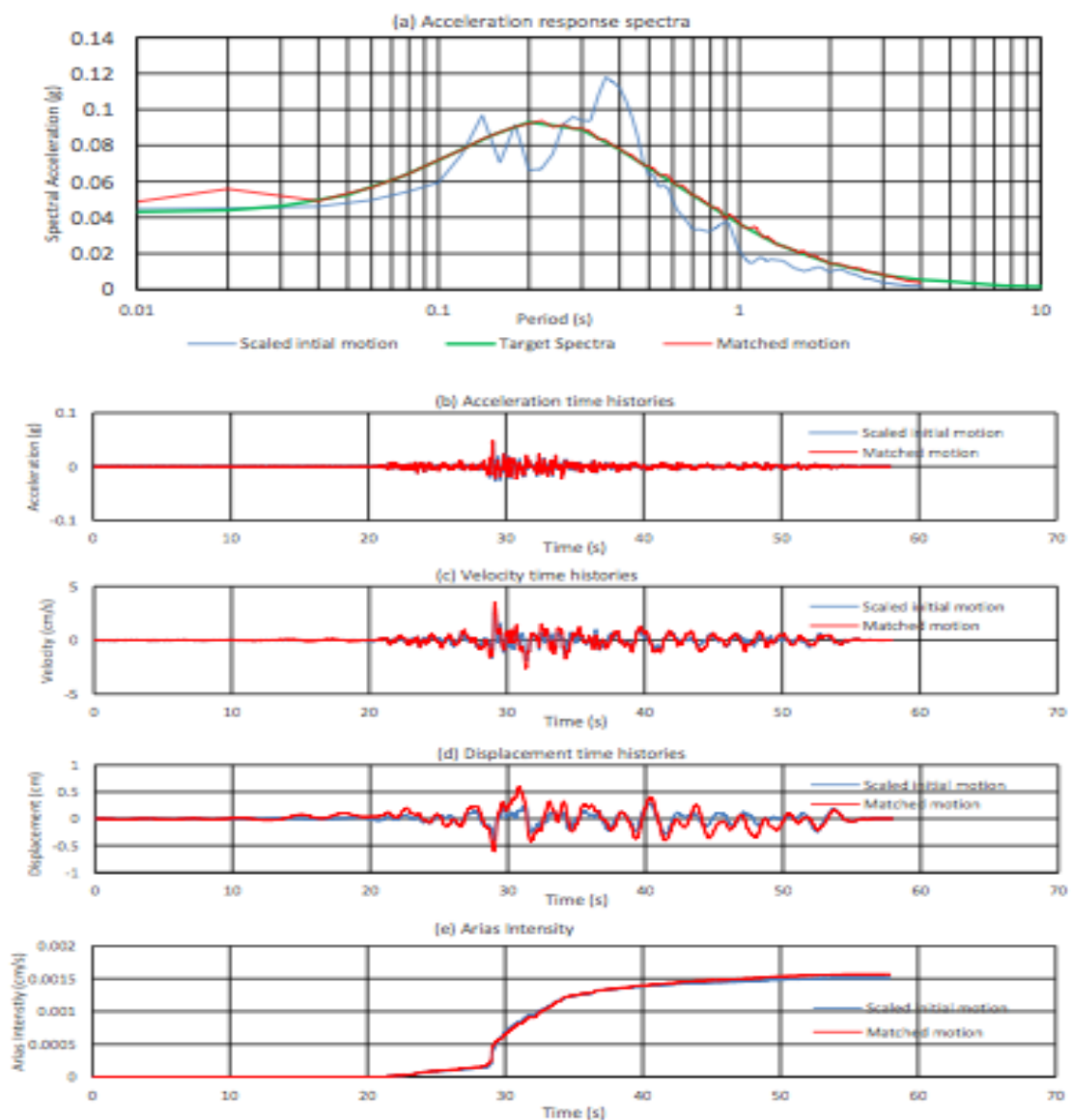
Gambar 18 menunjukkan gambaran perbandingan antara dua jenis metode pencocokan spektral yang menunjukkan beberapa keunggulan metode Pencocokan Spektral rata-rata dibandingkan metode pencocokan spektral ketat, yaitu:

1. Metode Pencocokan Spektral Rata-rata dapat mempertahankan variabilitas antar-rekaman dengan sangat baik,
2. Metode Pencocokan Spektral Rata-rata meminimalisir taraf modifikasi yang diterapkan pada gerak tanah asal sehingga dapat mempertahankan karakteristik dinamik dari rekaman gerak tanah asli.

Secara definisi, pencocokan spektral adalah proses di mana gerakan tanah asli dimodifikasi sampai respons akselerasi spektral yang dihasilkan sesuai dengan suatu spektrum respons yang ditargetkan. Tujuan dari pencocokan spektral adalah untuk mengurangi tinggi dan rendahnya puncak spektral dari gerakan tanah asli, sementara tetap menjaga karakteristik nonstasioner dari riwayat waktu gerakan tanah asli (Atik dan Abrahamson, 2010). Beberapa iterasi biasanya diperlukan untuk mendapatkan konvergensi yang bisa diterima antara spektra respons percepatan dari riwayat waktu gempa dengan spektra respons desain. Jika terjadi *offset* permanen pada riwayat waktu perpindahan (*displacement time history*), koreksi dasar (*baseline correction*) diperlukan. Kebutuhan menerapkan koreksi dasar bergantung pada persamaan gelombang yang digunakan dalam *algoritme* pencocokan spektral. Contoh dari pencocokan spektral yang dapat diterima ditunjukkan pada Gambar 19.



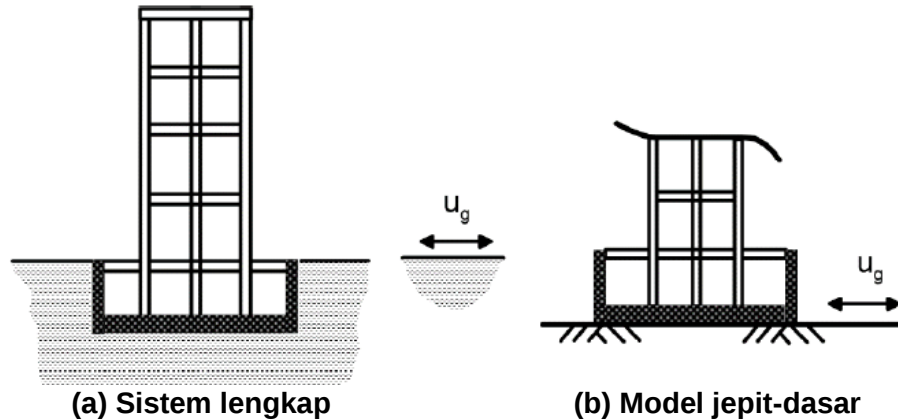
Gambar 18 - Contoh perbandingan hasil metode Pencocokan Spektral Ketat (kiri) dan metode Pencocokan Spektral Rata-rata (kanan) (Mazzoni dkk, 2012)



Gambar 19 - Contoh hasil pencocokan spektral yang benar

9 Aplikasi gerak tanah pada model analisis struktur

Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 11.2.4 dan ASCE 7-16 Pasal 16.2.4, gerak tanah harus diaplikasikan pada tumpuan struktural dari model analisis. Mengacu pada dokumen TBI, struktur besmen harus dimodelkan secara keseluruhan jika ada dan input gerak tanah harus diaplikasikan pada level fondasi atau level dasar struktur besmen (Gambar 20).



Gambar 20 - Ilustrasi aplikasi gerak tanah pada model analisis dengan struktur besmen (PEER TBI, 2017)

Untuk situs dekat patahan, setiap pasang komponen gerak tanah horizontal harus diorientasikan sesuai dengan orientasi patahan (baik tegak lurus maupun paralel) relatif terhadap orientasi sumbu bangunan pada situs.

Untuk situs lain, setiap pasang komponen horizontal gerak tanah harus diaplikasikan pada struktur bangunan dengan orientasi ortogonal, dimana rata-rata spektrum komponen horizontal arah X dan Y (11 komponen akselerogram untuk masing-masing arah), dipastikan berada dalam 10% dari rata-rata spektrum seluruh komponen akselerogram (22 komponen).

CATATAN Untuk situs yang tidak dekat patahan, kriteria terkait orientasi gerak tanah terhadap orientasi sumbu bangunan bertujuan untuk memastikan agar rata-rata spektra di setiap arah horizontal tidak berbeda jauh satu sama lain, sehingga tidak terjadi bias yang tidak diinginkan, di mana salah satu sumbu bangunan dapat mengalami respons yang lebih besar dibandingkan sumbu tegak lurusnya.

Lampiran A (informatif) TARGET SPEKTRUM METODE 1 (URS – CODE) DENGAN METODE PENSkalaan AMPLITUDO

Berikut ditampilkan hasil pemilihan dan modifikasi gerak tahanan untuk contoh studi kasus gedung tinggi berlokasi di wilayah Jakarta dengan kelas situs SE dan nilai periode fundamental, $T_{1A} = 5,5$ detik dan $T_{1B} = 6,5$ detik untuk masing-masing arah horizontal utama.

Langkah 1: Menentukan target respons spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2019, untuk wilayah Jakarta dengan kelas situs SE, target spektrum yang digunakan harus mengacu pada spektrum respons risiko seragam MCE_R berdasarkan nilai respons spektral percepatan dan koefisien-koefisien kelas situs yang berlaku dalam peraturan tersebut Pasal 6.2 sampai Pasal 6.4, dengan rincian sebagai berikut:

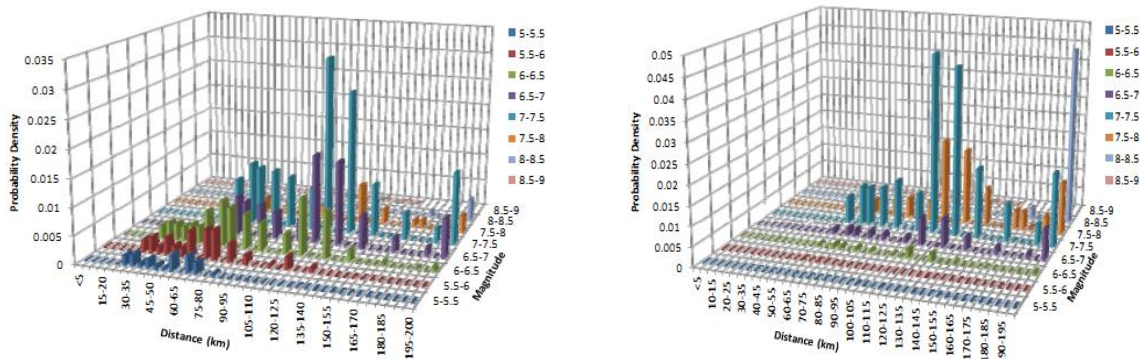
$$S_S = 0,788; \quad F_a = 1,27; \quad S_{MS} = 1,0; \quad S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 0,667$$

$$S_1 = 0,381; \quad F_v = 2,48; \quad S_{M1} = 0,943; \quad S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 0,629$$

Respons spektrum desain (DBE) dibuat menggunakan nilai-nilai respons spektral percepatan S_{DS} dan S_{D1} di atas. Untuk mendapatkan target respons spektrum MCE_R , respons spektrum desain (DBE) tersebut dikalikan 1,5 sesuai Pasal 6.8. Target respons spektrum MCE_R diplotkan sebagai kurva merah dalam Gambar A.2.

Langkah 2: Pemilihan rekaman gempa

Berdasarkan hasil analisis deagregasi untuk wilayah Jakarta (2.475 tahun) untuk periode 0,2 dan 4,0 detik, didapatkan diagram pada Gambar A.1 yang dijadikan basis melakukan seleksi rekaman-rekaman gempa yang dinilai mewakili kondisi kegempaan. Daftar rekaman gempa yang dipilih disajikan dalam Tabel A.1.



Gambar A.1 -Hasil analisis deagregasi untuk wilayah Jakarta (2.475 tahun) untuk periode 0,2 (kiri) dan 4,0 detik (kanan) (Hendriyawan & Azis, 2010)

Langkah 3: Modifikasi gerak tanah

Dalam contoh kasus ini, setiap pasang rekaman gempa diskalakan untuk mencapai kecocokan dengan target respons spektrum risiko seragam MCE_R menggunakan metode penskalaan amplitudo memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3.2. Untuk perbandingan, digunakan 2 rentang periode yang berbeda dalam melakukan penskalaan, yaitu $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$ (1,1 detik s/d 13 detik) dan $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$ (1,1 detik s/d 9,75 detik), yang diijinkan dalam SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3.1 dengan validasi analisis dinamik. Tabel 1 menampilkan nilai faktor skala yang diterapkan pada masing-masing pasangan gerakan tanah. Faktor skala yang diterapkan diupayakan untuk mengikuti rekomendasi Zareian & Zhong (2010), yaitu tidak melebihi 5. Namun, karena keterbatasan

tersedianya rekaman gerak tanah *strong motion* dengan mekanisme gempa yang diinginkan, beberapa pasang rekaman gerak tanah menggunakan faktor skala lebih dari 5.

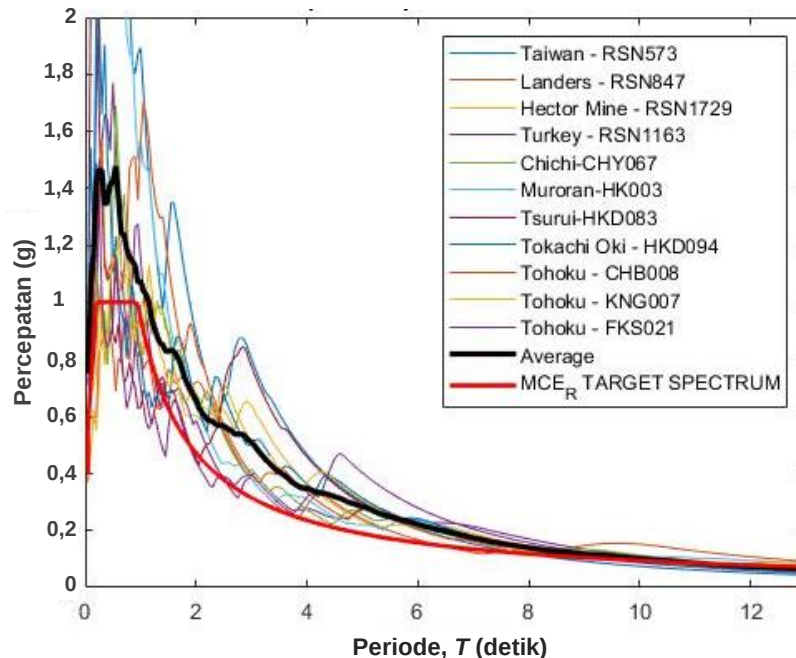
Tabel A. 1 -Gerak tanah yang diseleksi dan diskalakan untuk mendapatkan respons spektrum rata-rata cocok dengan target respons spektrum

Kejadian	Tahun	Stasiun	Magnitudo	Mekanisme	R_{rup} (km)	Durasi (detik)	Faktor Skala	
							$(0,2T_{1B} - 2T_{1A})$	$(0,2T_{1B} - 1,5T_{1A})$
Taiwan	1986	SMART1 101	7,3	<i>Reverse</i>	56,18	45	4,45	3,21
Landers, USA	1992	Compton – Castlegate St	7,28	<i>Strike slip</i>	161,23	45	4,39	4,20
Hector Mine, USA	1999	Indio – Riverside Co Fair Grnds	7,13	<i>Strike slip</i>	74	100	4,27	3,36
Kocaeli, Turkey	1999	Hava Alani	7,51	<i>Strike slip</i>	60,05	150	4,99	4,23
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY067	7,62	<i>Reverse Oblique</i>	83,56	200	7,09	6,06
Muroran, Japan	1968	HK003	8,2	<i>Interface Subduction</i>	290	90	5,54	4,77
Tokachi-Oki, Japan	2003	HKD083 – Tsurui	8,3	<i>Interface Subduction</i>	163,4	250	3,00	2,29
Tokachi-Oki, Japan	2003	HKD094-Shihoro	8,3	<i>Interface Subduction</i>	156,5	250	4,70	3,62
Tohoku, Japan	2011	CHB008-Urayas	9	<i>Interface Subduction</i>	369,5	300	3,13	2,53
Tohoku, Japan	2011	KNG007-Fujisawa	9	<i>Interface Subduction</i>	418	300	6,12	4,86
Tohoku, Japan	2011	FKS021-Kitakata	9	<i>Interface Subduction</i>	234	300	5,11	4,15

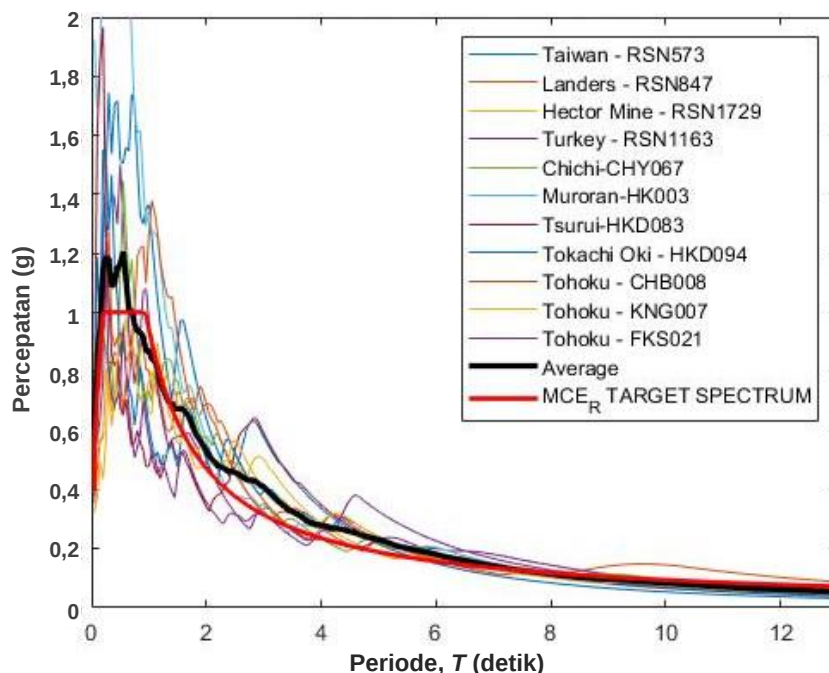
Gambar A.2 sampai dengan Gambar A.4 menunjukkan beberapa hasil plot target respons spektrum, spektrum arah-maksimum pasangan rekaman individu, serta rata-rata dari rangkaian gerak tanah tersebut untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$ (Gambar A.2), $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$ (Gambar A.3) dan kondisi tanpa skala (Gambar A.4). Dalam Gambar A.2, terlihat rata-rata respons spektra secara umum sudah cukup mendekati target respons spektrum. Namun, pada rentang periode kurang dari 6 detik, terlihat nilai rata-rata respons spektra melebihi target spektrum sekitar 30%, yang tentunya akan menghasilkan hasil evaluasi yang sangat konservatif. Rentang periode yang digunakan dalam penskalaan memiliki pengaruh yang besar terhadap hasil modifikasi gerak tanah. Hal ini terlihat jelas dari hasil penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$ (Gambar A.3) yang mencapai kecocokkan terhadap target spektrum dengan lebih baik.

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, target spektrum tunggal jenis UHS, khususnya yang dibuat menggunakan peraturan preskriptif (SNI 1726:2019 Pasal 6.4) dapat memberikan hasil evaluasi yang terlalu konservatif karena spektrum UHS dibuat dengan mengambil *envelope* dari hasil analisis bahaya gempa (PSHA dan DSHA) di setiap periode. Hasil yang lebih akurat dapat dicapai dengan penggunaan target spektrum URS berdasarkan analisis respons spesifik-situs (SNI 1726:2019 Pasal 6.10). Gambar A.5 menunjukkan perbandingan spektrum spesifik situs dengan spektrum berdasarkan peraturan, dimana spektrum spesifik situs tidak menunjukkan konservatisme berlebih dan lebih sesuai untuk digunakan sebagai target spektrum. Jika diinginkan hasil yang lebih akurat, spektra CMS (sebanyak dua atau lebih) dapat digunakan sebagai target spektrum. Tentunya penggunaan spektra CMS akan meningkatkan waktu analisis dan upaya yang dibutuhkan untuk memproses data pascaanalisis secara signifikan.

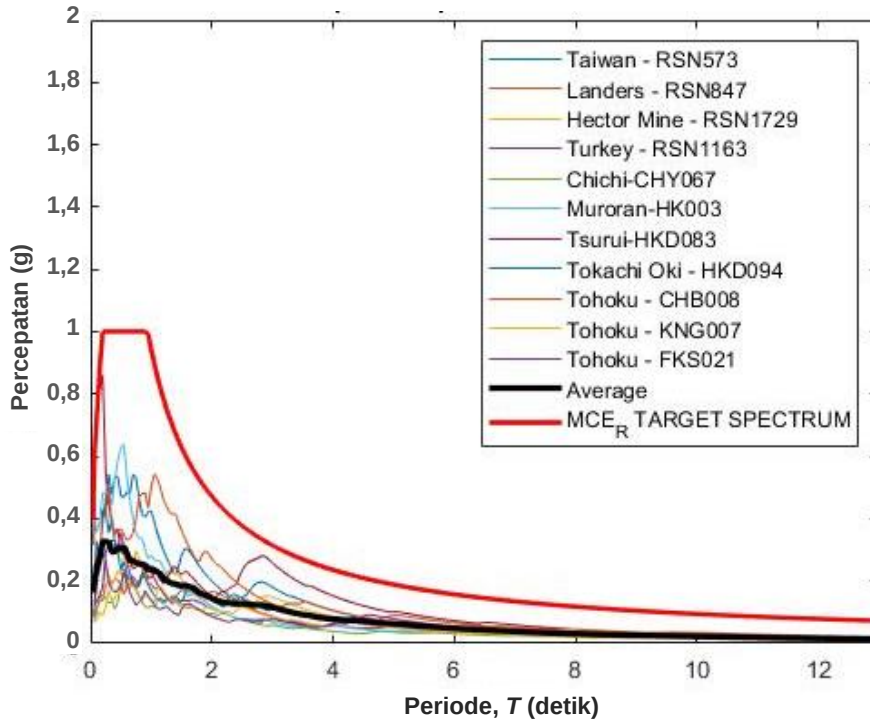
Nilai rasio spektrum rata-rata terhadap spektrum target di setiap periode ditunjukkan dalam Gambar A.6, yang menunjukkan bahwa proses modifikasi gerak tanah sudah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3.2, dimana nilai rata-rata respons spektrum selalu lebih besar dari 90% target respons spektrum pada rentang periode yang berlaku. Hasil dari penskalaan setiap pasang gerak tanah juga ditampilkan pada Gambar A.8 dan Gambar A.10 untuk masing-masing komponen horizontal, yaitu arah Utara-Selatan (U-S) dan Timur-Barat (T-B).



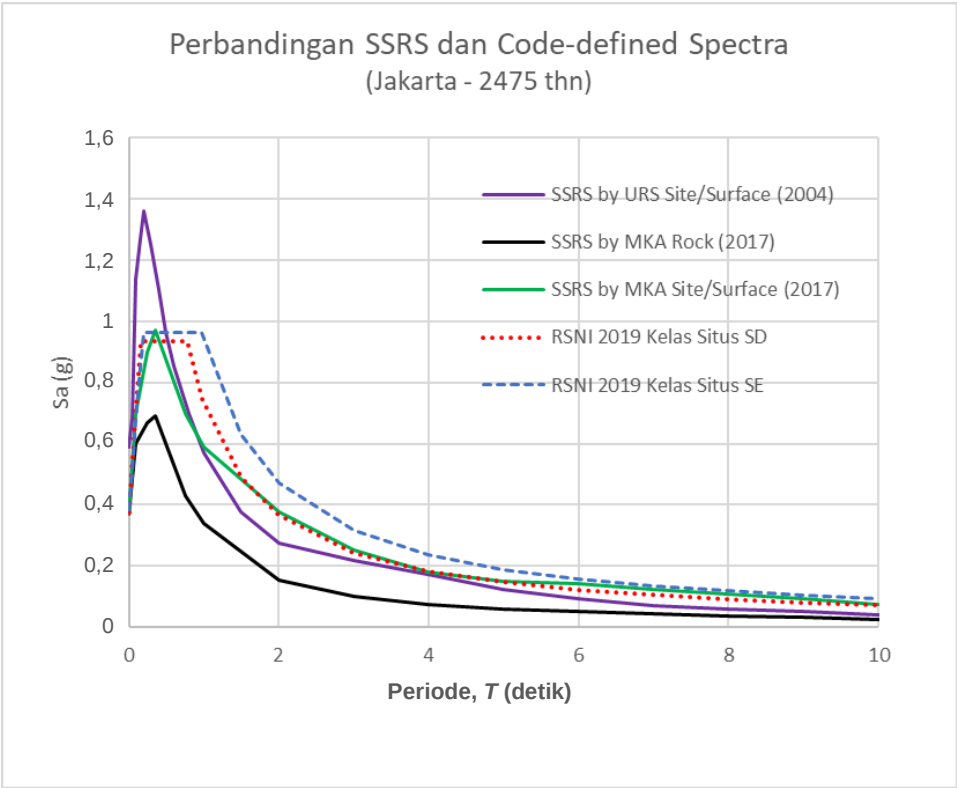
Gambar A.2 -Hasil penskalaan spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$



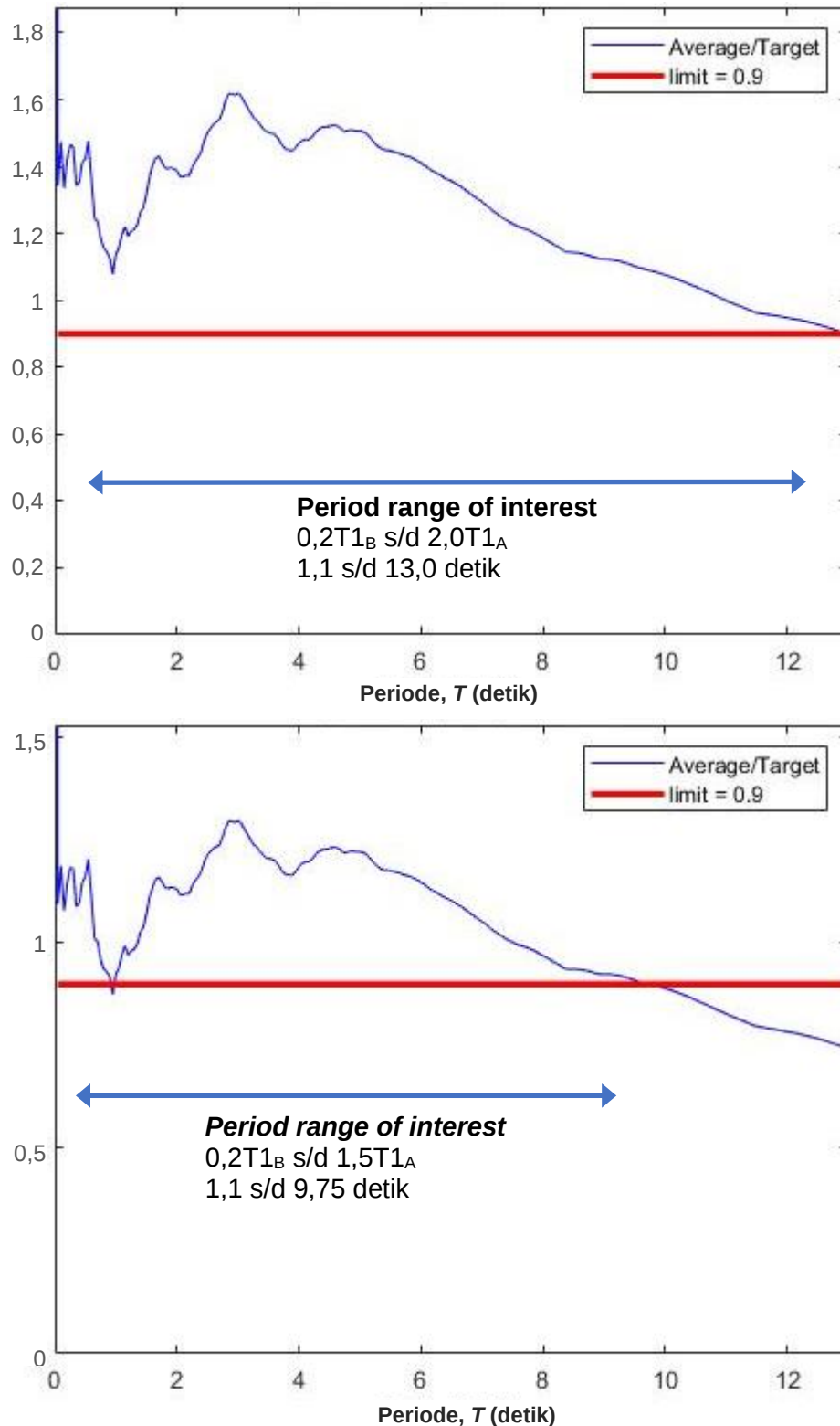
Gambar A.3 -Hasil penskalaan spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$



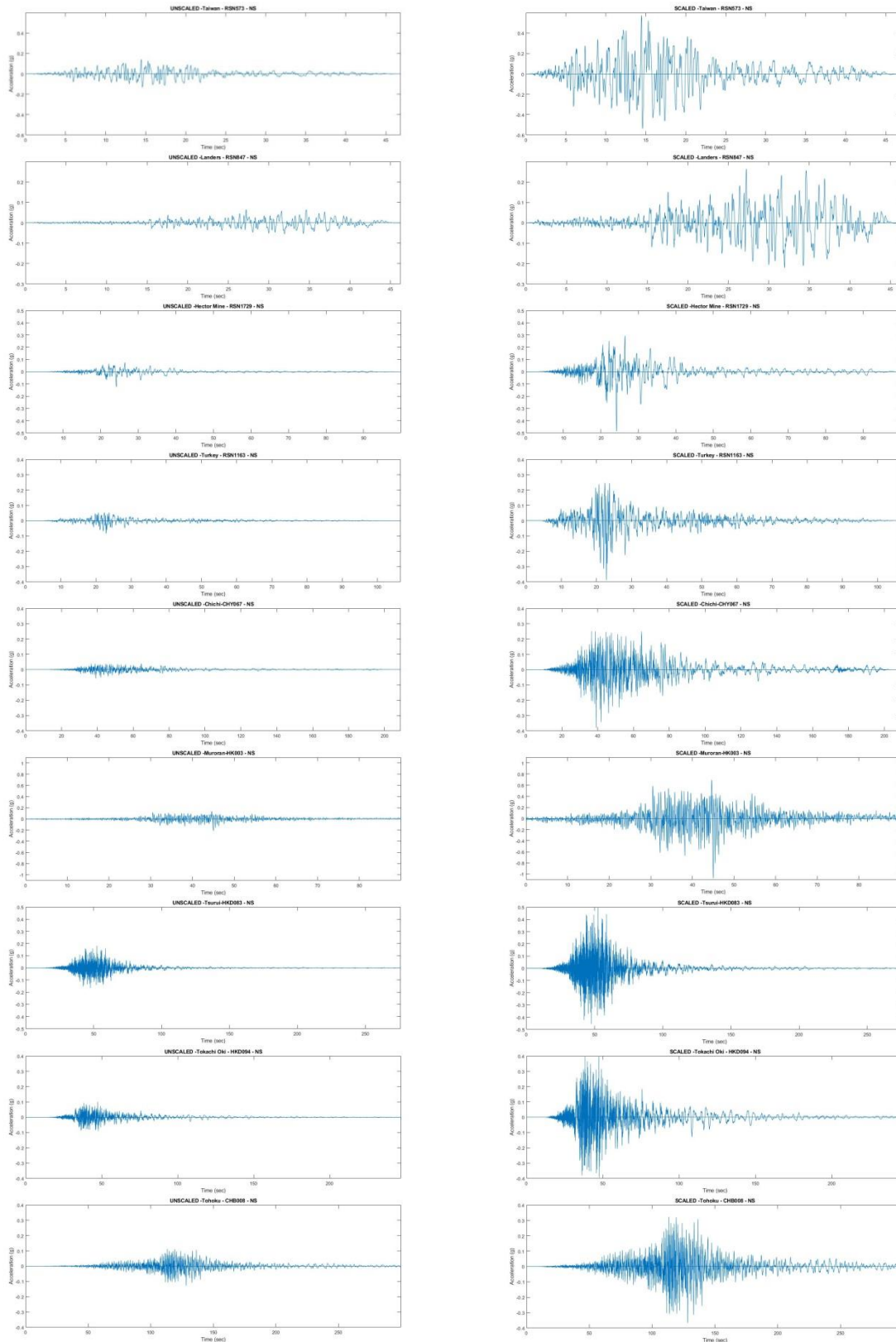
Gambar A.4 -Spektrum arah-maksimum pasangan gerak tanah individu (tanpa skala) dengan nilai rata-ratanya dibandingkan terhadap target spektrum



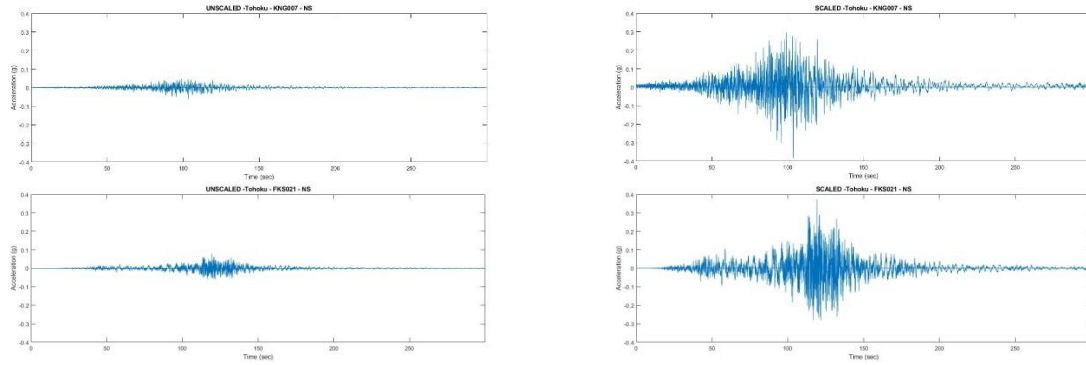
Gambar A.5 -Perbandingan spektrum hasil analisis spesifik situs dengan spektrum yang didefinisikan dalam peraturan SNI untuk perioda ulang 2.475 tahun di Jakarta



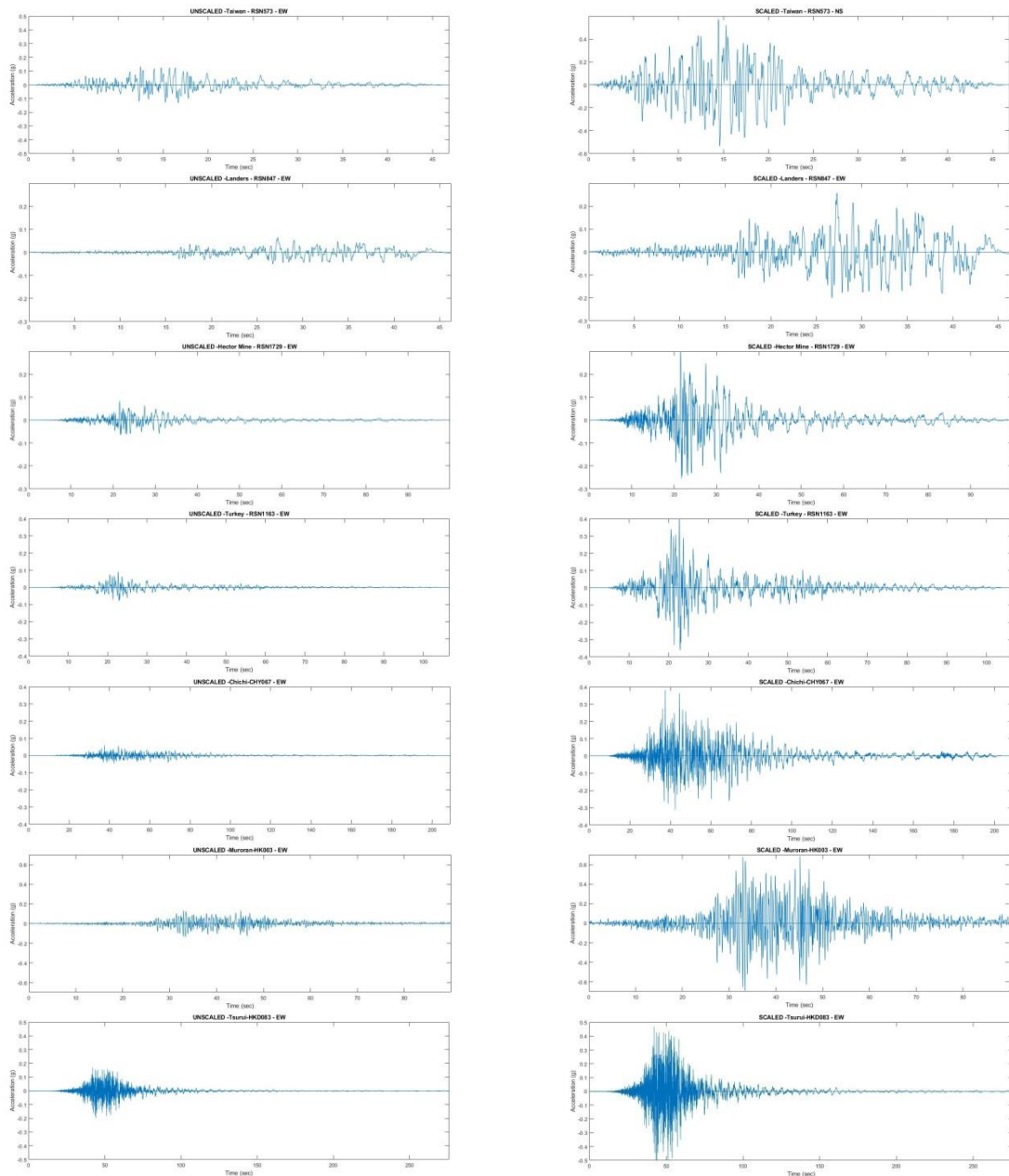
Gambar A.6 -Rasio rata-rata respons spektrum terhadap target respons spektrum untuk penskalaan dengan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $2,0T_{1A}$ [atas] dan rentang periode $0,2T_{1B}$ s/d $1,5T_{1A}$ [bawah]



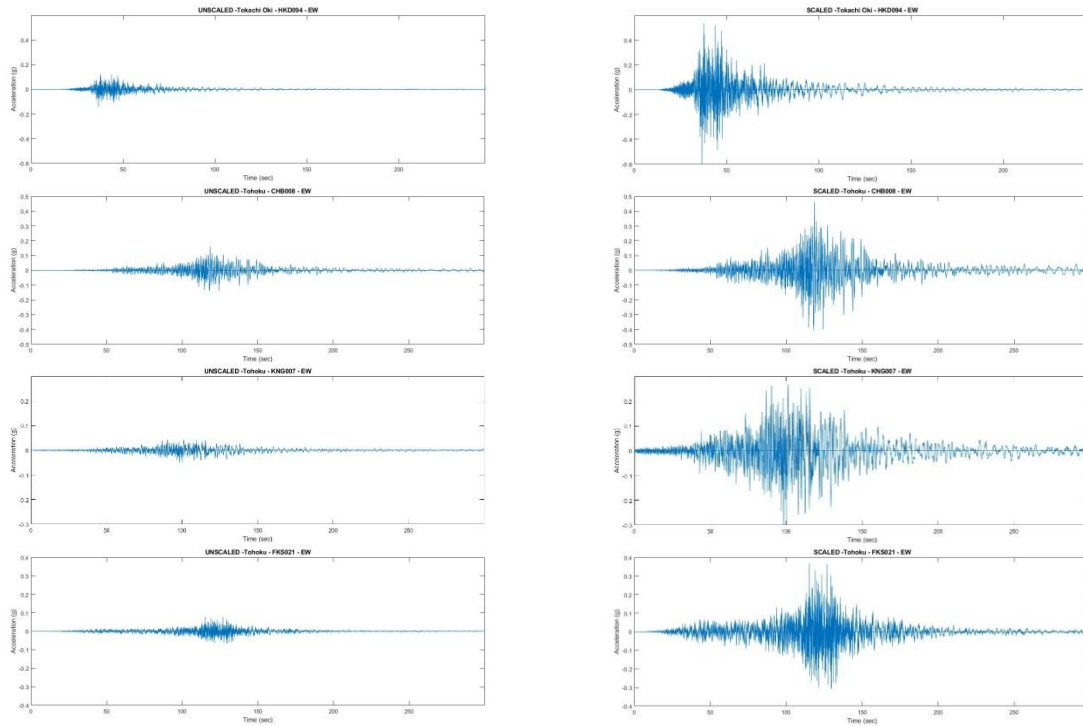
Gambar A.7-Akselerogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Utara-Selatan (U-S) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)



Gambar A.8 (lanjutan)-Akselerogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Utara-Selatan (U-S) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)



Gambar A.9 -Akselerogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Timur-Barat (T-B) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)



Gambar A.10(lanjutan) -Akselerogram gerak tanah untuk komponen horizontal arah Timur-Barat (T-B) tanpa skala (kiri) dan terskala (kanan)

Lampiran B
(informatif)
TARGET SPEKTRUM METODE 1 (URS – CODE) DENGAN METODE
PENCOCOKAN SPEKTRAL RATA-RATA

Berikut ditampilkan hasil pemilihan dan modifikasi gerak tanah untuk contoh studi kasus dengan kriteria desain yang sama dengan studi kasus pada lampiran A, namun prosedur dilakukan menggunakan metode Pencocokan Spektral Rata-rata.

Langkah 1: Menentukan target respons spektrum

Proses sama dengan studi kasus pada lampiran A.

Langkah 2: Pemilihan rekaman gempa

Berdasarkan hasil analisis deagregasi untuk wilayah Jakarta (2.475 tahun). Daftar rekaman gempa yang dipilih (11 pasang gerak tanah) disajikan dalam Tabel B.1.

Tabel B. 1 -Gerak tanah yang diseleksi dan dimodifikasi untuk mendapatkan respons spektrum rata-rata cocok dengan target respons spektrum

Kejadian	Tahun	Stasiun	Magnitudo	Mekanisme	R _{rup} (km)	Durasi (detik)
Taiwan	1986	SMART1 101	7,3	Reverse	56,18	45
Landers, USA	1992	Compton – Castlegate St	7,28	Strike slip	161,23	45
Hector Mine, USA	1999	Indio – Riverside Co Fair Grnds	7,13	Strike slip	74	100
Kocaeli, Turkey	1999	Hava Alani	7,51	Strike slip	60,05	150
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY067	7,62	Reverse Oblique	83,56	200
Muroran, Japan	1968	HK003	8,2	Interface Subduction	290	90
Tokachi-Oki, Japan	2003	HKD083 – Tsurui	8,3	Interface Subduction	163,4	250
Tokachi-Oki, Japan	2003	HKD094-Shihoro	8,3	Interface Subduction	156,5	250
Chile	2010	Municip. San Jose de Maipo	8,8	Interface Subduction	332,8	190
Tohoku, Japan	2011	KNG007-Fujisawa	9	Interface Subduction	418	300
Tohoku, Japan	2011	FKS021-Kitakata	9	Interface Subduction	234	300

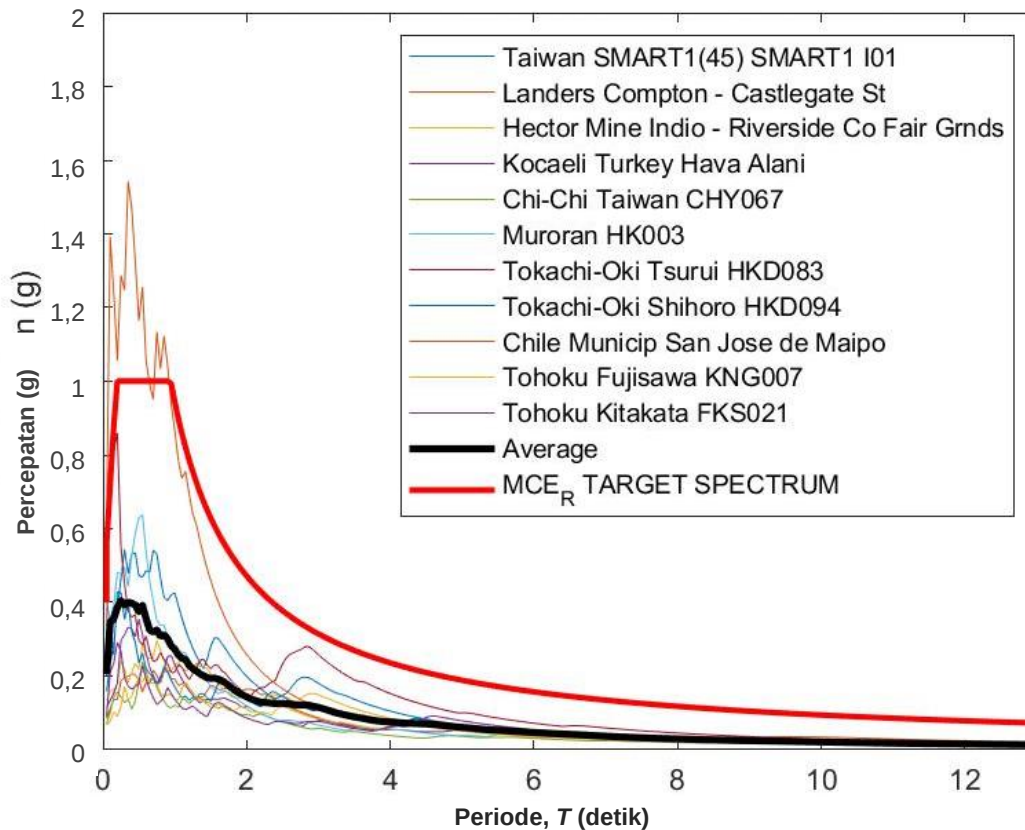
Langkah 3: Modifikasi gerak tanah

Prosedur Pencocokan Spektral Rata-rata terdiri dari beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar B.1 s/d Gambar B.3. Tahap pertama adalah menentukan nilai spektrum rata-rata dari rangkaian gerak tanah asli (Gambar B.1), kemudian dilanjutkan dengan menerapkan penskalaan amplitudo sehingga spektrum rata-rata dari rangkaian gerak tanah berada dekat dengan target spektrum (Gambar B.2). Tahap final prosedur terdiri dari proses modifikasi setiap gerak tanah menggunakan pencocokan spektral sehingga spektrum rata-rata cocok dengan target spektrum (Gambar B.3). Teknik pencocokan spektral yang digunakan merupakan jenis domain waktu (*time-domain*) menggunakan algoritma RSPMatch09 yang dikembangkan oleh Abrahamson, di mana modifikasi gerak tanah dilakukan dengan menambahkan gelombang (*wavelet*) secara iteratif dan bertahap dimulai dari frekuensi tinggi sampai mencakup frekuensi rendah. Fungsi gelombang yang digunakan adalah *improved*

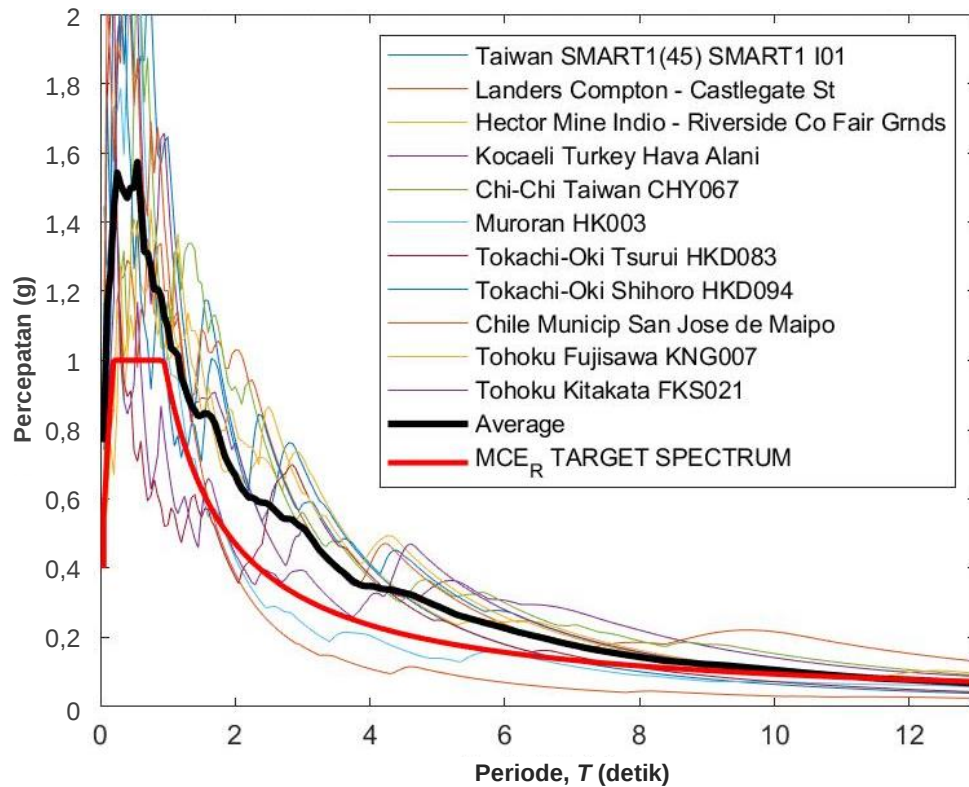
tapered cosine yang dapat menghasilkan nilai integrasi percepatan, kecepatan, dan simpangan menjadi nol sehingga tidak dibutuhkan koreksi garis dasar (*base line correction*) (Atik L. & Abrahamson N., 2010).

Pada Gambar B.3, terlihat bahwa spektrum rata-rata gerak tanah termodifikasi memiliki kecocokan yang sangat baik terhadap 110% target spektrum. Dibandingkan dengan metode penskalaan amplitudo, metode pencocokan spektral rata-rata ini dapat menghasilkan kecocokan spektrum rata-rata terhadap spektrum target dengan lebih baik sementara tetap mempertahankan variabilitas antarrekaman dan juga karakteristik nonstasioner dari gerak tanah. Gambar B.4 menyajikan rasio antara spektrum rata-rata terhadap target spektrum dan menunjukkan bahwa ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 12.2.3.3 sudah terpenuhi.

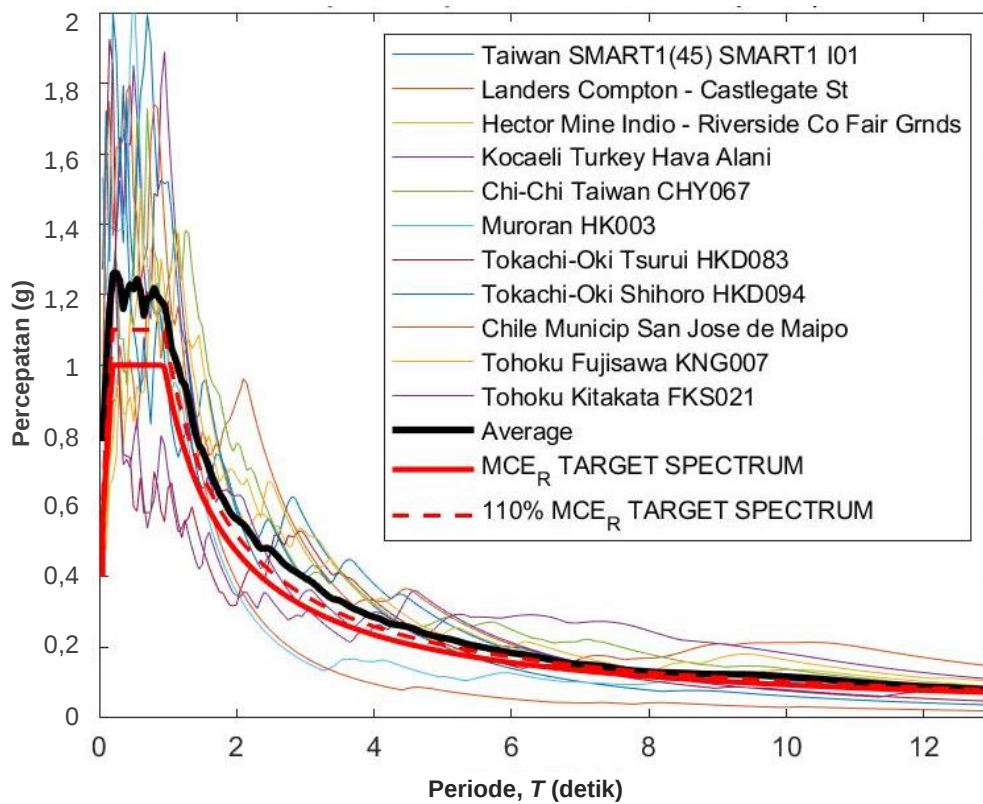
Dalam melakukan modifikasi menggunakan pencocokan spektral, perlu dipastikan bahwa bentuk dan polarisasi dari grafik percepatan, kecepatan, simpangan, dan grafik intensitas Arias sebelum dan sesudah modifikasi, masih relatif serupa satu sama lain. Gambar B.5 menyajikan hasil perbandingan tersebut untuk komponen arah T-B dan arah U-S untuk gerak tanah Chi-Chi. Gambar B.6 menyajikan hasil penerapan pencocokan spektral untuk kedua arah komponen gerak tanah Chi-Chi.



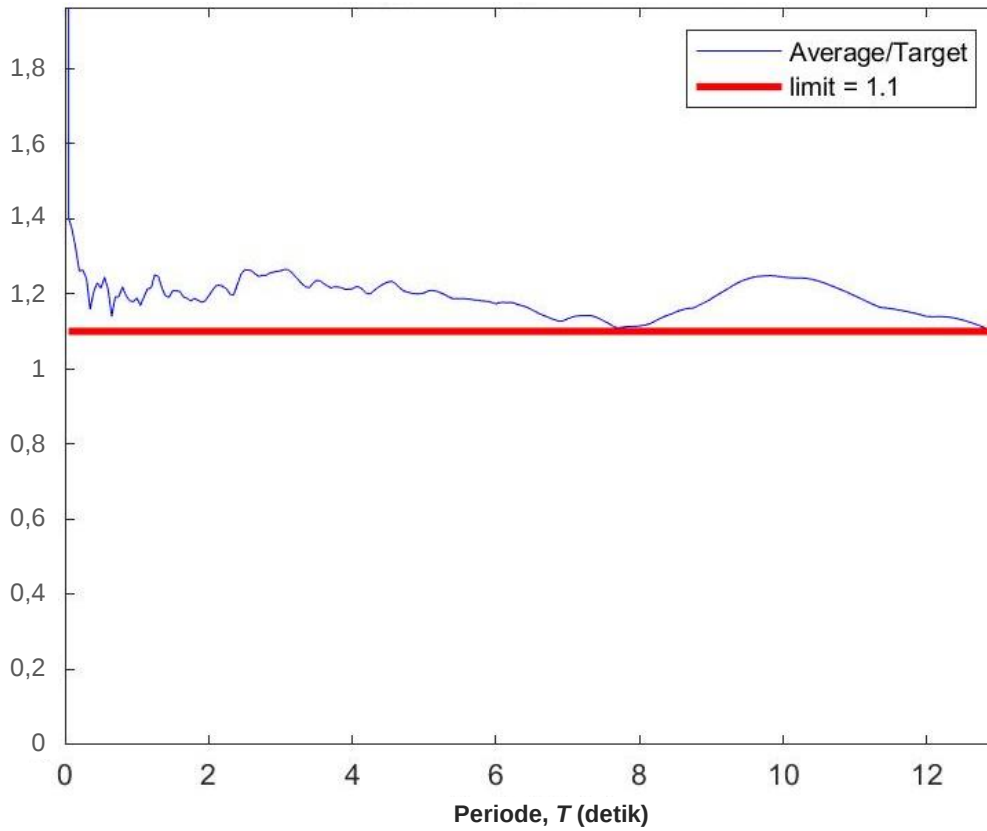
Gambar B.1 -Respons spektrum gerak tanah asli



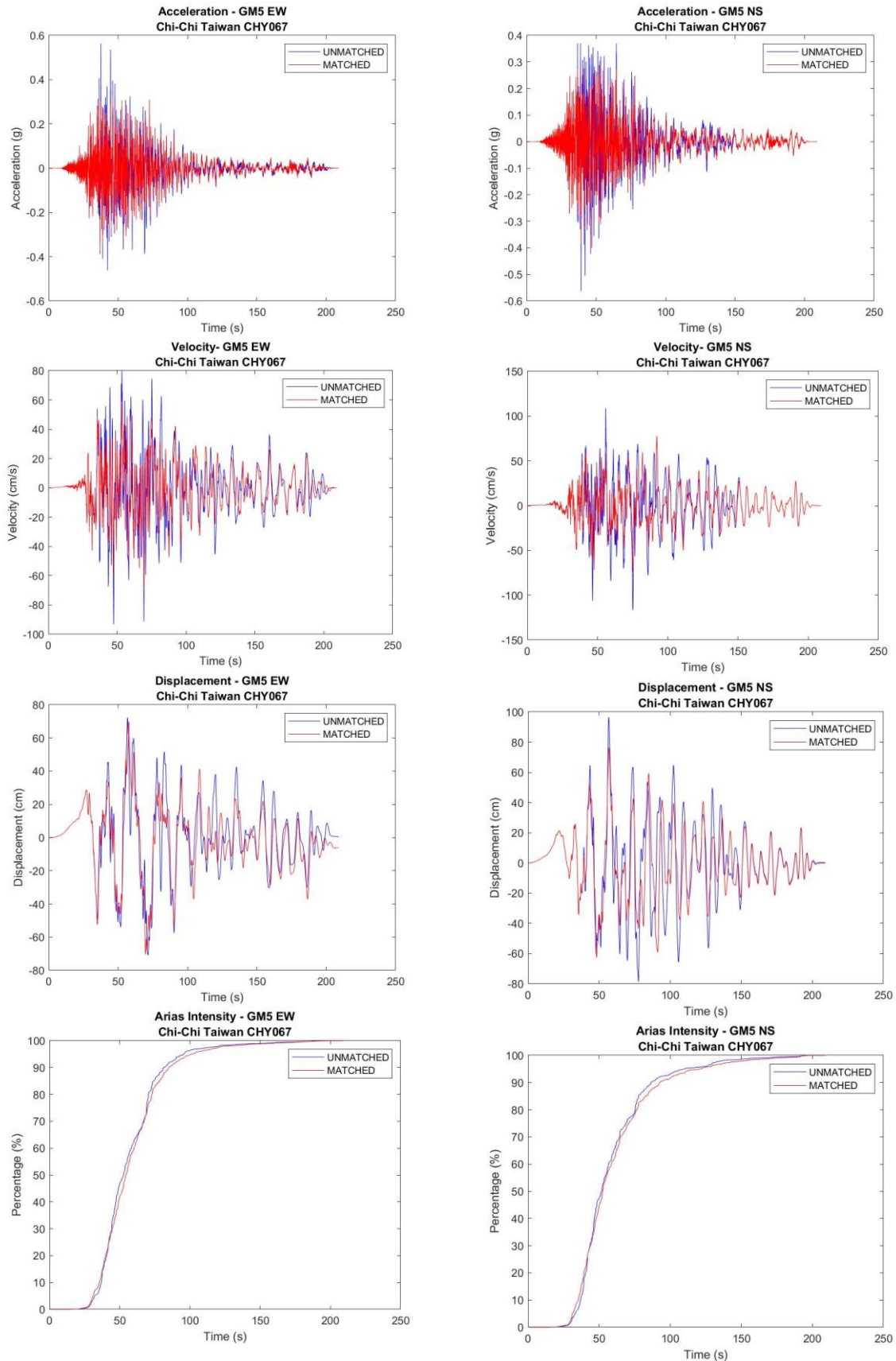
Gambar B.2 -Respons spektrum gerak tanah dengan penskalaan amplitudo



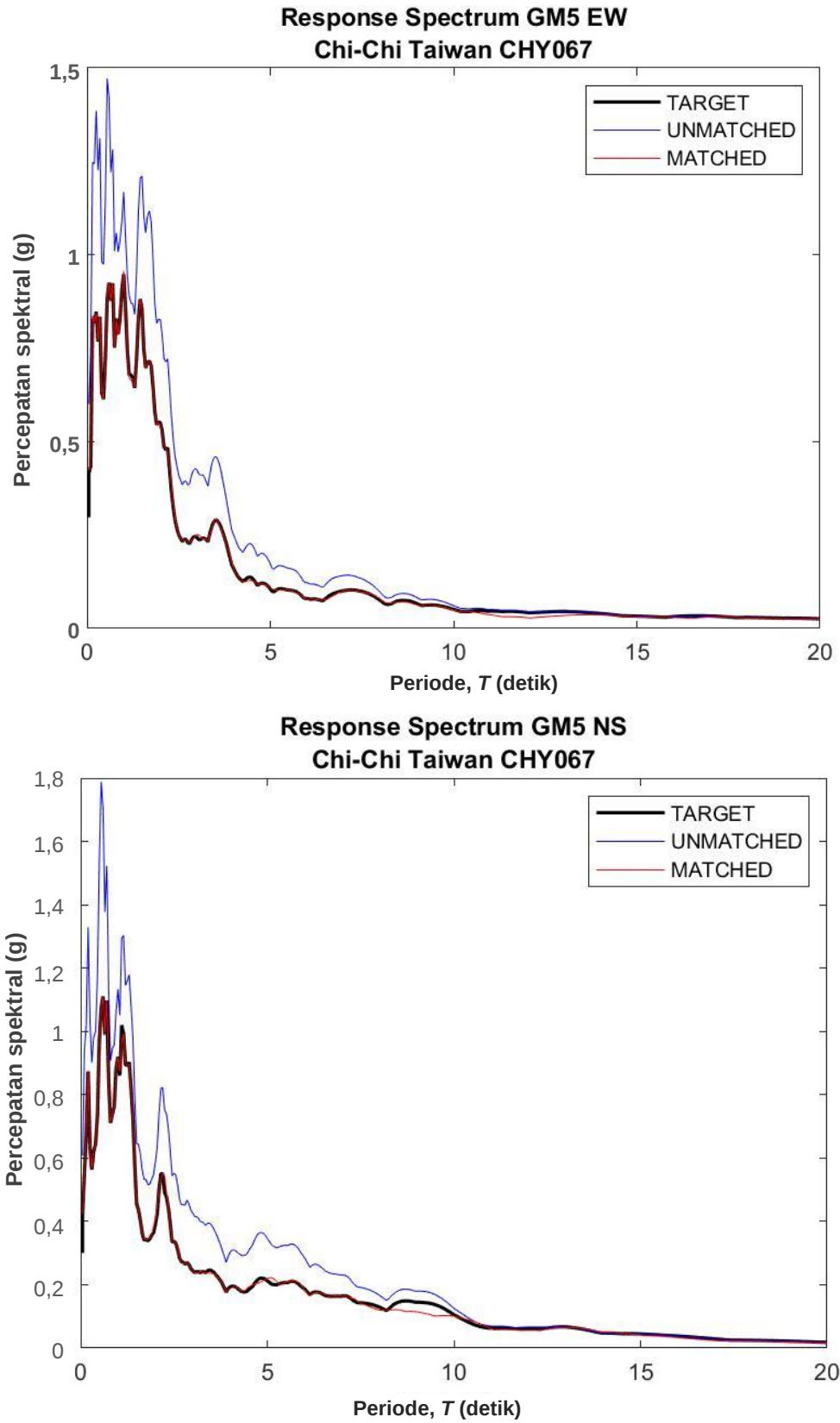
Gambar B.3 -Respons spektrum gerak tanah dengan pencocokan spektral rata-rata



Gambar B.4 -Rasio spektrum rata-rata terhadap target spektrum



Gambar B.5 -Grafik percepatan, kecepatan, dan simpangan gerak tanah dari gempa Chi-Chi (komponen T-B dan U-S) untuk gerak tanah asal (biru) dan gerak tanah termodifikasi (merah)



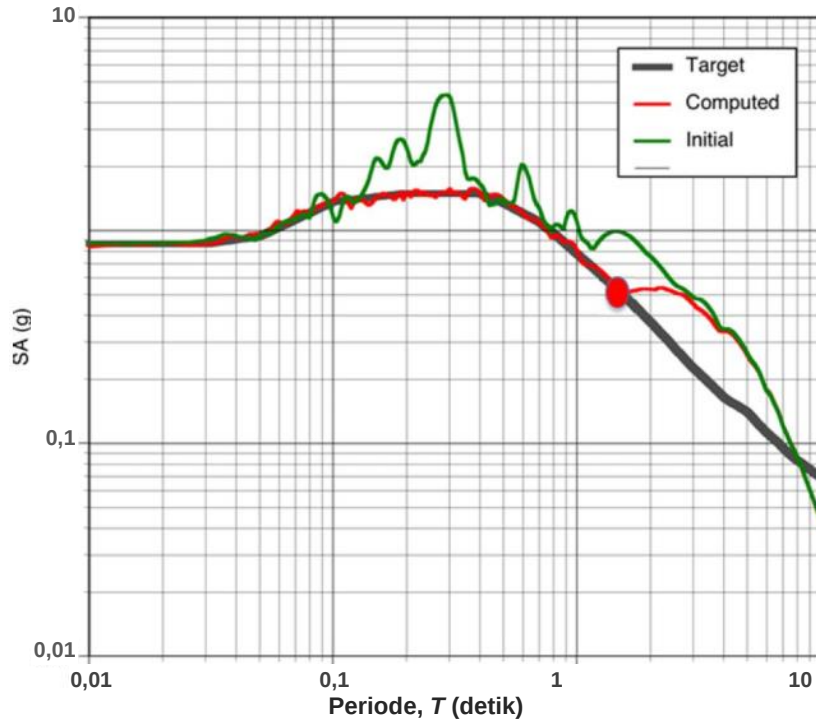
Gambar B.6 -Respons spektrum gempa Chi-Chi untuk komponen T-B (atas) dan komponen U-S (bawah) untuk gerak tanah asal (biru) dan termodifikasi (merah)

Lampiran C
(informatif)
TARGET SPEKTRUM METODE 1 (URS – SPESIFIK SITUS) DENGAN METODE
PENCOCOKAN SPEKTRAL KETAT

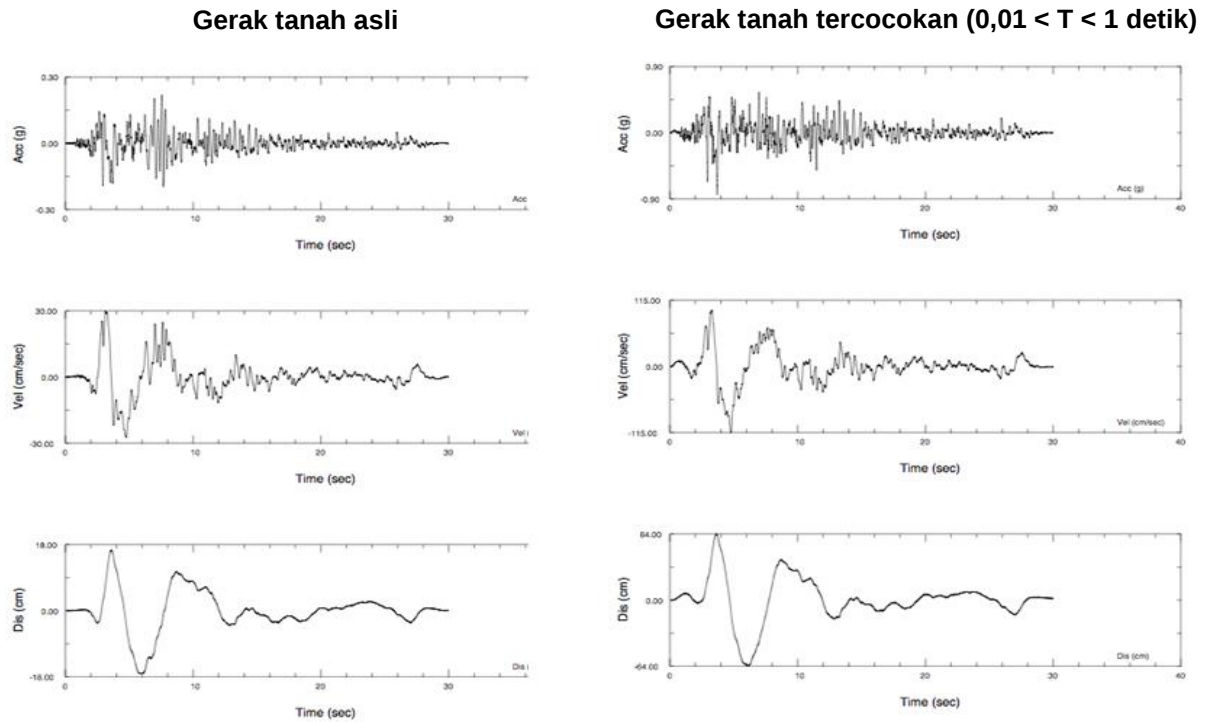
Studi kasus ini dilakukan dengan mengikuti beberapa langkah berikut ini:

1. Melakukan analisis bahaya gempa (*seismic hazard analysis*) guna menentukan respons spektrum desain untuk perioda ulang (*return period*) tertentu. Deagregasi bahaya (*hazard*) juga harus dilakukan guna menentukan skenario gempa (magnitudo dan jarak) pada periode tersebut.
2. Dalam contoh studi kasus ini, respons spektrum yang digunakan merupakan Spektrum Risiko Seragam (*Uniform Risk Spectrum- URS*) di atas permukaan tanah.
3. Langkah pertama untuk membuat riwayat waktu desain (*design time series*) adalah memilih gerakan riwayat waktu tanah asli (*seed motion*) yang bisa diambil dari rekaman gempa aktual masa lampau atau dari simulasi numerik gerakan tanah.
4. Dalam contoh studi kasus ini dilakukan proses pencocokan spektral ketat (*tight spectral matching*) yang merupakan proses memodifikasi konten frekuensi dari setiap gerak tanah asli (*seed motion*) agar cocok dengan respons spektra desain untuk semua periode spektral.
5. Rekaman riwayat waktu (*time series*) dipilih dari mekanisme sumber gempa (subduksi atau crustal), jarak, magnitudo dan situs tanah yang cocok dengan gempa desain. Namun biasanya, tidak ada rekaman gempa aktual yang memenuhi semua persyaratan ini. Alternatifnya adalah memakai simulasi numerik yang memiliki semua fitur yang diinginkan atau melonggarkan beberapa kondisi diatas guna memperoleh rekaman yang cukup memadai sebagai “*seed motion*”. Dalam praktiknya, pemakaian gempa aktual lebih disukai daripada simulasi numerik, asalkan pemilihan gempa pada situs tanah khusus dikeluarkan.
6. Pencocokan spektral memakai pendekatan domain waktu (*time domain*) dengan menambahkan gelombang (*wavelet*) kepada gerak tanah asli (*seed motion*) lewat program komputer RSPMATCH (Abrahmason, 1992). Metoda time domain memiliki sifat konvergensi yang baik dengan tetap mempertahankan karakter nonstasioner dan perbedaan fase (polaritas) dari gerak tanah asli (*seed motion*) terhadap riwayat waktu termodifikasi (*matched motion*). Koreksi garis dasar (*baseline correction*) diperlukan untuk menghapus *offset* permanen pada riwayat waktu perpindahan (*displacement time history*) selama prosedur pencocokan spektral.
7. Proses pencocokan spektral harus dilakukan secara bertahap untuk berbagai periode T , yakni tahap pertama untuk $T < T_1$, tahap kedua untuk $T_1 < T < T_2$ dan tahap ketiga untuk $T > T_2$.
8. Iterasi pertama dilakukan sampai periode $T_1 = 1$ detik. Alasan untuk mencocokkan hanya rentang periode rendah untuk iterasi pertama (0,01 sampai 1 detik) adalah untuk mempertahankan karakteristik nonstasioner dari riwayat waktu (*time series*) tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar C.1, iterasi pertama akan membawa spektrum awal mendekati spektrum target untuk periode $T < 1$ detik. Riwayat waktu percepatan (*acceleration*), kecepatan (*velocity*) dan simpangan (*displacement*) termodifikasi sudah relatif sama dengan gerak tanah asli (*seed motion*) (Gambar C.2), maka iterasi bisa dilanjutkan ketahap dua.
9. Pada iterasi kedua, spektrum baru dicocokkan untuk periode $T_2 = 3$ detik. Perlu diperhatikan bahwa rentang periode untuk pencocokan sekarang diperpanjang ke periode yang lebih lama secara gradual. Spektrum yang dihasilkan dari iterasi kedua ditampilkan pada Gambar C.3. Karakteristik riwayat waktu baru juga masih konsisten dengan gerak tanah asli (*seed motion*) (Gambar C.4) dan iterasi selanjutnya bisa diteruskan.

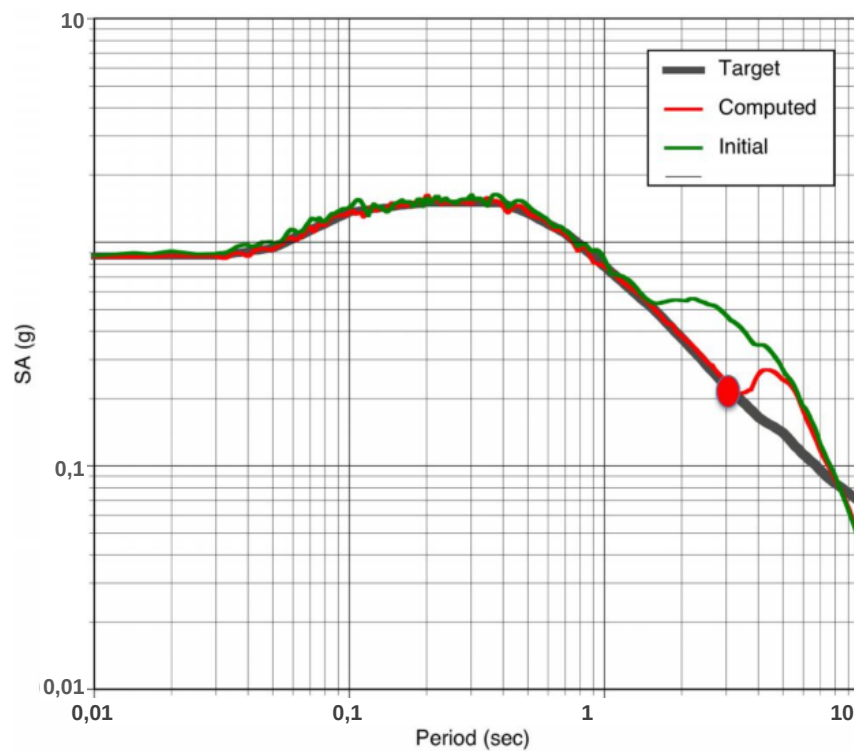
10. Proses iterasi ini berulang sampai spektrum telah dicocokkan dengan periode yang diinginkan ($0,01 < T < 7$ detik). Dalam Gambar C.5, terlihat bahwa pada iterasi terakhir, spektrum baru bisa cocok dengan spektrum target untuk seluruh rentang periode. Dari hasil ini, bisa diperiksa profil percepatan, kecepatan, dan simpangan dari spektrum termodifikasi apakah karakteristik nonstasioner dari gerak tanah asli (*seed motion*) masih tetap bisa dipertahankan, walaupun amplitudo dan waktu mungkin bisa sedikit meleset (Gambar C.6).
11. Sebagai pemeriksaan terakhir, bandingkan intensitas Arias dari riwayat waktu gerakan tanah asli dan gerakan termodifikasi harus mirip (Gambar C.7). Jika sudah mirip, maka boleh dikatakan pencocokan spektral sudah dilakukan secara benar.



Gambar C.1—Spektrum Target versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik)

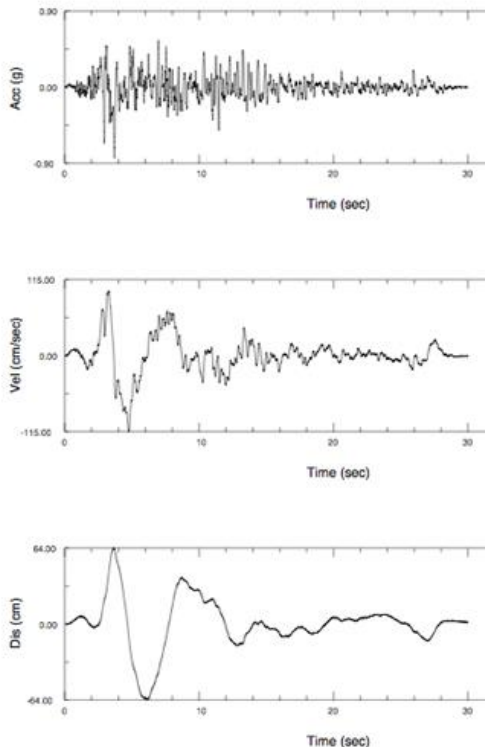


Gambar C.2 - Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik)

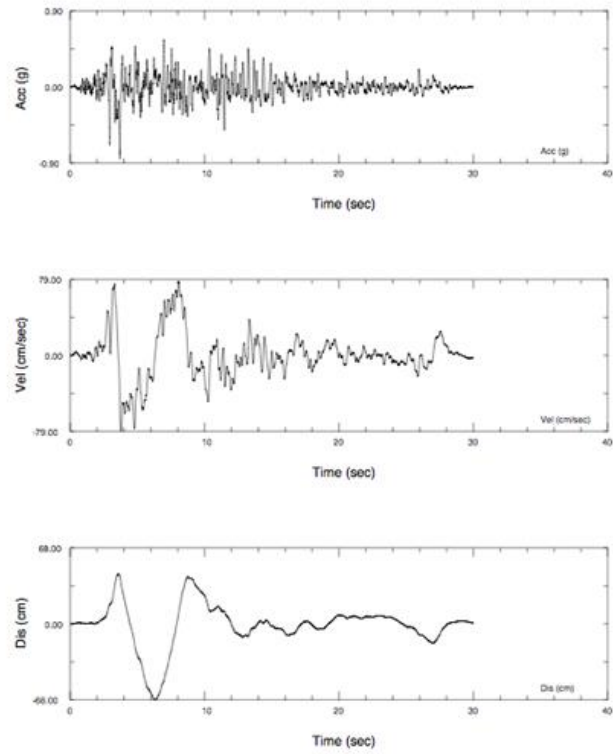


Gambar C.3—Spektrum Target versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 3$ detik)

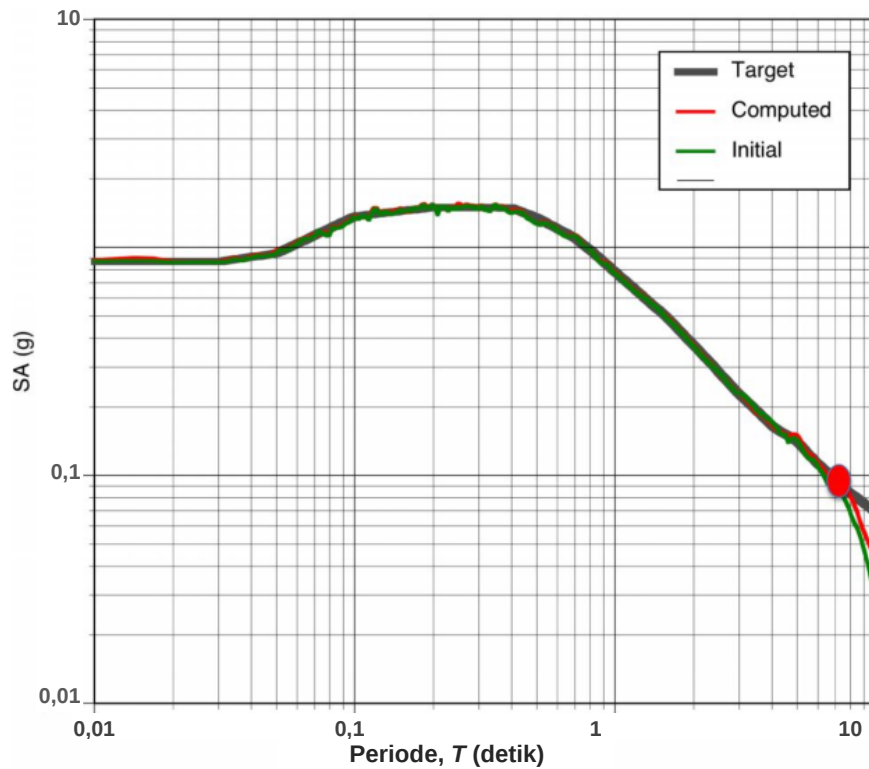
Gerak tanah asli



Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 3$ detik)

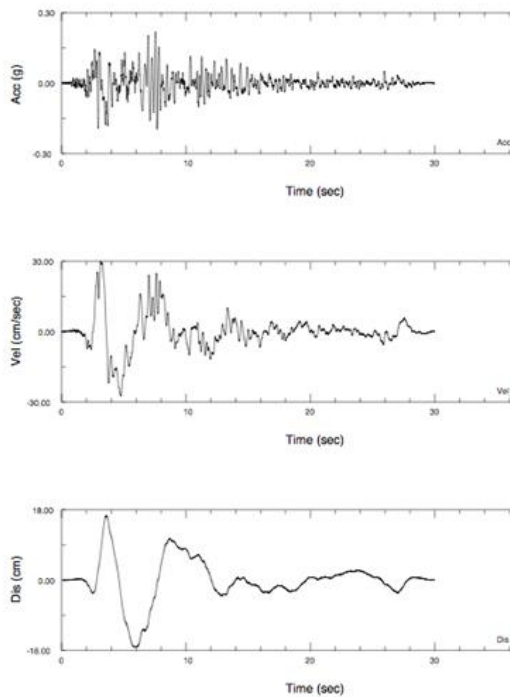
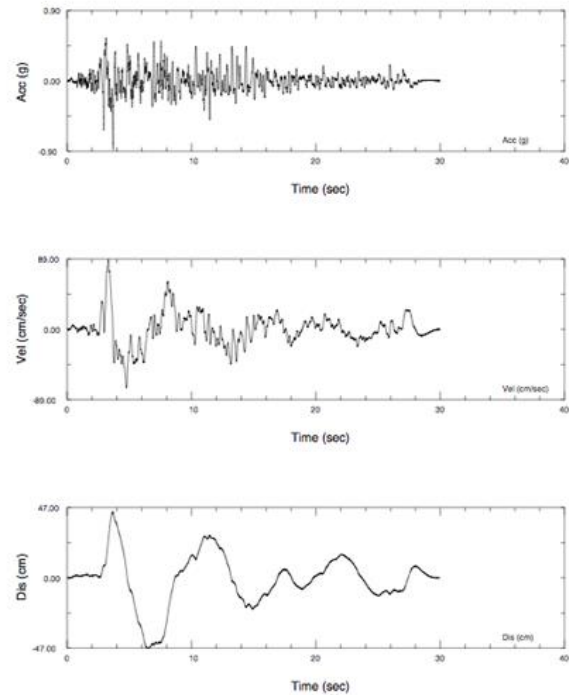
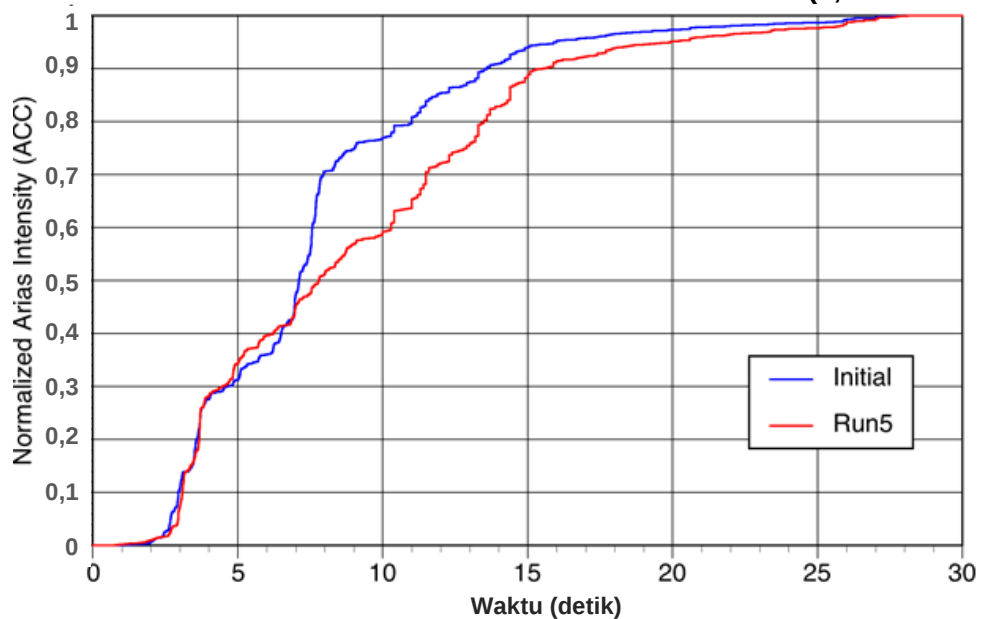


Gambar C.4—Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 3$ detik)



Gambar C.5—Spektrum target versus Spektrum tercocokkan ($0,01 < T < 7$ detik)

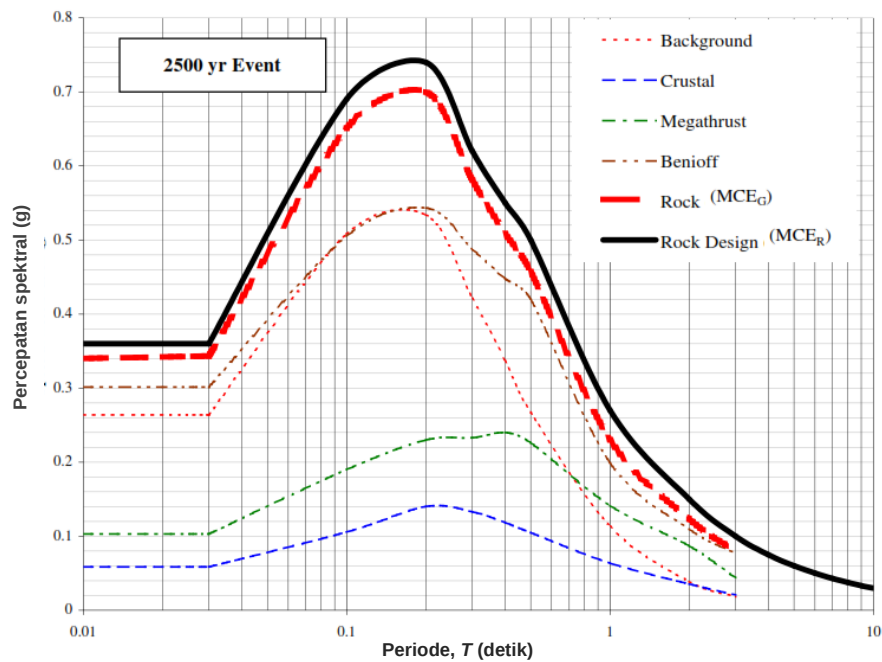
Gerak tanah asli

Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 7$ detik)Gambar C.6—Gerak tanah asli versus Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 7$ detik)

Gambar C.7 -Intensitas Arias gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan

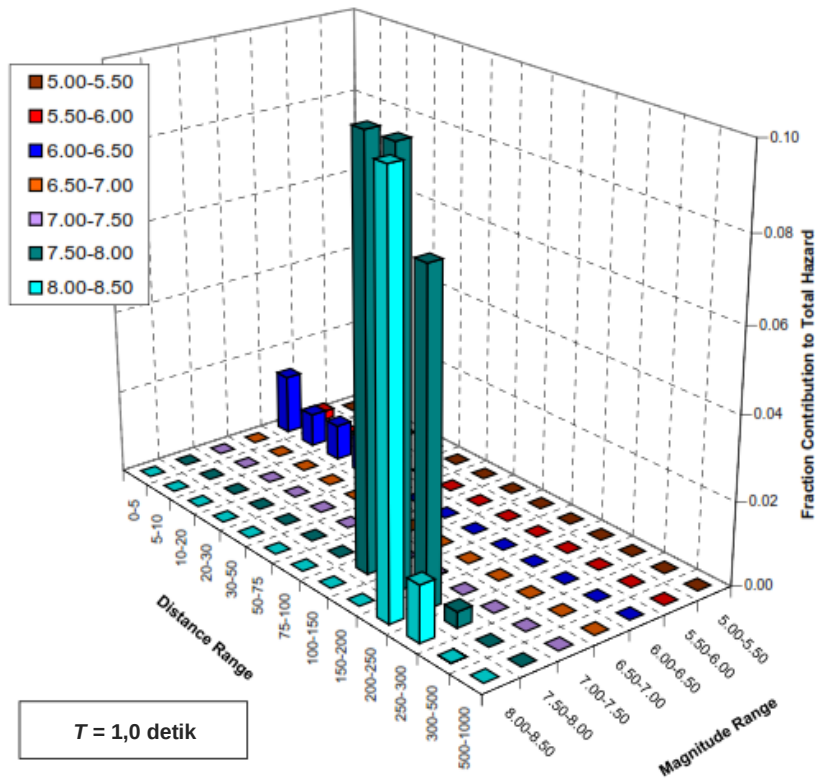
Sebagai ilustrasi, diberikan contoh “pencocokan spektral ketat” (*Tight Spectral Matching*) yang dilakukan untuk URS di atas batuan untuk satu proyek di Jakarta.

1. Dibentuk Spektrum Risiko Seragam (*Uniform Risk Spectrum*- URS) untuk lapis batuan yang perlu dicocokkan spektralnya (Gambar C.8).



Gambar C.8–Spektrum Risiko Seragam (*Uniform Risk Spectrum- URS*) pada batuan dasar untuk periode ulang 2.475 tahun

2. Dari deagregasi bahaya (Gambar C.9), diperoleh informasi tentang sumber gempa dominan berasal dari Background Crustal ($M = 6,2$; $D = 20$ km), Intraslabb ($M = 7,3$; $D = 180$ km) dan Interface ($M = 8,3$; $D = 250$ km) untuk periode $T = 1$ detik.



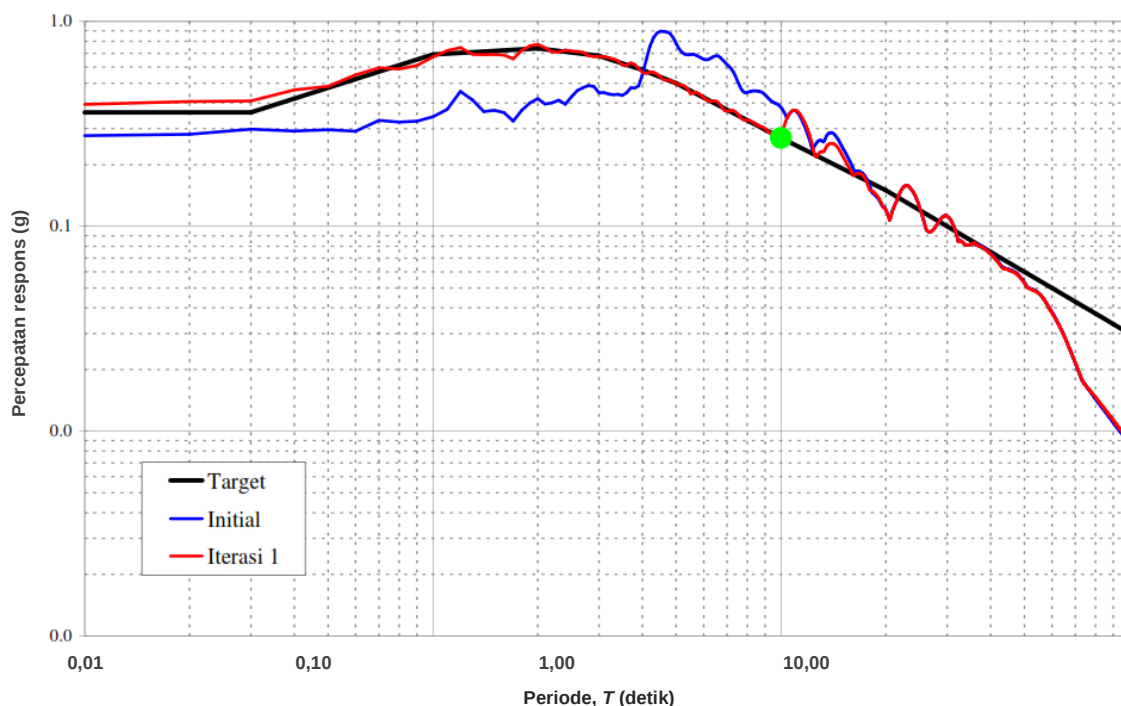
Gambar C.9 - Deagregasi bahaya untuk Percepatan spektral (S_a) periode ulang 2.475 tahun

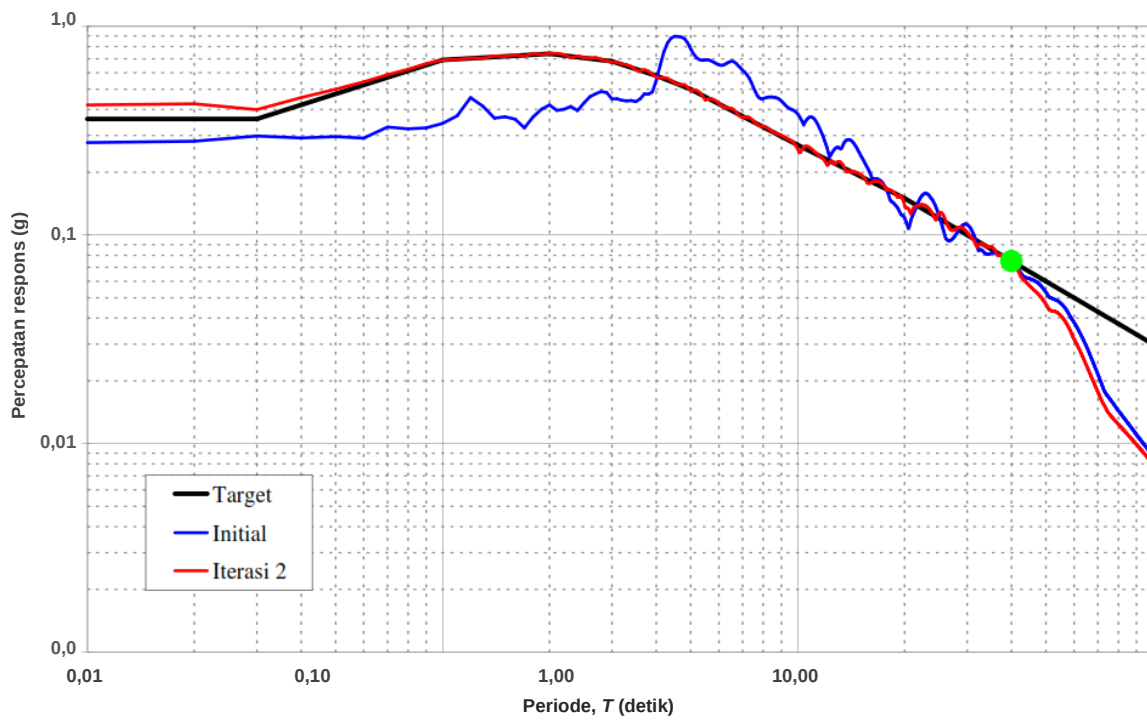
3. Dipilih gerak tanah asli dari *katalog* gempa lokal atau internasional untuk situs tanah yang sama. Dalam hal ini, dipilih $V_s > 550$ m/det. yang mewakili gerak tanah diatas batuan.
4. Tabel C.1 menunjukkan contoh rangkaian gerak tanah asli yang dipilih untuk pencocokan spektral yang mewakili berbagai sumber gempa dominan. Dalam contoh ini hanya diambil 7 pasang gerak tanah untuk keperluan studi kasus. Perlu diperhatikan bahwa SNI 1726: 2019 mensyaratkan pemilihan paling sedikit 11 pasang gerak tanah.

Tabel C. 1 - Pemilihan Gerak tanah asli

Sumber	Kejadian	Mw	Kedalaman (km)	Jarak (km)	V_s (m/sec)
<i>Background</i>	1999 Chi-chi, Taiwan	7,6	7	40	545
	1999 Kocaeli, Turkey	7,5	15	7	792
	1995 Kobe, Japan	6,9	18	9	609
<i>Interface</i>	2003 Tokachi-oki, Japan	8,0	33	160	N/A
	1985 Michoacan, Mexico	8,1	27	126	N/A
<i>Intraslab</i>	1949 Western Washington, Washington	6,9	70	75	N/A
	2001 El Salvador, El Salvador	7,6	60	168	N/A

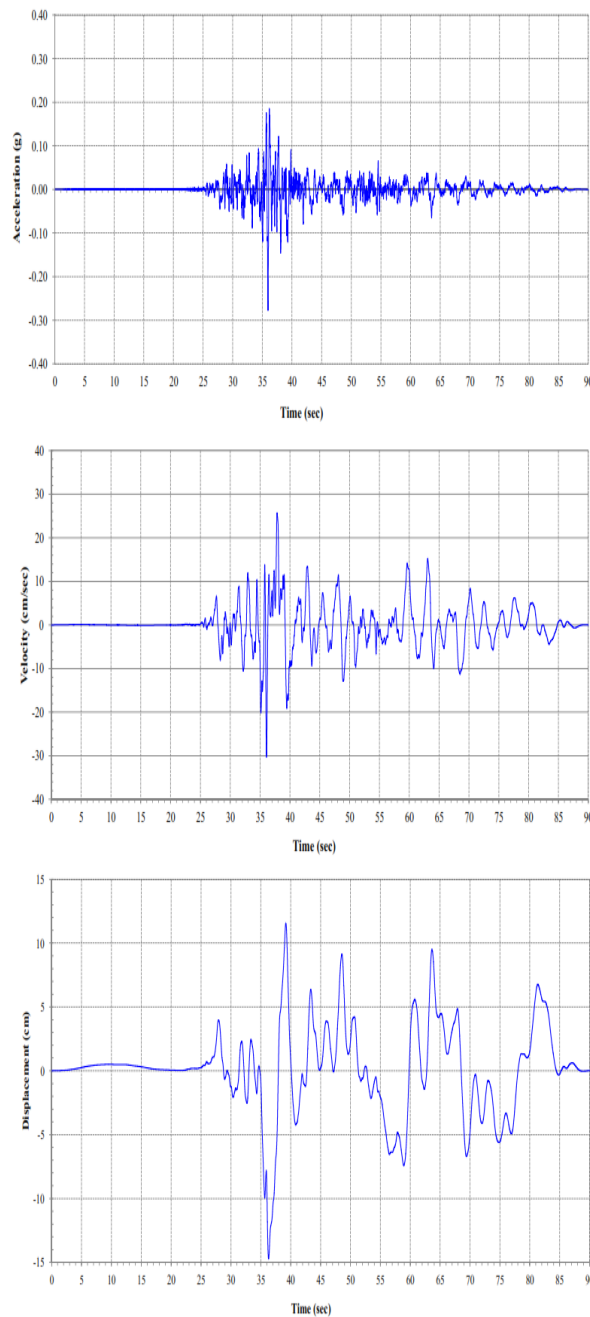
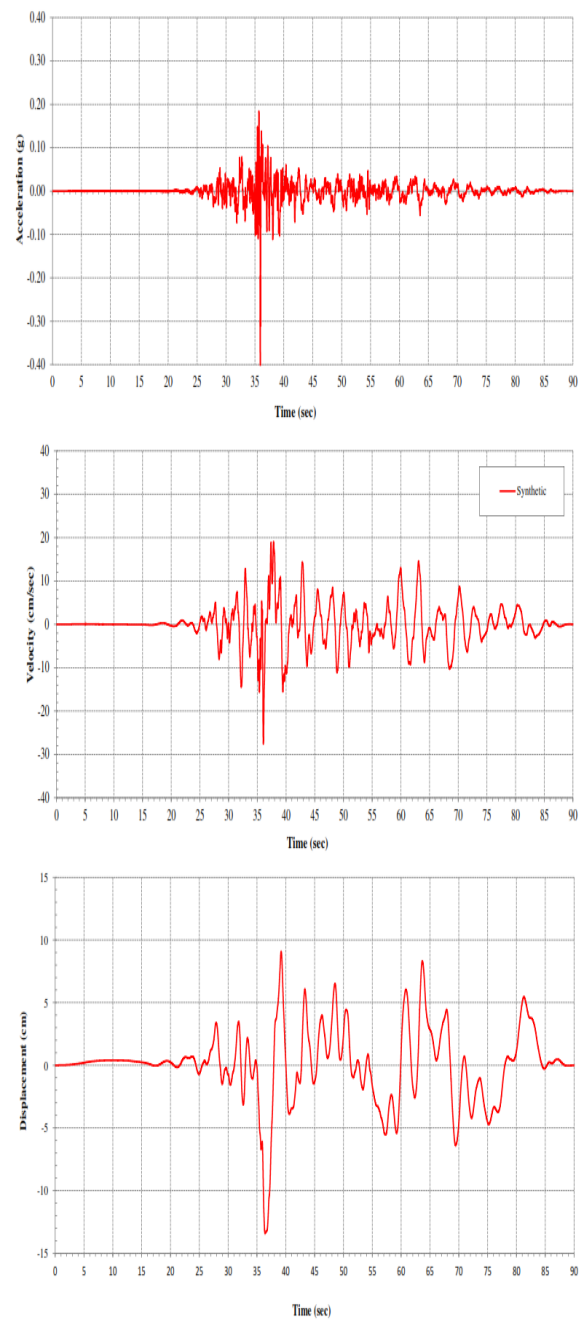
5. Dengan memakai program RSPMATCH dan melewati berbagai tahapan pencocokan periode (Gambar C.10-Gambar C.11), maka diperoleh riwayat waktu termodifikasi (*matched motion*) dengan spektrum baru yang mirip dengan spektrum target. Karakteristik nonstationer dan polaritas dari riwayat waktu percepatan, kecepatan dan simpangan gerak tanah termodifikasi juga mirip dengan gerak tanah asli (Gambar C.12).


Gambar C.10 -Target spektrum versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 1$ detik)

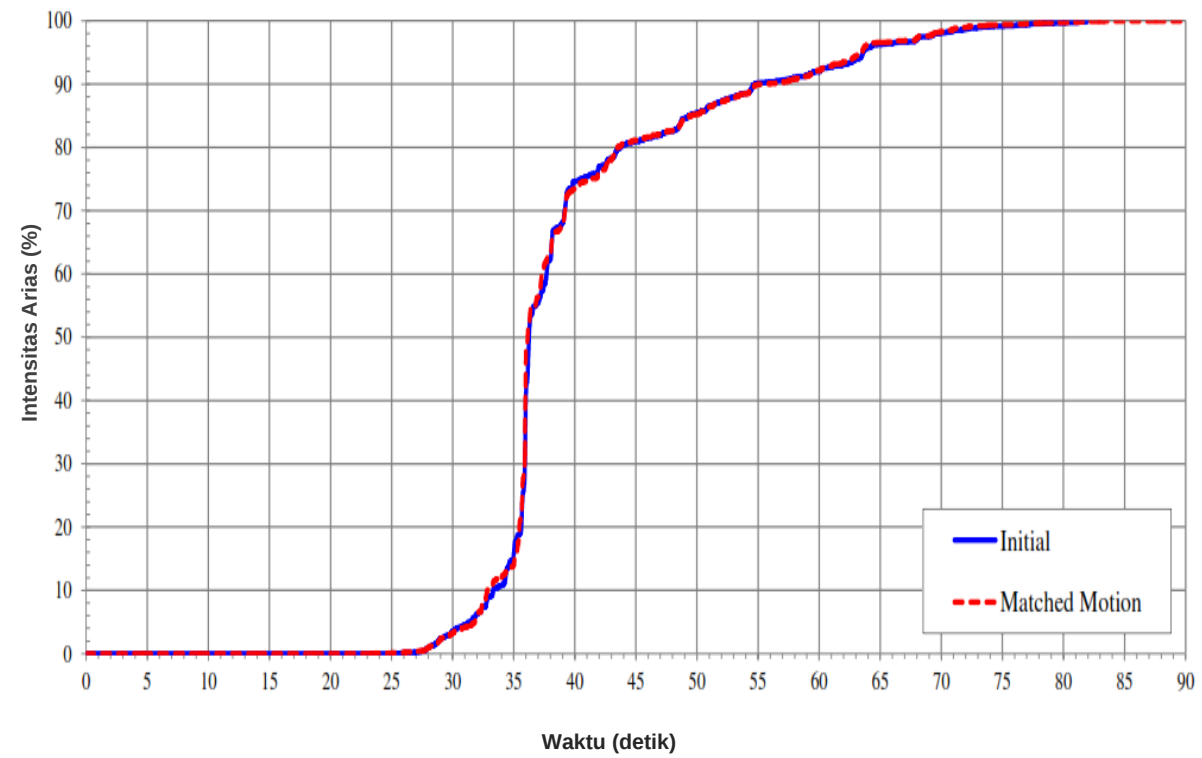


Gambar C.11–Target Spektrum versus Spektrum Tercocokkan ($0,01 < T < 4$ detik)

Gerak tanah asli

Gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 4$ detik)Gambar C.12–Gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan ($0,01 < T < 4$ detik)

6. Intensitas arias dari riwayat waktu termodifikasi juga mirip dengan riwayat waktu asli (Gambar C.13). Ini berarti, pencocokan spektral sudah dilakukan secara betul.



Gambar C.13 - Intensitas Arias Gerak tanah asli versus gerak tanah tercocokkan

BIBLIOGRAFI

- [1] Alexander, N., Sukamta, D., Irsyam, M. (2019). Pemilihan Dan Modifikasi Ground Motion Sesuai SNI 1726: 2019 Untuk Perancangan Gedung Tahan Gempa Indonesia. Prosiding PIT XXIII, KOGEI XI. Jakarta.
- [2] Arup. San Francisco (personal communication, August 2019).
- [3] ASCE 7 (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16), American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- [4] Atik L, and Abrahamson, N. (2010) An Improved Method for Nonstationary Spectral Matching. Earthquake Spectra, Vol 26, No.3, pages 601-617, August 2010.
- [5] Baker, J.W. (2011). Conditional Mean Spectrum: Tool for Ground-Motion Selection. Journal of Structural Engineering 137(3):322-331/1943.
- [6] Chandramohan R, Baker J., and Deierlein, G. (2016) Impact of Hazard-consistent Ground Motion Duration in Structural Collapse Risk Assessment. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2016; 45: 1357-1379
- [7] Huang, Y. N., Whittaker, A. S., and Luco, N. (2008). Maximum Spectral Demands in the Near-Fault Region. Earthquake Spectra. 2008, Vol 24, 319-341
- [8] Irsyam, M., Hendriyawan, Natawijaya, D.H., Widiyantoro, S., Asrurifak, M., Meilano, I., Triyoso, W., Hidayati, S., Rudiyanto, A., Sabaruddin, A., Faisal, L. (2017). Development of New Seismic Hazard Maps of Indonesia 2017. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Seoul, South Korea.
- [9] Pusat Studi Gempa Nasional (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung, Indonesia: Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. ISBN: 978-602-5489-01-3.
- [10] Magnusson Klemencic & Associates (personal communication, July 2019).
- [11] Mazzoni, S., Hachem, M., and Sinclair, M (2012). An Improved Approach for Ground Motion Suite Selection and Modification for Use in Response History Analysis. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa.
- [12] NIST (2011). Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analysis (NIST GCR 11-917-15), National Institute of Standards and Technology, USA
- [13] PEER (2017). Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Buildings version 2.03, (Report No. 2017/06), Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA
- [14] SNI 1726:2019. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Standar Nasional Indonesia
- [15] Sukamta D, Alexander N. (2012). State of Practice of Performance-Based Seismic Design in Indonesia. International Journal of High-Rise Buildings. 2012, Vol 1, No. 3, 211-220
- [16] Watson-Lamprey J, Abrahamson N. (2006) Selection of Ground Motion Time Series and Limits on Scaling. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2006, Vol 26, 477-482
- [17] Zareian, F. and Zhong, P (2010) Ground Motion Selection and Scaling for the Analysis of the Tall Building Case Studies. PEER, 2010.

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan.

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

- Ketua : Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
 Wakil Ketua : Ir. Lutfi Faizal
 Sekretaris : Dany Cahyadi, S.T., M.T.
 Anggota :
 1. Ir. RG Eko Djuli Sasongko, M.M.
 2. Prof. Dr. Ir. Suprpto, M.Sc., FPE., IPM.
 3. Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng
 4. Ir. Asriwiyanti Desiani, M.T.
 5. Ir. Felisia Simarmata
 6. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
 7. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
 8. Prof. Bambang Suryoatmono

[3] Konseptor Penyusun SNI

NO.	NAMA	INSTANSI	KEANGGOTAAN
1	Ir. Lutfi Faizal	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR	Koordinator
2	Ir. Davy Sukamta, IP-U	DSP, HAKI, HATTI	Ketua
3	Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE., Ph.D	ITB, HATTI, AIPI	Wakil Ketua
4	Nick Alexander, M.Sc	DSP, HAKI	Sekretaris
5	Hendriyawan, ST, MT, Ph.D	ITB, HATTI	Sekretaris
6	Ir. Sindhu Rudianto, MSCE	HATTI, GP	Anggota
7	Daniel Hutabarat, ST, MSCE	UC Berkeley College of Engineering California, HATTI	Anggota
8	Dr. Ir. M. Asrurifak, MT	ISTN Jakarta, HATTI	Anggota
9	Prof. Ir. I Wayan Sengara, MSCE, Ph.D	ITB, AARGI, HATTI	Anggota
10	Fahmi Aldiamar, ST, MT	Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian PUPR, HATTI	Anggota
11	Ir. Hendra Jitno, MASc, Ph.D	HATTI	Anggota
12	Dr. Ir. Mohamad Ridwan	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR	Anggota

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.