

ACCELEROGRAM SINTETIK SUMBER GEMPA SUBDUKSI UNTUK WILAYAH KOTA BENGKULU

DELFEBRIYADI

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas. Padang, Sumatera Barat.

**Corresponding Author : ✉ delfebri@eng.unand.ac.id*

Naskah diterima : 8 Januari 2024. Disetujui: 24 Februari 2024. Diterbitkan : 30 Maret 2024

ABSTRAK

Makalah ini memaparkan pembuatan riwayat waktu percepatan (accelerogram) sintetik yang dilakukan berdasarkan metoda stokastik dengan menggunakan program *SMSIM v2.3* dan teknik penskalaan gelombang terhadap suatu skenario gempa rencana. Gambaran umum tentang magnitudo dan jarak dari suatu skenario gempa rencana diambil dari hasil perhitungan deagregasi seismik menggunakan analisis probabilistik terhadap kota Bengkulu. Studi ini menghasilkan 4 buah riwayat waktu percepatan sintetik pada zona subduksi berdasarkan kriteria desain umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 10% untuk situs tanah kelas *S_b*.

Kata kunci : metoda stokastik, riwayat waktu percepatan sintetik

1. PENDAHULUAN

Letak geografis wilayah Indonesia yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik utama; lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Philipina, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki potensi aktivitas seismik cukup tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa. Perkiraan besarnya beban gempa yang handal dalam perencanaan bangunan sipil masih dapat dikaji secara lebih mendalam, mengingat sangat penting dan berpengaruhnya hal tersebut baik melingkupi aspek keamanan maupun efisiensi suatu desain bangunan, tanpa meninggalkan atau bahkan memungkinkan dapat melengkapinya atau mengevaluasi peraturan-peraturan standar yang ada.

Accelerogram sintetik untuk situs terdampak yang diperlukan dalam analisa dinamik struktur terhadap beban gempa membutuhkan suatu kecocokan secara geologi dan tektonik sumber gempa. Karena sedikitnya jumlah ketersediaan accelerogram terekam yang terpublikasikan untuk daerah di sekitar lokasi kajian, maka pembuatan riwayat waktu percepatan sintetik dapat dilakukan berdasarkan metoda stokastik dengan bantuan

program SMSIM v2.3. Secara umum, properti dari *ground motion* dipelajari dalam studi ini melalui analisis *hazard* kegempaan untuk kota Bengkulu. Hasil akhir yang diperoleh adalah riwayat waktu percepatan gempa sintetik untuk situs kelas *Sb* menurut *SNI 1726-2019* dengan kriteria umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 10%.

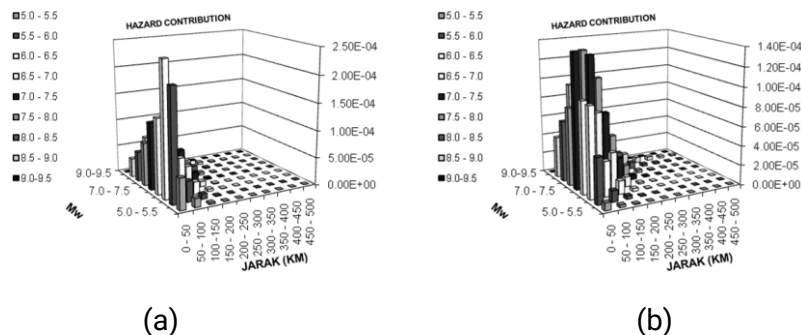
2. METODA PENELITIAN

Dalam kajian resiko gempa, perlu diidentifikasi secara geologi dan seismologi adanya beberapa zona sumber gempa aktif yang memiliki potensi dan kontribusi seismik signifikan terhadap wilayah kota Bengkulu seperti zona subduksi Sumatera dan zona patahan Semangko. Sebelum melakukan analisis *hazard* kegempaan, terlebih dahulu perlu dilakukan evaluasi terhadap seluruh data kejadian gempa bumi yang pernah terjadi. Selanjutnya ditentukan model zona sumber gempa, dilakukan perhitungan *b-value* dan *annual rate*, penentuan magnitudo maksimum, serta pemilihan fungsi atenuasi.

Pada makalah ini, percepatan gempa di batuan dasar diperoleh dari hasil analisis berdasarkan teori probabilitas total yang dikembangkan oleh McGuire (1976) berdasarkan konsep probabilitas yang diajukan Cornell (1968). Probabilitas gempa dengan *ground motion* a melebihi suatu nilai a^* tertentu akan dihitung untuk jarak lokasi sumber gempa dan kemudian dikalikan dengan probabilitas gempa dengan magnitudo tertentu yang berpotensi terjadi di lokasi tersebut. Selanjutnya, analisis deagregasi seismik (McGuire, 1995) untuk kemungkinan magnitudo (M_w) dan jarak (R) dari situs ke sumber gempa yang memberikan kontribusi nilai *hazard* terbesar dapat diekspresikan dalam satu fungsi yang dapat memberikan gambaran umum tentang ukuran gempa dan jarak untuk sumber gempa tertentu yang kemungkinan besar destruktif terhadap situs. Informasi jarak dan magnitudo tersebut merupakan bagian informasi pemilihan kriteria riwayat waktu dengan karakteristik yang diharapkan mendekati kondisi yang diinginkan. Hasil deagregasi *hazard* untuk kota Bengkulu untuk sumber gempa subduksi diberikan pada Tabel 1. Dengan melakukan *plotting* deagregasi *hazard* seperti Gambar 1, maka perbedaan kontribusi kejadian tahunan dalam suatu bentang magnitudo untuk suatu periode spektral (T) akan dapat terlihat.

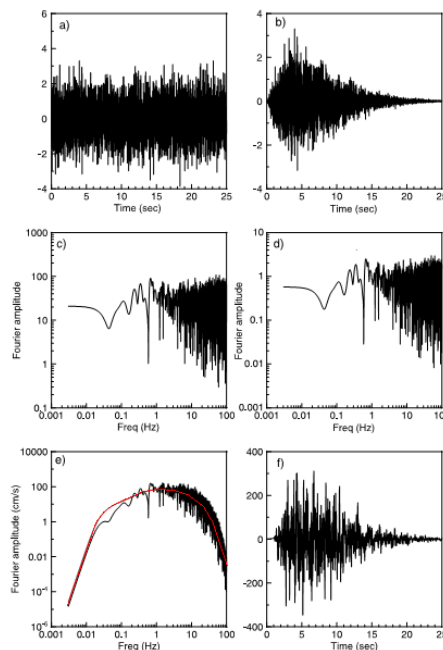
Tabel 1. Hasil Perhitungan Deagregasi *Hazard* (Delfebriyadi, 2023)

Sumber Gempa	$(T = 0,2 \text{ detik})$		$(T = 1 \text{ detik})$	
	$R \text{ (km)}$	M_w	$R \text{ (km)}$	M_w
Megathrust	72	7.2	92	7.8
Beniof	172	7.4	185	7.7



Gambar 1. *Plotting* Deagregasi *Hazard* untuk (a) $T=0,2$ Detik dan (b) $T=1$ Detik (Delfebriyadi, 2023)

Data riwayat waktu percepatan gempa dikonstruksi dengan membuat data digitasi sintetik dengan melakukan simulasi berdasarkan model numerik dari suatu proses *fault rupture* dan penalaran gelombang gempa untuk suatu jarak tertentu. Program *SMSIM v2.3* (Boore, 2000) digunakan dalam pembuatan riwayat waktu sintetik tersebut dengan mengaplikasikan parameter-parameter yang publikasikan oleh Atkinson dan Silva (2000). Program ini menggunakan *FORTRAN* sebagai dasar pemogramannya dan diunduh bebas pada situs <http://quake.usgs.gov/~boore>. Simulasi gelombang dalam domain waktu dibuat dengan cara membangkitkan *white noise* sepanjang durasi dari riwayat waktu yang diperkirakan (Gambar 2a). *White noise* akan dibentuk dengan suatu pola selubung tertentu (Gambar 2b), dan ditransformasikan ke domain frekuensi (Gambar 2c). Selanjutnya, spektrum gelombang akan dinormalisir oleh akar kuadrat dari kuadrat rata-rata (*the square-root of the mean square*) nilai amplitudo spektrum (Gambar 2d). Spektrum yang dinormalisir tersebut lalu diskalakan dengan suatu spektrum gerakan tanah target (Gambar 2e). Hasil akhir adalah riwayat waktu yang didapatkan kembali dari transformasi spektrum dalam domain frekuensi ke domain waktu (Gambar 2f).

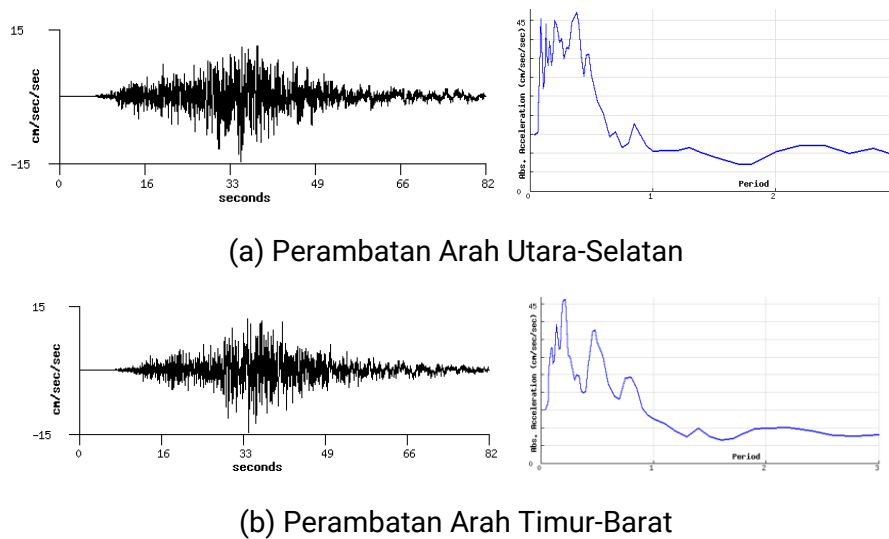


Gambar 2. Prosedur Pembuatan Riwayat Waktu Gerakan Tanah Berdasar Metoda Stokastik (Boore, 2003)

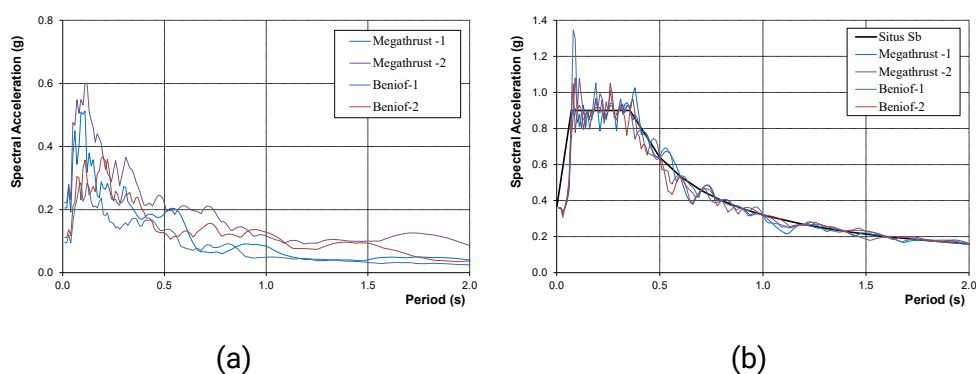
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan deagregasi *hazard* memperlihatkan sumber gempa subduksi yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kota Bengkulu untuk periode ulang desain gempa 500 tahun berada pada kisaran jarak rata-rata dalam radius 72 km hingga 185 km dari lokasi kajian dan magnitudo rata-rata sebesar 7,2 hingga 7,8 pada zona sumber gempa subduksi (Tabel 1). Merujuk pada peta *hazard* gempa SNI 1726:2019 untuk kriteria desain umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 2%, diperoleh nilai S_S , S_1 , dan PGA untuk kota Bengkulu adalah sebesar 0,6g, 1.5g, dan 0,6g. Sehingga parameter-parameter tersebut akan memberikan bentuk respons spektra percepatan desain untuk situs kelas S_b seperti yang ditampilkan pada Gambar 4b.

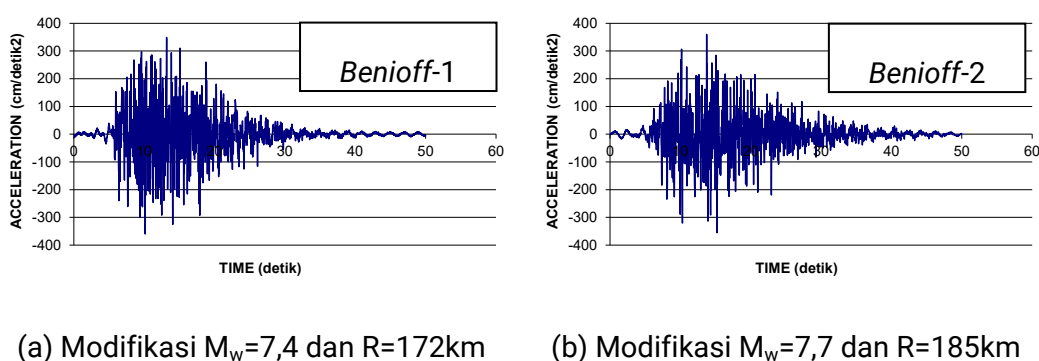
Dalam mengkonstruksi accelerogram sintetik diperlukan suatu kecocokan secara geologi dan tektonik sumber gempa dan situs terdampak. Karena sedikitnya jumlah ketersediaan accelerogram yang terpublikasikan untuk daerah di sekitar lokasi kajian, maka dipilih pasangan accelerogram dan respons spektra gempa terekam di sekitar Kepulauan Mentawai di bulan September 2007 yang diunduh dari situs www.strongmotioncenter.org. Data tersebut ditampilkan pada Gambar 3 dan akan digunakan sebagai rujukan pemilihan bentuk selubung riwayat waktu percepatan dan durasi dari gempa yang akan disimulasikan. Pada Gambar 4a diperlihatkan bentuk respons spektra hasil eksekusi dari program SMSIM v2.3 berdasarkan simulasi-simulasi gempa skenario untuk magnitudo dan jarak yang diberikan pada Tabel 1. Selanjutnya, dilakukan penskalaan untuk riwayat-riwayat waktu percepatan gempa sintetik pada zona subduksi yang ditargetkan memberikan respons spektra percepatan untuk kriteria desain umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 10% seperti ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari Gambar 4b, ditunjukkan bahwa amplitudo dan bentuk respons spektrum percepatan desain dari SNI 1726:2019 akan didekati oleh respons struktur dari 4 data riwayat waktu percepatan gempa sintetik di semua titik periode spektral yang ditampilkan. Hal ini dapat diselesaikan dengan melakukan teknik penskalaan pada kelompok titik periode spektral sehingga didapatkan kemiripan bentuk respons spektrum percepatan tersebut.



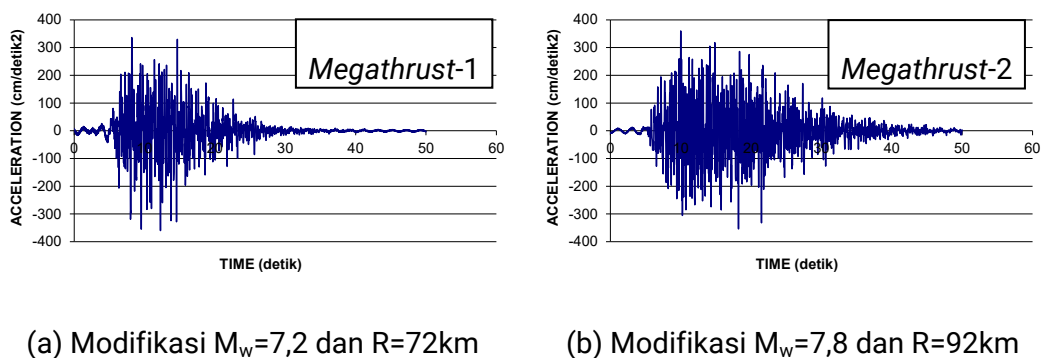
Gambar 3. Pasangan Riwayat Waktu Percepatan dan Respons Spektra Gempa Kepulauan Mentawai September 2007 ($M_w=7,0$ dan $R=145\text{km}$) yang diunduh dari situs www.strongmotioncenter.org



Gambar 4. Respons Spektra Percepatan Hasil Simulasi-Simulasi Gempa Skenario (a) Sebelum Penskalaan, dan (b) Sesudah Penskalaan



Gambar 5. Riwayat Waktu Percepatan Terskalakan untuk 2 Sumber Gempa *Benioff*



Gambar 6. Riwayat Waktu Percepatan Terskalakan untuk 2 Sumber Gempa *Megathrust*

4. KESIMPULAN

Studi ini menghasilkan 4 buah data riwayat waktu percepatan gempa (accelerogram) sintetik untuk situs kelas *Sb* menurut SNI 1726:2019 dari sumber gempa subduksi berdasarkan model numerik pada program *SMSIM v2.3*. Data riwayat waktu percepatan gempa sintetik tersebut dapat diaplikasikan sebagai beban gempa pada kota Bengkulu untuk perencanaan bangunan gedung dengan kriteria desain umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 10%.

Selubung respons spektra percepatan desain dari SNI 1726:2019 untuk situs kelas *S_b* terhadap kota Bengkulu terlihat berada di atas selubung respons struktur dari simulasi-simulasi yang dilakukan, sehingga dapat dikatakan respons spektra percepatan desain ini cukup handal untuk merepresentasikan 4 hasil simulasi pembebanan beban gempa dari zona subduksi yang telah diskenariokan pada studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, G. M., & Silva, W. (2000). Stochastic Modeling of California Ground Motions. *Bulletin of The Seismological Society of America*, 90, 255–274
- Boore, D. M. (2000). SMSIM – Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes: Version 2.0—A Revision of OFR 96-80-A, U.S. Geological Survey Open-File Report, OF 00-509, 55.
- Boore, D. M. (2003). Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method, *Pure and Applied Geophysics*, 160, 635–676
- Cornell, C. A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 1583-1606
- Delfebriyadi (2023). Seismic Hazard Assessment of Bengkulu City Using Probabilistic Method. *E3S Web of Conferences*. 464. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346401008>
- McGuire, R. (1976). Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis, U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-67
- McGuire, R. (1995). Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5),1275-1284
- Standar Nasional Indonesia (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2019)*, Badan Standardisasi Nasional