

Analisis aselerasi riwayat waktu pada wilayah spesifik di Yogyakarta dengan sumber gempa subduksi berdasarkan Peta Gempa 2002

Wisnu Erlangga^{1*}, Mochamad Teguh², Lalu Makrup², Jafar², dan Maharani Dagi Saputri¹

¹Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Article Info

Article history:

Received: 2 November 2023

Revised: 12 Desember 2023

Accepted:

16 Desember 2023

Available online:

30 Desember 2023

Keywords:

Earthquake

Subduction

PSHA (Probabilistic

Seismic Hazard Analysis)

Hazard deaggregation

Time history

Bedrock

Corresponding Author:

Wisnu Erlangga

wisnuangga@gmail.com

Abstract

Earthquakes are natural disasters that frequently occur in Indonesia. It causes damage, especially to buildings. The usual earthquake load in a building design is from the spectral response. Using earthquake loads from time history is unfamiliar because of the problem of finding accurate regional data. This study chooses the Alana Hotel and Apartment as research locations to find out artificial time histories. All earthquake data affecting the Yogyakarta region were collected from several sources. However, the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method was used for the seismic hazard analysis by considering only the main earthquake. The selection of attenuation functions is based on the similarity of geological and tectonic conditions in Indonesia. These attenuation functions produce a uniform hazard spectrum response and a seismic hazard curve. The result of the disaggregation process in the form of dominant magnitude and dominant distance from the subduction earthquake source becomes the basis for selecting time history data on bedrock. It is necessary to adjust the spectrum response in the time history data to fit the research location. Furthermore, earthquake wave propagation from the bedrock to the surface is required to obtain a time history at the surface. The results show that the peak time history acceleration after surface propagation increased by 1.51 times than the time history in bedrock.



Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang berada di antara tiga lempeng aktif dunia menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana gempa bumi (Sulistiyanto, 2009). Pergerakan antar lempeng secara terus menerus membentuk beberapa zona sumber gempa seperti *subduction zones*, *transtensional zones* dan *thrust zones* di beberapa wilayah Indonesia yang menimbulkan gempa tektonik (Aldiamar, 2007). Selain itu, intensitas kejadian gempa bumi yang terjadi di

Indonesia cukup besar jika dibandingkan dengan negara-negara lain di dunia.

Gempa merupakan bencana alam yang dapat memberikan kerugian ekonomi dan jatuhnya korban jiwa. Hingga hari ini, belum ditemukan metode untuk memprediksi kejadian gempa yang akan terjadi secara akurat. Hal ini menjadikan fenomena kejadian gempa menjadi perhatian serius karena bisa memberikan dampak kerugian yang cukup besar, yang tidak dapat diprediksi seberapa level kerusakan akibat gempa. Oleh karena itu diperlukan penelitian ilmiah lebih lanjut

berdasarkan karakteristik tiap-tiap daerah rawan gempa dan sejarah kejadian gempa yang pernah terjadi guna kebermanfaatannya dalam perkiraan kemungkinan terjadinya gempa (Widodo, 2012).

Intensitas kejadian gempa bumi, yang merusak di Indonesia sangat besar dalam beberapa tahun terakhir. Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan daerah yang memiliki risiko tinggi terhadap gempa bumi. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat risiko terhadap bencana gempa bumi ialah kepadatan penduduk dan kondisi bangunan yang terbangun tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku. Pada tahun 2006 terjadi gempa yang cukup besar di Yogyakarta, mengakibatkan kerusakan pada bangunan dan korban jiwa yang cukup besar. Banyaknya korban jiwa disebabkan oleh runtuhnya bangunan. Sebagian besar bangunan yang rusak dibangun tidak sesuai dengan peraturan yang ada, hal ini menyebabkan bangunan tidak mampu bertahan saat digoncang gempa.

Di dalam mendesain bangunan harus memperhitungkan tingkat bahaya gempa dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti keadaan seismologi, geologi, geoteknik dan struktur (Mahesworo, 2008). Untuk mengurangi risiko kerusakan akibat gempa bumi, perencanaan bangunan harus sesuai dengan peraturan/standar yang berlaku sehingga bangunan mampu menahan beban gempa atau biasa disebut sebagai bangunan tahan gempa (Irsyam et al, 2010; Erlangga et al, 2020; Erlangga et al 2022). Gempa merupakan kejadian alam yang memiliki *return period* tertentu sehingga berpotensi terjadi pengulangan kejadian gempa yang sama. Salah satu metode yang bisa memperhitungkan *hazard* gempa guna meminimalisasi kerusakan yang terjadi akibat gempa ialah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA).

Cornell memperkenalkan metode PSHA sejak tahun 1968 dan terus berkembang hingga sekarang dan cukup populer. Keunggulan metode PSHA antara lain dapat memperhitungkan *uncertainty factor* dalam analisis seperti ketidakpastian lokasi, ukuran

dan frekuensi gempa. Pada metode PSHA, perlu dilakukan identifikasi dan perkiraan terhadap *uncertainty factor* untuk selanjutnya digunakan dalam analisis dengan menggunakan metode pendekatan untuk mendapatkan ilustrasi kejadian gempa secara menyeluruh. Metode ini memiliki keunggulan dalam mengintegrasikan hazard berdasarkan sumber gempa yang berbeda pada lokasi tertentu pada metode PSHA (Fauzi, 2011; Erlangga, 2018; Teguh & Erlangga, 2019). Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan khususnya dalam mengidentifikasi informasi terkait dengan *magnitude* (M) dan jarak (R) dominan dan tunggal dalam desain gempa serta belum mampu menyediakan *ground motion* untuk analisis gempa. Hal ini dikarenakan PSHA hanya menghitung *hazard* gempa bersumber pada seluruh kejadian gempa yang pernah terjadi dan gerakan tanah yang mungkin terjadi pada masa depan. Untuk itu diperlukan proses deagregasi untuk mendapatkan *magnitude* dan jarak dominan gempa.

Pada perencanaan bangunan, penggunaan riwayat waktu (*time history*) sangat jarang digunakan karena sulitnya mendapatkan data yang akurat. Pada umumnya *time history* yang digunakan berasal dari rekaman gempa di tempat lain tanpa proses *matching* dengan alasan sulit untuk dilakukan. Setiap lokasi tempat mempunyai karakteristik *time history* yang berbeda-beda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu keadaan geologis dan kondisi tanah. Salah satu contoh hasil desain bangunan bertingkat tinggi di Yogyakarta ialah *Alana Hotel* dan *Apartment*. Perencanaan bangunan tersebut menggunakan peraturan lama yaitu peta gempa 2002 (SNI 1726 2002).

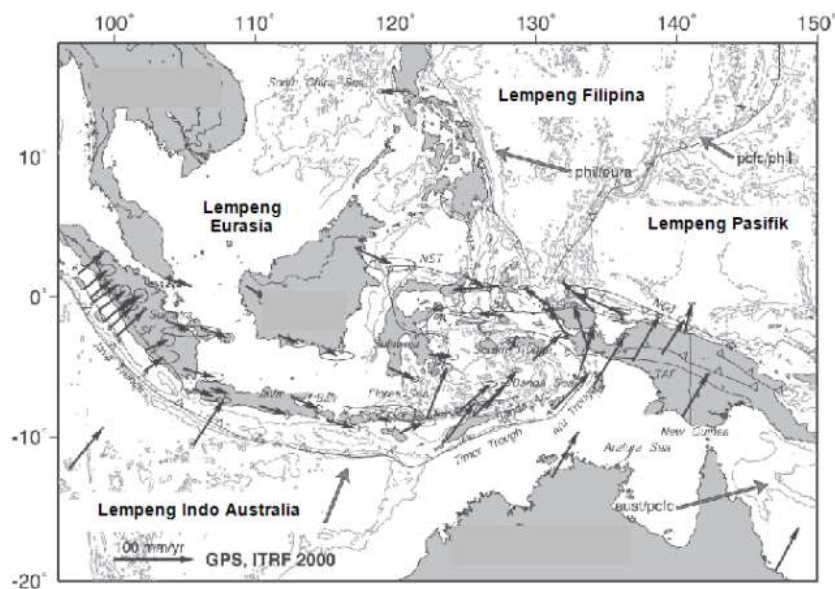
Pembaharuan peraturan yang terjadi di Indonesia mengakibatkan peningkatan parameter desain risiko gempa yang digunakan untuk perencanaan bangunan jika dibandingkan dengan peraturan yang lama (PusGen, 2017). Hal inilah yang mendasari perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut pada analisa beban gempa yang digunakan mengingat banyaknya bangunan yang telah

terbangun dengan peraturan lama (SNI 1726-2002). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai percepatan *time history* yang berasal dari analisis *hazard* gempa dengan menggunakan metode PSHA berdasarkan peraturan peta gempa yang lama. *Time history acceleration* yang digunakan merupakan hasil *matching* dari data gempa di *bedrock* yang sesuai dengan hasil analisis deagregasi *hazard*. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh gempa yang berasal dari subduksi.

Landasan Teori

Kondisi Tektonik

Model pelat tektonik Indonesia cukup beragam dan kompleks seperti yang terlihat pada Gambar 1. Tipe pergerakan pelat yang bervariasi membentuk beberapa *subduction zone* dan *transform fault zone*. Keberadaan dan interaksi antar lempeng menjadikan Indonesia memiliki tingkat risiko tinggi terhadap kejadian gempa bumi (Milson et al, 1992).



Gambar 1. Kondisi Tektonik Indonesia (Bock et al, 1996)

Pemodelan Zona Sumber Gempa

Suatu area yang mempunyai kejadian gempa atau intensitas yang sama diidentifikasi sebagai zona sumber gempa. Pemodelan sumber gempa diperlukan untuk menghitung hubungan antara model yang dipilih guna menghasilkan nilai tingkat bahaya gempa dan kejadian gempa. Pada umumnya terdapat 3 model sumber gempa yaitu sumber gempa *subduction* (*megathrust* dan *benioff*), sumber gempa *shallow crustal* dan sumber gempa *background*.

Karakteristik Sumber Gempa

Pada analisis kegempaan, catatan sejarah kejadian gempa yang pernah terjadi

digunakan untuk menentukan karakteristik sumber gempa yang direpresentasikan dalam bentuk parameter sumber gempa. Metode matematik yang digunakan untuk menentukan parameter sumber gempa ialah *truncated exponential* dan *characteristic* yang menghasilkan parameter a dan b (Irsyam et al, 2010; Erlangga, 2020).

Fungsi Atenuasi

Campel dan Bozorgnia pada tahun 2008 menjelaskan untuk menghubungkan antara *magnitude* (*M*) dan jarak (*R*) pada parameter gempa dengan *spetra acceleration* pada parameter pergerakan tanah diperlukan persamaan matematika yang biasa disebut fungsi atenuasi. Data *time history* dari

accelerograph yang didapatkan dari pencatatan saat kejadian gempa digunakan sebagai data untuk menurunkan fungsi atenuasi.

Model atenuasi diturunkan berdasarkan hasil analisis statistik dan gerakan tanah yang terekam pada suatu spesifik wilayah. Beberapa fungsi atenuasi yang telah ada diperbaharui dengan model atenuasi *Next Generation Attenuation* (NGA) tahun 2006/2007. Model atenuasi yang termasuk dalam kelompok NGA antara lain Boore and Atkinson (2006), Chiou and Youngs (2006), Campbell dan Bozorgnia (2006), Idriss (2007), Boore and Atkinson PEER-NGA (2007) serta Abrahamson dan Silva (2007). Suatu fungsi atenuasi dibuat sesuai dengan spesifik di area tertentu dengan tipe-tipe patahan yang ada pada area tersebut. Fungsi atenuasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan fungsi atenuasi yang dirujuk dari atenuasi negara lain yang memiliki kesamaan atau kemiripan dengan Indonesia. Hal ini dilakukan karena hingga saat ini belum ada penelitian lebih lanjut terkait fungsi atenuasi yang disusun sesuai dengan keadaan geologi dan tektonik Indonesia.

Pengelolaan Model Ketidakpastian dan Parameter Gempa (Logic Tree)

Metode *logic tree* digunakan untuk mempermudah analisis seluruh *uncertainty factor* yang ada pada metode PSHA, seperti pada pemilihan *recurrence* model, *magnitude* maksimum, *recurrence rate*, dan fungsi atenuasi. Penggunaan *logic tree* memudahkan kontrol tingkat keakuratan berbagai model yang digunakan dalam perhitungan. Hal ini disebabkan setiap alternatif model yang di pilih diberikan suatu nilai faktor yang berbeda berdasarkan tingkat kepercayaan terhadap model perhitungan yang digunakan dengan total jumlah bobot ialah satu (Erlangga et al, 2020).

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode PSHA digunakan dalam analisis *hazard* gempa untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tingkat *hazard* pada suatu

wilayah. Metode ini menggunakan distribusi probabilitas dengan menganalisis penggabungan *uncertainty factor* kejadian gempa, lokasi, dan frekuensi kejadiannya. Hasil dari analisis metode PSHA dapat digunakan sebagai acuan dalam memprediksi kejadian gempa dari suatu tempat yang ditinjau dengan memperhatikan dampak yang mungkin terjadi seperti kerusakan, kehancuran ekonomi, persoalan sosial dan lain-lain

Metode Penelitian

Metode analisis *hazard* kegempaan yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*). Metode PSHA ini digunakan untuk mendapatkan *artificial time history* di batuan dasar di lokasi penelitian yang dipilih, yaitu Alana Hotel dan Apartment. Bangunan gedung bertingkat 19 (tertinggi) ini terletak di Wilayah Sariharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta dan dipilih sebagai objek penelitian.

Identifikasi Sumber Gempa

Tabel 1. Objek subduksi yang ditinjau

| No | Subduksi |
|----|-------------------------|
| 1 | SouthSumatraMegatruster |
| 2 | SouthSumatraBenioff |
| 3 | JavaMegatruster1 |
| 4 | JavaBenioff1 |
| 5 | JawaMegatruster2 |
| 6 | JawaBenioff2 |
| 7 | JawaMegatruster3 |
| 8 | JawaBenioff3 |
| 9 | NustraMegatruster |
| 10 | NustraBenioff |

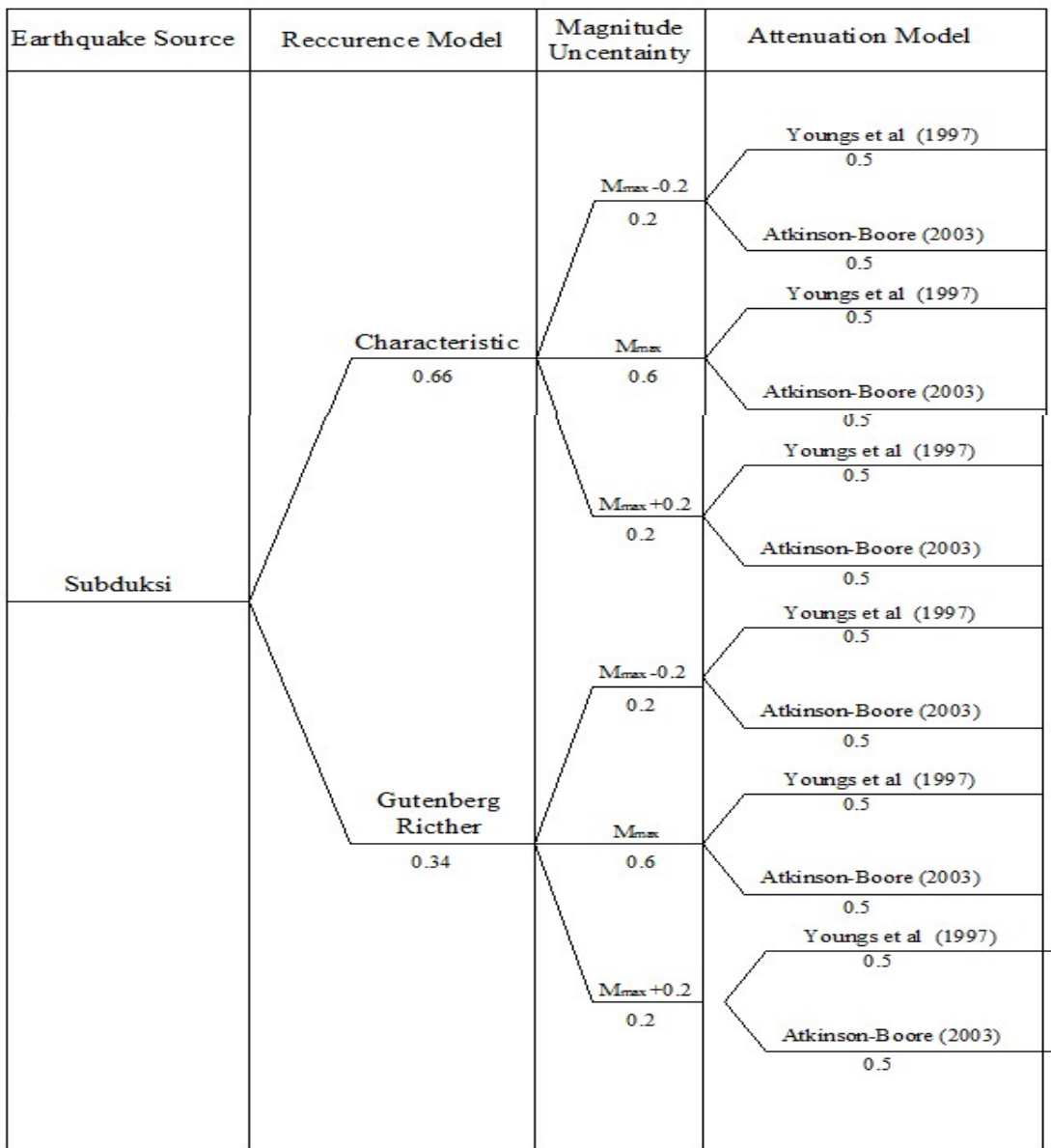
Penelitian ini menggunakan sumber gempa subduksi yang berada di Pulau Jawa, Sumatra Selatan dan Sumba (NTT), seperti terlihat pada Tabel 1 sebagai dasar perhitungan sumber *hazard* gempa.

Permodelan Sumber Gempa

Permodelan sumber gempa yang digunakan adalah model sumber gempa tiga dimensi (*3D Source*). Zona gempa sumber gempa yang diperhitungkan meliputi 10 zona subduksi. Dalam penelitian ini, *software* SR Model, yang dikembangkan oleh Makrup (2009) digunakan untuk permodelan sumber gempa,

Logic Tree

Logic tree digunakan untuk memberikan pembobotan pada parameter yang digunakan dalam analisis *hazard*. Pembobotan ini menunjukkan suatu tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan *logic tree* untuk sumber gempa subduksi yang dirinci dalam Gambar 2.



Gambar 2. *Logic tree* sumber gempa subduksi

Analisis Hazard Gempa

Pada tahun 1976, McGuire mengembangkan metode probabilitas total untuk menganalisa *seismic hazard*. Metode ini memperhitungkan pengaruh geometri sumber gempa terhadap lokasi tertentu dengan probabilitas jarak dan prediksi kemungkinan untuk tiap sumber yang dapat menimbulkan gempa. Selain itu metode ini juga mempertimbangkan ketidakpastian parameter, jarak dan intensitas terlampaui pada suatu daerah. Penggunaan *software* SR Model digunakan untuk menganalisa *hazard* gempa. Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah nilai maksimum *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun atau *return period* 500 tahun sesuai dengan peta gempa Indonesia tahun 2002.

Deagregasi Hazard

Deagregasi *hazard* bertujuan untuk menganalisa *magnitude* dan jarak dominan dari sumber gempa ke *site* yang ditinjau. Nilai *R* dan *M* dominan yang diperoleh dari deagregasi *hazard* sangat berguna dalam menentukan *ground motion* percepatan tanah yang dapat digunakan.

Ground Motion Tanah

Berdasarkan nilai *R* dan *M* dominan yang ditentukan, akan diperoleh *ground motion* dari situs *Peer Ground Motion Database*. Selanjutnya, proses *matching* (dengan menggunakan *software* SeismoMatch) diperlukan untuk memperoleh nilai *ground motion* sintetik pada batuan dasar.

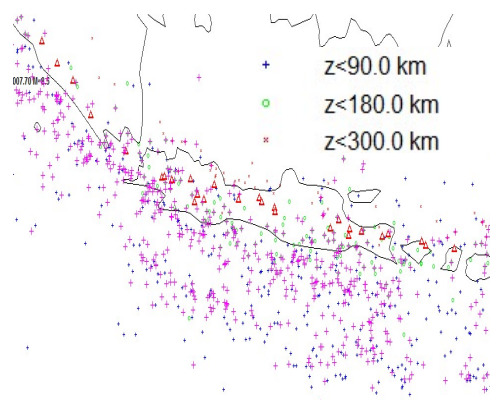
Analisis Respon Dinamik Tanah

Analisis respon dinamik tanah pada penelitian ini adalah secara vertikal dengan menggunakan teori perambatan gelombang satu dimensi (1D). Analisis respon dinamik tanah dilakukan dengan cara memasukkan data *ground motion* sintetik kemudian menghitung parameter tanah dinamik sesuai dengan data *bor log* di lokasi penelitian. Selanjutnya, gelombang gempa dirambatkan dari *bedrock* ke *surface* memakai *software* NERA.

Analisis dan Pembahasan

Proses Declustering Data Gempa

Informasi mengenai data gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya dikumpulkan dari beberapa sumber nasional dan internasional. Data gempa yang terkumpul perlu dilakukan penyeragaman *magnitude* agar data yang ada tidak terdiri dari berbagai jenis *magnitude* sehingga memudahkan pengolahan data. Data gempa yang digunakan dalam analisis hazard, yaitu data gempa utama. Pada Gambar 3 terlihat hasil pemisahan gempa utama dan gempa ikutan (*declustering*) berdasarkan kriteria rentang jarak dan waktu (Gardner & Knopoff, 1974; Erlangga et al, 2022). Proses ini dilakukan dengan *software* ZMPA (Wiemer, 2001).



Gambar 3. Sebaran gempa utama

Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa

Identifikasi sumber gempa didasarkan oleh kondisi seismologi, geofisika dan geologi. Penentuan tingkat *hazard* gempa diperoleh dari data kejadian gempa yang digabungkan dengan metode perhitungan menggunakan pemodelan zona sumber gempa. Gempa yang digunakan pada penelitian ini ialah gempa yang bersumber dari *subduction* (*megathrust* dan *benioff*). Penggunaan pemodelan yang digunakan pada analisis *hazard* gempa wilayah Jawa dan sekitarnya dengan sumber gempa subduksi dengan model tiga dimensi (3D). *Dip subduction zone* (sudut penunjaman) di wilayah Jawa dan sekitarnya

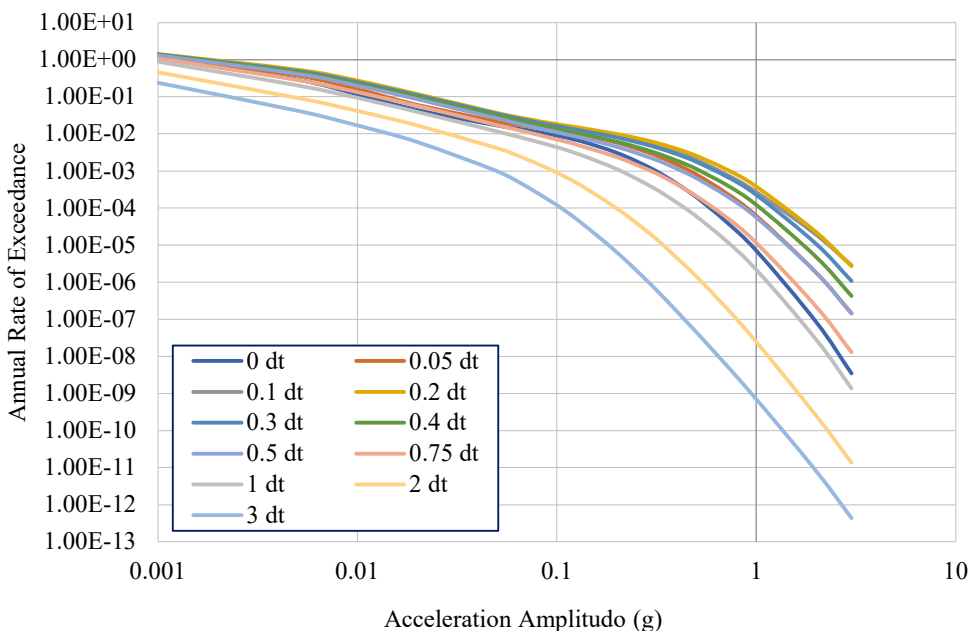
dibutuhkan untuk proses analisis model 3D. Nilai *dip subduction zone* dapat diambil dari hasil potongan melintang distribusi hiposenter atau model tomografi daerah yang ditinjau (Widiyantoro, 2009; Erlangga, 2020).

Karakteristik Sumber Gempa

Karakteristik sumber gempa untuk *subduction zone* didasari oleh keadaan geologi dan seismotektonik daerah yang ditinjau. Parameter yang dicari dari proses karakterisasi dan akan digunakan dalam *seismic hazard analysis* ialah *b-value*, *maximum magnitude* dan *slip rate* (Asurifak, 2020; Erlangga, 2020).

Kurva Seismik Hazard Hasil PSHA

Seismic hazard curve adalah hubungan antara rata-rata kemungkinan terlampaui setiap tahunnya (*annual rate of exceedance*) dan besar percepatannya (*acceleration amplitude*). Besarnya percepatan dalam satuan *g* (gravitasi). Skala logaritma digunakan dalam menggambarkan *seismic hazard* yang terjadi. Gambar 4 memperlihatkan hasil penelitian ini berupa kurva *seismic hazard*, yang menampilkan beberapa periode spektra (*spectral period*).



Gambar 4. Kurva *seismic hazard*

Fungsi Atenuasi

Penelitian ini menggunakan fungsi atenuasi yang mendekati kesesuaian dengan keadaan di Indonesia dan tersedia di SR Model untuk menganalisis *seismic hazard*. Fungsi atenuasi yang cocok digunakan apabila menggunakan sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*), yaitu:

1. Atkinson Boore, (2003)
2. Youngs et al., (1997)

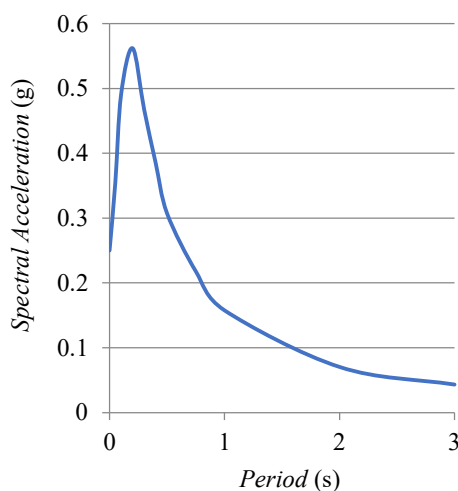
Hasil Analisis Hazard Gempa (PSHA)

Analisis *hazard* gempa dengan metode PSHA disesuaikan dengan SNI 1726-2002 yaitu probabilitas kejadian gempa terlampaui 10% dalam 50 tahun umur bangunan atau setara dengan *return period* 500 tahun. Hasil dari respon spektra *hazard* seragam (*uniform hazard spectral*) dapat dilihat pada Tabel 2.

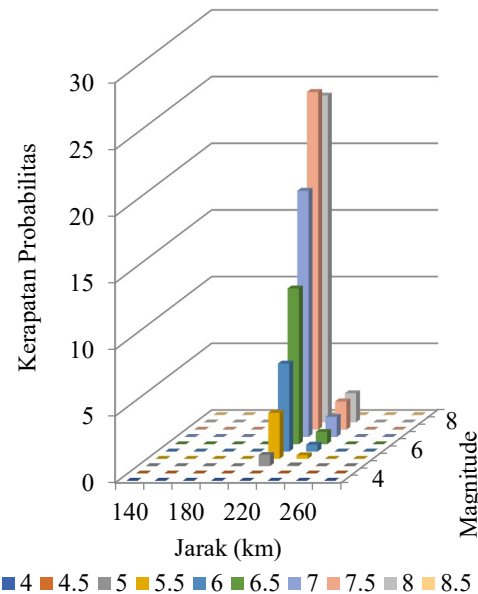
Tabel 2. Respon spektra *hazard* seragam

| Period (s) | Spektra <i>Acceleration</i> (g) |
|------------|---------------------------------|
| 0 | 0,2503 |
| 0,05 | 0,3551 |
| 0,1 | 0,4907 |
| 0,2 | 0,5624 |
| 0,3 | 0,468 |
| 0,4 | 0,3857 |
| 0,5 | 0,3072 |
| 0,75 | 0,2177 |
| 1 | 0,1581 |
| 2 | 0,0703 |
| 3 | 0,0433 |

Hasil analisis menunjukkan hubungan antara waktu dan *spectra acceleration* pada daerah yang ditinjau. Periode 0 detik dikenal dengan istilah PGA (*Peak Ground Acceleration*). Nilai PGA pada batuan dasar di lokasi penelitian dengan probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun diperoleh sebesar 0,2503 g (Gambar 5). Berdasarkan peta gempa Indonesia tahun 2002, percepatan puncak (PGA) di *bedrock* pada daerah Yogyakarta memiliki rentang nilai 0,20 – 0,30g. Hal ini menunjukkan hasil analisis *hazard* sudah sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Gambar 5. Respon spektra *hazard* seragam

Deagregasi *Hazard*

Gambar 6. Hasil deagregasi *hazard*

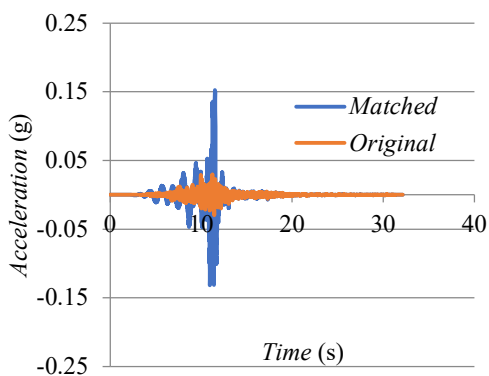
Deagregasi *hazard* bertujuan untuk mengetahui nilai *magnitude* dominan (M) dan jarak dominan (R) dari sumber gempa subduksi. Berdasarkan hasil deagregasi (Gambar 6), jarak dominan (R) yang dapat mempengaruhi lokasi penelitian ialah 216,071 km dengan *magnitude* dominan (M) sebesar 7,0657. Sedangkan untuk sumber gempa dominan yang berpengaruh bersumber dari Jawa Megathrust 2 dengan kontribusi *hazard* 98,5535%.

Rekaman *Ground Motion Tanah*

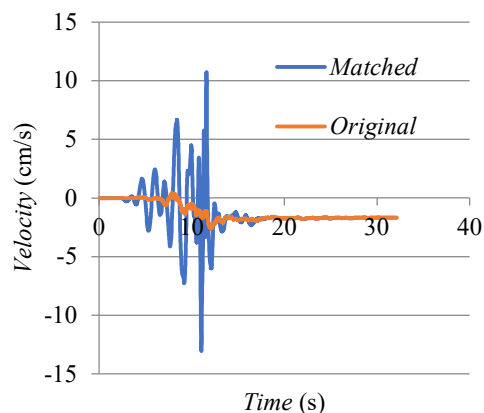
Jarak dominan (R) dan *magnitude* dominan (M) yang didapatkan dari proses deagregasi digunakan sebagai acuan dalam menentukan *ground motion* tanah yang sesuai dengan kondisi dan lokasi penelitian. *Ground motion* yang diambil adalah yang memiliki kedekatan *magnitude* (M) dan jarak (R) terhadap hasil deagregasi dan didapatkan data gempa Hector Mine pada tahun 1999 yang terekam pada stasiun pencatatan gempa LA - Griffith Park Observatory. Gempa ini memiliki *magnitude* 7,13 dengan jarak 185,92 km.

Spectral Matching

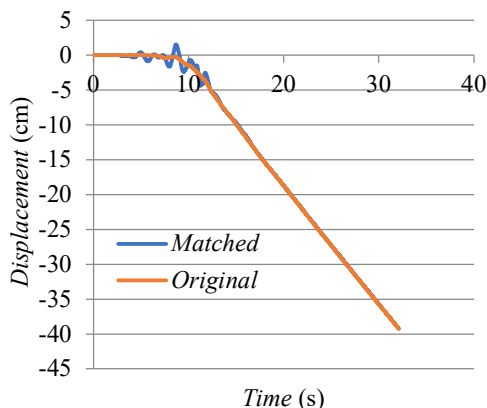
Data gempa Hector Mine mempunyai nilai respon spektra yang berbeda dengan respon spektra dilokasi penelitian. Perlu adanya penyamaan respon spektra (*spectral matching*) agar data *time history* sesuai dengan lokasi penelitian. Hasil analisis dengan *time history acceleration*, *velocity* dan *displacament* dari *bedrock* (Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9). Berdasarkan hasil analisis, percepatan puncak di batuan dasar (*bedrock*) yang dihasilkan meningkat dari 0,0296 g menjadi 0,1527 g yang mana pada peraturan baru didapatkan nilai 0,2447 g (Teguh & Erlangga, 2019). Hasil ini dipengaruhi oleh penyesuaian respon spektra di lokasi penelitian (Gambar 10).



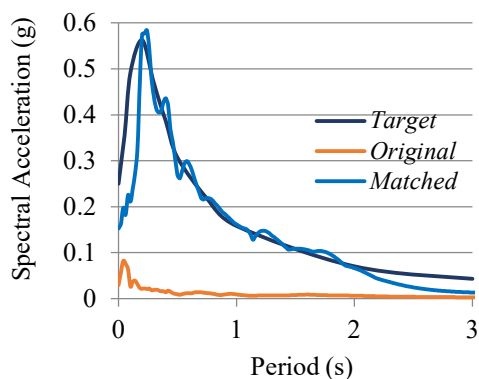
Gambar 7. *Time history acceleration* di *bedrock*



Gambar 8. *Time history velocity* di *bedrock*



Gambar 9. *Time history displacement* di *bedrock*



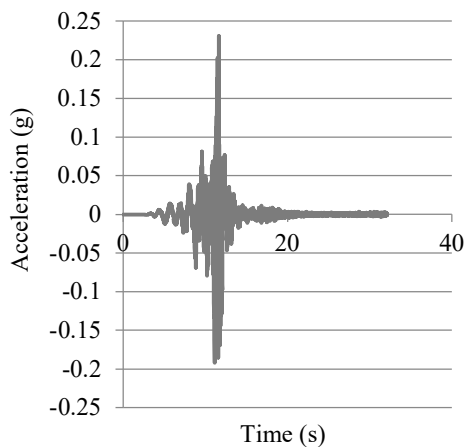
Gambar 10. Respon spektra percepatan

Pada Gambar 10, respon spektra target merupakan respon spektra hasil analisis seismik *hazard* yang disesuaikan dengan lokasi penelitian. Proses *matching* terhadap respon spektra dari gempa Hector Mine dan respon spektra target menghasilkan respon spektra dari *time history* buatan (*artificial time history*).

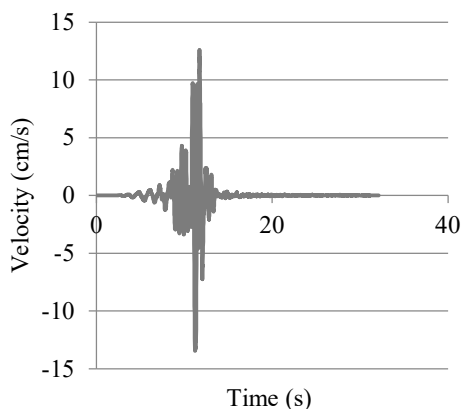
Time History Acceleration di Permukaan

Setiap lapisan tanah memiliki propertis yang berbeda-beda sehingga memiliki pola dan perilaku yang berbeda untuk setiap lokasi dalam merambatkan gelombang gempa. Parameter dinamika tanah diperoleh dari hasil pengujian tanah berupa data *bor log* di lokasi penelitian. Parameter yang digunakan untuk menentukan respon dinamik tanah untuk mengetahui nilai percepatan gempa yang terjadi di permukaan tanah ialah modulus geser maksimum (*Gmax*) dan kecepatan

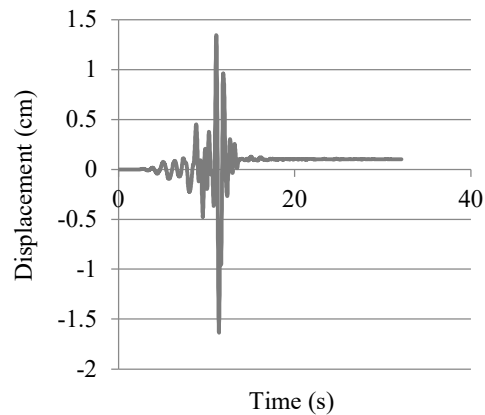
rambat gelombang geser (V_s). Pada penelitian ini analisis parameter dinamik tanah pada setiap lapisan tanah dan proses perambatan gelombang dari *bedrock* ke *surface* dilakukan dengan menggunakan program NERA (*Nonlinear Earthquake site Response Analysis*). Hasil dari perambatan *time history* dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13. Berdasarkan hasil perambatan, terjadi peningkatan nilai percepatan puncak di permukaan tanah (*surface*) yang semula bernilai 0,1527 g meningkat menjadi 0,2306 g. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat faktor pembesaran nilai percepatan *time history* atau faktor amplifikasi (F_a) sebesar 1,51. Nilai percepatan puncak pada peraturan baru jauh lebih besar, yaitu 0,379 g (Teguh & Erlangga, 2019).



Gambar 11. *Time history acceleration* di permukaan tanah



Gambar 12. *Time history velocity* di permukaan tanah



Gambar 13. *Time history displacement* di permukaan tanah

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya, terdapat 5 kesimpulan yang diuraikan berikut ini.

1. Hasil analisis deagregasi *hazard* untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun menghasilkan magnitudo dominan (M) sebesar 7,066 dengan jarak dominan (R) sebesar 216,08 km.
2. Kontribusi terbesar *hazard* bersumber gempa subduksi merupakan gempa yang disebabkan oleh aktivitas Jawa Megatrast 2 dengan *hazard* dominan 98,6735%.
3. Data gempa yang cocok dipakai untuk melakukan analisis *spectral matching* dan dapat di rekomendasikan mewakili *ground motion* sintetik di batuan dasar akibat sumber gempa adalah gempa Hector Mine 1999.
4. Nilai PGA di *bedrock* dalam bentuk *time history acceleration* setelah melakukan proses analisis *spectral matching* adalah 0,1527 g.
5. Nilai PGA di *surface* dalam bentuk *time history acceleration* setelah dirambatkan dari *bedrock* pada lokasi penelitian adalah 0,2306 g.

Daftar pustaka

Aldiamar, F. (2007). Analisa Resiko Gempa dan Pembuatan Respon Spektra Desain untuk Jembatan Suramadu dengan Permodelan Sumber Gempa 3D,

- Program Pascasarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, Bandung.
- Asrurifak, M. (2020). Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilistik. *Disertasi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bock, R. Genrich J. F., McCaffrey, Y., Calais, E., Stevens, C.W., & Subarya, C. (1996). Accretion of the southern Banda arc to the Australian plate margin determined by Global Positioning System measurements, *Tectonics*, 15, 288-295.
- Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y. (2008). NGA Ground Motion Model for Geometric Mean Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linier Elastic Respon Spectra for Periods Ranging from 0.01 s to 10.0 s. Earthquake Spectra. *The Profesional Journal of Pasific Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, Vol. 24 (1). 139-171.
- Cornell, C.A. (1968), Engineering Seismic Risk Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 58, 1583-1606.
- Erlangga, W. (2018). Response Evaluation of Multi-story Building Structures Using FEMA 310 and ATC-40 Based on the Time History of Seismic Hazard Analysis. *MS Thesis*. Department of Civil Engineering, Islamic University of Indonesia. Yogyakarta.
- Erlangga, W. (2020). Karakteristik dan Parameter Subduksi Sumber Gempa Pulau Jawa. *Teknisia*, Vol 25 (2). 88-98.
- Erlangga, W., Makrup, L., & Musthofa, M. (2022). Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Berdasarkan Percepatan Gempa yang dihitung Secara Probabilistik. *Teknisia*. Vol 27 (1). 34-35.
- Erlangga, W., Teguh, M., & Makrup. L. (2020). The analysis of performance level on an existing multi-story building structure using the time history based on the subduction earthquake source. *4th International Conference on Earthquake Engineering & Disaster Mitigation (ICEEDM 2019)*. *E3S Web of Conferences*. Vol 156. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015605011>.
- Erlangga, W., Teguh, M., & Saputro, I.T., (2020). Development of Time Histories Based on Shallow Crustal Earthquake Sources Considering the New Version of the Indonesian Earthquake Map. *International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials*. Springer Nature Singapore. 483-496.
- Erlangga, W., Teguh, M., Mushthofa, M., Saputro, I.T., & Setiadi, G., (2022). Sebaran Gempa Utama berdasarkan magnitude dan kedalaman di wilayah Mamuju dan Sekitarnya. *Teknisia*, Vol 27 (2). 122-131.
- Fauzi, U. J. (2011). Peta Deagregasi Indonesia Berdasarkan Analisis Probabilitas Dengan Sumber Gempa Tiga Dimensi. *Tesis*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Gardner, J. K. & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bulletin of the Seismological Society of America* 64 (1). 363-367.
- Irsyam, M., Sengara I.W., Adiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., & Ridwan, M. (2010). Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. Bandung.
- Mahesworo, R. P. (2008). Usulan Ground Motion Untuk Empat Kota Besar Di Wilayah Sumatera Berdasarkan Hasil Analisis Seismic Hazard Menggunakan Model Sumber Gempa 3 Dimensi, *Tesis*, Institut Teknologi Bandung.
- Makrup, L. (2009). Pengembangan Peta Deagregasi Hazard untuk Indonesia

- Melalui Pembuatan Software dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi. *Disertasi*. Institut Teknologi Bandung. Indonesia.
- McGuire, R. K. (1976), FORTRAN computer program for seismic risk analysis. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 76-67.
- Milson, J., Masson D., Nichols G., Sikumbang N., Dwiyanto B., Parson L., & Kallagher H. (1992). The Manokwari Trough and The Western End of The New Guinea Trench, *Tectonics*, 11, 145-153.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- SNI 1726-2002. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Bandung
- Sulistiyanto, I. G. (2009), Geografi 1 : untuk Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah Kelas X. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Teguh, M. & Erlangga,W. (2019). Comparison of Bedrock and Surface Time Histories Subjected to Subduction Earthquake in a Selected Location of Yogyakarta, *Journal of GEOMATE*. Vol 17 (63). 77-86.
- Widiyantoro, S. (2009). Seismicity and Structure of Lithospheric Slab Beneath The Sunda Arc, Indonesia. *SE Asian Gateway Evolution International Conference*. Royal Holloway University of London. 2009.
- Widodo. (2012), Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, 373–382.