



SEISMIC HAZARD WILAYAH KOTA SORONG PAPUA BARAT DAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE PSHA SEISMIC HAZARD OF SORONG CITY AREA IN SOUTHWEST PAPUA USING THE PSHA METHOD

Indah Permatasari^{1*}, Widodo Pawirodikromo², dan Adityawan Sigit³

¹Manajemen Rekayasa Kegempaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

**²Profesor Manajemen Rekayasa Kegempaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam
Indonesia**

³Departemen Teknik Sipil Dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah rawan gempa bumi dikarenakan Indonesia menempati tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil. Lempeng tersebut saling bertemu dan membentuk jalur-jalur pertemuan yang kompleks. Interaksi antar lempeng tersebut membuat Indonesia sebagai wilayah rawan gempa bumi. Kota Sorong adalah salah satu kota di Provinsi Papua Barat Daya. Dimana daerah ini terdapat sesar Sorong yang merupakan retakan besar dalam kerak bumi dan selama 40 juta tahun telah melepaskan potongan daratan yang luas dari Papua sebelah utara dan pulau-pulau yang terbentuk karena adanya sesar ini, sesar Sorong bergeser kearah barat melintasi lautan dan menuju kearah Sulawesi. Banyak sesar aktif lainnya yang berpotensi menimbulkan gempa di Pulau Papua, seperti halnya Sesar Koor yang membentang dari Raja Ampat sampai Sorong. Sedangkan batas lempeng tektonik di utara Papua membentuk sesar geser yang terjadi di bagian utara yaitu Sesar Sorong-Yapen. Pada September 2016, terjadi gempa bumi dengan skala magnitudo sebesar 6,8 SR (Skala Richter) dengan kedalaman 10 meter dari permukaan laut dan berjarak 31 km arah timur laut kota Sorong. Gempa ini tergolong gempa besar yang dapat merusak struktur bangunan pada umumnya. Laporan menyebutkan bahwa terdapat sebanyak 62 orang terluka dan 257 rumah rusak. *Seismic hazard analysis* bertujuan untuk menentukan suatu batas intensitas gempa tertentu yang berlaku di daerah kajian berdasarkan suatu nilai kemungkinan yang akan terjadi atau terlampaui pada suatu periode tertentu. Metode yang digunakan untuk menentukan batas tersebut adalah Metode Probabilistik – *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan *ground motion* (gerakan tanah) dipermukaan. Parameter pergerakan tanah yang diperlukan untuk perencanaan infrastruktur tahan gempa adalah percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*/PGA) di batuan dasar dan Deagregasi Hazard.

Kata Kunci: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Ground Motion, Uniform Hazard Spectrum (UHS), Deagregasi Hazard, Spectral Matching.*

Abstract

Indonesia is recognized as a seismically active and earthquake-prone region due to its geographical location at the convergence of three major tectonic plates and nine minor plates. The interactions among these plates create complex tectonic boundaries that significantly influence seismic activity across the archipelago. The continuous movement and interaction of these plates render Indonesia one of the most seismically vulnerable regions in the world. Sorong City, located in Southwest Papua Province, is among the regions with a high potential for seismic activity. This area is traversed by the Sorong Fault, a major geological fracture within the Earth's crust. Over the past 40 million years, this fault has displaced large segments of land from northern Papua, contributing to the formation of several surrounding islands. The Sorong Fault continues to shift westward across the ocean toward Sulawesi. In addition to the Sorong Fault, several other active faults are present in Papua that have the potential to generate significant earthquakes, such as the Koor Fault, which extends from Raja Ampat to Sorong. Furthermore, the tectonic plate boundary in northern Papua forms a strike-slip fault known as the Sorong-Yapen Fault. In September 2016, an earthquake measuring 6.8 on the Richter scale occurred at a depth of approximately 10 meters below sea level, about 31 kilometers northeast of Sorong City. This earthquake was classified as a major event capable of causing substantial structural damage. Reports documented 62 individuals injured and 257 houses damaged as a result of the earthquake. *Seismic hazard analysis* aims to determine the threshold of earthquake intensity applicable to a specific region, based on the probability of occurrence or exceedance within a defined time period. The method used in this study is the *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). The seismic load acting on structural components can be assessed by calculating ground motion at the surface. The ground motion parameters required for earthquake-resistant infrastructure design include the *Peak Ground Acceleration* (PGA) on bedrock and Hazard Deaggregation.

Keywords: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Ground Motion, Uniform Hazard Spectrum (UHS), Hazard Deaggregation, Spectral Matching*

(*)Corresponding author

Telp :

E-mail :

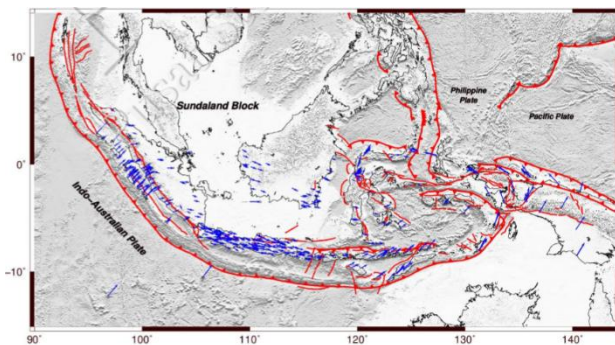
<http://doi.org/10.33506/rb.v11i02.4977>

Received 20Oktober2025; Accepted 30Oktober2025; Available online 31Oktober2025

E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk wilayah rawan gempa bumi karena posisi geografisnya menempati tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya yang saling bertemu dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Sehingga interaksi antar lempeng-lempeng ini membuat Indonesia sebagai wilayah rawan gempa bumi. Penelitian lanjutan menggunakan informasi geodetic, geologis dan seismologis menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat dibagi kedalam beberapa lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timor, Kepala Burung, Maoke dan Woodlark (PuSGeN, 2017).



Gambar 1. Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari data geodetik hingga tahun 2016 (PuSGeN, 2017)

Papua dan Papua Barat terletak di paling timur wilayah Indonesia. Struktur tatanan lempeng tektonik Papua dan Papua Barat terletak pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng pasifik yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia, dimana lempeng Hindia-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia disebelah barat Papua dan Papua Barat.

Kota Sorong merupakan salah satu kota di Provinsi Papua Barat. Di daerah ini terdapat sesar Sorong yang merupakan retakan besar dalam kerak bumi dan selama 40 juta tahun telah melepaskan potongan daratan yang luas dari Papua sebelah utara dan pulau-pulau yang terbentuk karena adanya sesar ini, sesar Sorong bergeser ke arah barat melintasi lautan dan menuju ke arah Sulawesi (Sina, 2002). Selain Sesar Sorong, masih banyak sesar aktif lainnya yang berpotensi menimbulkan gempa di Pulau Papua, seperti halnya Sesar Koor yang membentang dari Raja Ampat sampai ke Sorong. Sedangkan batas lempeng tektonik di utara Papua membentuk sesar geser yang terjadi di bagian utara yaitu Sesar Sorong-Yapen.

Gempa yang terjadi pada suatu lokasi diakibatkan oleh adanya pelepasan energi dari pusat gempa, yang kemudian merambat hingga ke lokasi gempa. Besarnya energi yang sampai ke lokasi akan

mempengaruhi besarnya gempa yang terjadi. Analisis pengaruh pelepasan energi dari pusat gempa terhadap lokasi tertentu dikenal dengan *seismic hazard analysis*. *Seismic hazard analysis* akan menghasilkan parameter-parameter gerakan tanah yang berguna bagi *earthquake engineering*, dalam hal ini yaitu desain struktur (Sina, 2002). *Seismic hazard analysis* bertujuan untuk menentukan suatu batas intensitas gempa tertentu yang berlaku di daerah kajian berdasarkan suatu nilai kemungkinan yang akan terjadi atau terlampaui pada suatu periode tertentu. Metode yang digunakan untuk menentukan batas tersebut adalah Metode Probabilistik atau *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (Hutapea & Mangape, 2009). Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan *ground motion* (gerakan tanah) dipermukaan. Parameter pergerakan tanah yang diperlukan untuk perencanaan infrastruktur tahan gempa adalah percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration* (PGA)), respons spektra dan riwayat waktu percepatan gempa (*Acceleration Time History*/TH).

Pada tahun 2018, telah dilakukan penelitian dengan judul Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua yang bertujuan untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua dengan menggunakan metode Analisis Bahaya Seismik Probabilistik (PSHA). Dengan hasil dari penelitian tersebut yaitu pergerakan tanah di Pulau Papua berkisar antara 0,06g hingga 2,01g. Namun, pada penelitian tersebut hanya menggunakan rekaman sejarah kejadian gempa hingga tahun 2012 dan meliputi keseluruhan wilayah papua serta Papua New Guenea.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “*Seismic Hazard Wilayah Kota Sorong Papua Barat Daya Dengan Menggunakan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)”.

TINJAUAN PUSTAKA

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) merupakan metode yang digunakan dalam penentuan tingkat ancaman gempa. Serta kejadian gempa bumi yang tidak dapat ditentukan dengan pasti baik itu lokasi kejadian, waktu kejadian dan besaran energi.

Metode PSHA merupakan perpaduan aspek seismisitas yang memperhitungkan serta menggabungkan ketidakpastian dari lokasi, skala kejadian gempa dan frekuensi kejadian untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai

tingkat *hazard* lokasi yang ditinjau dengan metode penentuan gempa bumi berdasarkan data kejadian gempa dan informasi geologi pada zona patahan yang ada. Analisis tingkat kerawanan seismik sangat diperlukan dalam melakukan perkiraan gerakan tanah untuk potensi gempa bumi yang paling mungkin terjadi secara global disuatu daerah. Masukan dasar pada analisis berupa data seismisitas, tektonik, informasi kondisi geologi disuatu wilayah dengan memperhatikan karakteristik atenuasi parameter pergerakan.

Metode probabilistik adalah metode penentuan gempa bumi yang memadukan aspek seismisitas berdasarkan data kejadian gempa dan informasi geologi pada zona patahan tertentu. Metode deterministik adalah penilaian bahaya gempa bumi dengan menggunakan skenario gempa bumi pada lokasi dan magnitudo tertentu. Kedua metode ini dipergunakan untuk memperkirakan *ground motion* dari persamaan hubungan atenuasi secara empiris, yang dinyatakan dengan magnitudo gempabumi, jarak ke tempat tertentu, kondisi tempat yang berkaitan dengan kondisi tanah dan geologi.

Metode probabilistik (PSHA) memberikan pertimbangan magnitudo gempa bumi yang berbeda dengan distribusi ruang yang tepat sekitar tempat yang dipilih dan tidak hanya sebuah gempa bumi tunggal. PSHA memperhitungkan efek-efek seismisitas total yang diharapkan atas periode umur yang ditetapkan, sifat acak kejadian gempa bumi, dan atenuasi gelombang seismik dengan jarak. Analisis bahaya gempa (*seismic hazard analysis*) bertujuan untuk memperoleh estimasi kuantitatif dari guncangan tanah (*ground shaking*) pada suatu wilayah tertentu. Metode PSHA dikembangkan oleh (C.A. Cornell, 1968), kemudian (Steven L. Kramer, 1996) melakukan analisis *seismic hazard* dengan menggunakan teori probabilitas total. Dalam beberapa penelitian tersebut hanya ketidakpastian dari parameter saja yang diukur. Bentuk umum teori probabilitas total dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut.

$$P[Y \geq \dot{y}] = \iint P(Y \geq \dot{y} | m, r) f_M(m) \cdot f_R(r) \cdot dm \cdot dr \quad (1)$$

Dengan,

$P[Y \geq \dot{y} | m, r]$ = probabilitas berkondisi dari karakteristik gempa Y yang lebih besar dari karakteristik gempa \dot{y} di suatu lokasi untuk kejadian gempa dengan kekuatan gempa (M) dan jarak sumber (R).

f_M = fungsi probabilitas dari magnitudo,

f_R = fungsi probabilitas dari jarak hiposenter,

Hasil perhitungannya ditampilkan dalam bentuk kurva bahaya kegempaan ini yang kemudian digunakan untuk menghitung probabilitas suatu

parameter getaran terjadi selama periode waktu tertentu.

Fungsi Atenuasi

Didalam penilaian bahaya kegempaan ditampilkan dalam dua bentuk yaitu secara deterministik atau dengan mengambil skenario nilai gempa tertentu dan secara probabilistik atau mengambil semua kemungkinan gempa keberulangan dengan secara khusus. Kedua pendekatan ini memerlukan model atenuasi gerakan penggunaannya. Fungsi persamaan dalam atenuasi matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitudo (M) dan jarak (R)) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) di lokasi yang ditinjau. Fungsi atenuasi cenderung spesifik untuk setiap wilayah dan untuk suatu tipe patahan, misalnya atenuasi untuk *strike-slip* berbeda dengan untuk *reverse* atau *thrust fault* (Sunardi, 2013). Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang didapatkan dari hasil pencatatan alat *accelerograph* saat kejadian. Penurunan semua model atenuasi didasarkan pada analisis statistik dan gerakan tanah terekam. Model atenuasi yang telah didapat dari penurunan ini dapat di update ketika data rekaman gerakan tanah terbaru telah tersedia. Bentuk updating beberapa fungsi atenuasi yang ada dapat dilihat dengan munculnya model atenuasi yang baru misalnya tahun 2006/2007 dalam kelompok *Next Generation Attenuation* (NGA).

Meski saat ini banyak persamaan atenuasi yang dihasilkan, namun Indonesia belum memiliki data *ground motion* yang cukup untuk pembuatan fungsi atenuasi. Oleh karena itulah, pemakaian fungsi atenuasi dapat diturunkan dari negara lain dan juga tidak dapat dihindarkan. Pemilihan fungsi atenuasi berdasarkan pada kesamaan kondisi tektonik dan geologi dari wilayah dimana rumus atenuasi itu dibuat. Dalam dua dekade terakhir banyak persamaan atenuasi yang dihasilkan, namun hingga saat ini belum ada persamaan atenuasi yang dibuat berdasarkan data gempa yang terjadi di Indonesia sehingga persamaan atenuasi yang digunakan di Indonesia masih mengacu pada data gempa yang terjadi di negara lain. Persamaan atenuasi yang digunakan harus sesuai dengan mekanisme sumber gempa yang ditinjau. Dalam hal ini fungsi atenuasi yang dipilih adalah fungsi atenuasi Young et al., 1997 dan Atkinson Boore, 2003 pada sumber gempa subduksi, serta fungsi atenuasi Sadigh et al., 1997, Atkinson Boore, 2006 dan Chiou Youngs, 2008 pada sumber gempa shallow crustal.

Spektra hazard seragam (*Uniform Hazard Spectrum*)

Untuk mencari spektra hazard seragam dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan program SR Model. Program SR Model ini dapat menganalisis tingkat risiko gempa dengan model 3D, yaitu dengan mempertimbangkan ketidakpastian penggunaan beberapa parameter input atau metode probabilistik. Ketidakpastian (*uncertainty*) ini terbagi menjadi 2 jenis yaitu *aleatory uncertainty* dan *epistemic uncertainty*. Ketidakpastian *epistemic* dapat diatasi dengan menerapkan model *logic tree* dalam analisis metode PSHA (Pawirodikromo et al., 2019). Bila nilai SA di setiap periode T telah diperoleh maka hasilnya akan tersaji dalam bentuk UHS, setiap nilai *Spectral Acceleration* (SA) dalam grafik UHS yang merupakan konstribusi dari kemungkinan jenis sumber, jarak gempa dan magnitude (Pawirodikromo et al., 2020).

Deagregasi hazard

Perhitungan PSHA mempunyai dasar yaitu menghitung ancaman gempa berdasarkan pada kumpulan hasil dari semua kejadian gempa dan gerakan tanah yang mungkin dapat terjadi dimasa yang akan datang. Sedangkan analisis dengan kemungkinan magnitude dan jarak dari site ke sumber gempa yang mana akan memberikan hazard terbesar pada site tidak terlihat jelas dalam PSHA. Tingkat ancaman gempa yang direpresentasikan dalam nilai percepatan dapat ditentukan dengan analisis metode PSHA. Memberi informasi tentang magnitude (M) dan jarak (R) yang memiliki pengaruh dominan terhadap lokasi tinjauan belum dapat ditentukan dalam desain gempa, dalam kondisi seperti ini dirasa PSHA menjadi kurang lengkap.

PSHA memiliki keuntungan dari berbagai asumsi tentang sumber gempa potensial dan keberulangan gempa diintegrasikan menjadi satu dengan tiap-tiap asumsi memiliki kesempatan relatif untuk berpartisipasi dalam analisis. Diperlukan juga untuk selalu dapat menyediakan gempa desain dengan tujuan membuat keputusan dalam memilih *time history* yang tepat untuk analisis yang didasarkan pada spektra hazard seragam di sisi lain, kemudian menghitung parameter yang berupa durasi gerak dan lain-lain.

Kelemahan dari metode ini adalah ketidakmampuan membuat gerakan tanah untuk analisis gempa lanjutan seperti stabilitas lereng, interaksi tanah bangunan, dan likuifaksi yang dapat menggambarkan satu kejadian gempa. Oleh sebab itu, gempa tidak akan terjadi dalam satu kejadian gempa atau dengan sebuah magnitude dan jarak tertentu dengan satu respon spektra. Respon spektra

yang dihasilkan dari PSHA yang menunjukkan bahwa struktur pada suatu lokasi akan menerima berbagai gempa dari berbagai sumber dengan berbagai magnitude dan jarak secara simultan menghasilkan respon spektra dan hal ini tidak mungkin terjadi dinyatakan.

Efek Jenis Tanah terhadap PGA (*Peak Ground Acceleration*)

Para Peneliti memperhatikan bahwa kondisi atau jenis tanah telah dipengaruhi oleh percepatan tanah akibat gempa, tapi juga dari jenis tanah maka jarak situs atau site terhadap sumber gempa juga bisa berpengaruh baik terhadap kandungan frekuensi, respons tanah, disipasi energi dan durasi efektif gempa.

METODE

Dalam penentuan nilai-nilai parameter seismik dibutuhkan data rekaman kejadian gempa. Dari data kejadian gempa yang dikumpulkan dalam penelitian ini diperoleh dari USGS (*United States of Geological Surveys*) dengan rentang waktu pengambilan dari tahun 1960 sampai dengan Desember 2023. Data yang diperoleh dari USGS memiliki skala magnitude bervariasi. Dari *magnitude surface*, *magnitude body*, atau *magnitude lokal*. Oleh karena itu, digunakan analisis yang mengkonversi beberapa skala magnitude menjadi satu skala *magnitude* yaitu *magnitude momen* (Mw) dikarenakan lebih konsisten menggunakan persamaan empirik.

Pengumpulan dan Pengolahan Data Gempa

Setelah dikonversikan menjadi *magnitude momen* (Mw), masih ada pengolahan data gempa lebih lanjut yaitu memisahkan data gempa utama dan susulan dengan menggunakan bantuan program ZMAP yang dijalankan dalam program Matlab. Memasukkan data gempa susulan pada analisis PSHA akan menyebabkan peningkatan nilai *seismic hazard*.

Pemodelan Sumber Gempa

Ada 2 jenis sumber gempa yang akan dimodelkan dalam penelitian ini yaitu sumber gempa subduksi dan sumber gempa *fault*/patahan. Model sumber gempa dibutuhkan untuk mendapatkan hubungan antara data kejadian gempa dan model hitungan yang akan digunakan dalam analisis PSHA untuk menentukan tingkat risiko gempa (Sunardi, 2013) Model sumber gempa memberikan gambaran frekuensi kejadian gempa, distribusi kejadian gempa dan pergeseran relatif sumber gempa (*slip-rate*) di suatu sumber gempa.

Penentuan Parameter Sumber Gempa

Parameter sumber gempa adalah representasi dari karakteristik sumber gempa yang didapat dari analisis data frekuensi kejadian gempa (Sunardi, 2013). Parameter-parameter sumber gempa yang diperlukan dalam analisis PSHA meliputi magnitude maksimum, *slip rate*, nilai a dan nilai b , serta $rate$.

Penentuan Uniform Hazard Spectrum (UHS)

Penentuan UHS (*Uniform Hazard Spectrum*) yang berupa nilai percepatan pada penelitian ini menggunakan bantuan program SR-Model. Fungsi dari program ini adalah menganalisis tingkat risiko gempa model 3D dengan metode probabilistik serta mempertimbangkan ketidakpastian penggunaan dengan beberapa parameter input. Ketidakpastian (*uncertainty*) dapat dibagi 2 jenis yaitu *aleatory uncertainty* dan *epistemic uncertainty*. Pada analisis ini menggunakan metode PSHA, ketidakpastian epistemic dapat diatasi dengan menerapkan model *logic tree*.

Analisis Deagregasi Hazard

Hasil dari analisis PSHA adalah mendapatkan tingkat ancaman gempa pada titik tertentu yang direpresentasikan dalam bentuk nilai percepatan, untuk mengetahui kontribusi sumber gempa terbesar dari suatu titik ke lokasi sumber gempa dan begitu juga untuk magnitude serta jarak dominan belum diketahui. Sedangkan untuk menyediakan gempa desain dalam bentuk *time history* diperlukan data, salah satu diantaranya yaitu magnitude dominan dan jarak dominan. Oleh karena itu dilakukan analisis *deagregasi hazard* untuk mengetahui jarak dan magnitude dominan. Dalam penelitian ini, analisis *deagregasi* dilakukan dengan menggunakan bantuan program SR Model.

Spektrum Respons

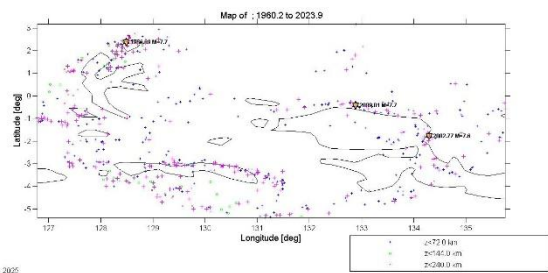
Suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur T atau dapat disebut dengan Respon Spektrum, yang dengan beberapa respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Beberapa respon maksimum tersebut dapat berupa simpangan maksimum atau dapat disebut *spectral displacement* (SD), kecepatan maksimum atau dapat disebut *spectral velocity* (SV) dan percepatan maksimum atau dapat juga disebut *spectral acceleration* (SA) pada suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal/SDOF (*Single Degree of Freedom*). Terdapat dua macam respons spektrum yaitu respons spektrum elastik dan respons spektrum inelastik. Respon spektrum elastik merupakan suatu respons spektrum yang didasarkan atas respon elastik suatu struktur dengan SDOF,

berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Sedangkan respon spektrum inelastik (desain respons spektrum) merupakan spektrum yang diturunkan dari spektrum elastik dengan tingkat daktilitas tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan dan Pengolahan Data Gempa

Batas administrasi pengambilan data gempa berada pada longitude 131.2883° dan latitude -0.8819° dengan radius 500km. Berdasarkan data dari USGS diperoleh data kejadian yang tercatat dari tahun 1960 – 2023 dengan magnitude \leq (lebih dari atau sama dengan 5) dan kedalaman < 300 km sebanyak kejadian gempa di daerah penelitian. Setelah pengumpulan data selesai, dilanjutkan dengan pengolahan data gempa yang diawali dengan mengkonversi menjadi satu skala magnitude yaitu *magnitude momen* (M_w). Setelah proses konversi selesai dilanjutkan dengan memisahkan data gempa utama dan ikutan. Dari hasil analisis menggunakan program ZMAP yang dijalankan dalam program Matlab, diperoleh hasil dari proses *declustering* berupa gempa-gempa utama atau gempa yang independen (*mainshock*) yang berjumlah 728 kejadian (*event*) dari 1262 kejadian (*event*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Analisis Pemisahan Gempa Utama (*mainshock*) Terhadap Gempa Ikutan (*foreshock*)

Pemodelan Sumber Gempa

Penentuan model sumber gempa dapat dilakukan dengan melakukan interpretasi terhadap kondisi seismoteknik, geologi, dan geofisika berdasarkan data kejadian gempa.

Tabel 1. Parameter Sumber Gempa Subduksi Wilayah RSIA Indiraya

| Subduksi | Segmen | b | β | a | α | v |
|------------|------------------|------|---------|------|----------|-------|
| Megathrust | Philippine | 1,55 | 3,570 | 8,6 | 19,81 | 7,079 |
| | Sorong-Manokwari | 1,34 | 3,086 | 7,33 | 16,88 | 4,266 |
| Benioff | Philippine | 1,24 | 2,856 | 6,45 | 14,85 | 1,778 |
| | Sorong-Manokwari | 1,51 | 3,478 | 8,15 | 18,77 | 3,981 |

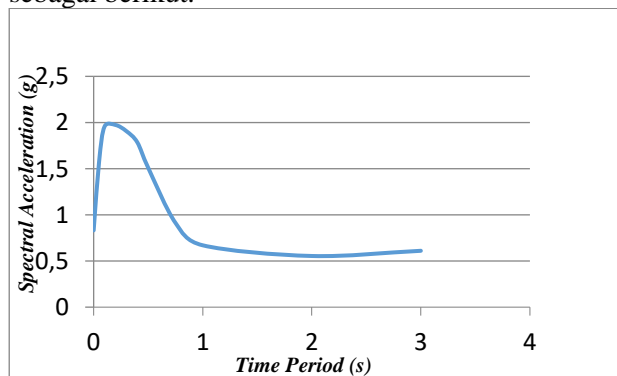
Tabel 2. Penentuan Parameter Sumber Gempa Sesar/Fault Wilayah RSIA Indiraya

| No. | Segmen | | Slip Rate | Dip | Top | Bottom | β | α | Rate (v) |
|-----|-------------------|----------------------------|-----------|------|-----|--------|---------|----------|----------|
| 1 | North Sula | North Sula | 20 | 45S | 3 | 18 | 2,303 | 12,019 | 1,656 |
| 2 | Sula Fault | 3 Mangole | 15 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 11,524 | 1,009 |
| 3 | Sorong Fault | 1 Obi | 10 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 11,119 | 0,673 |
| 4 | Sorong Fault | 2 Obi-Kofiaiu | 10 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 11,036 | 0,619 |
| 5 | Sorong Fault | 3 North Kofiaiu | 12,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 11,176 | 0,713 |
| 6 | Sorong Fault | 4 South Halmahera | 15 | 60 | 3 | 18 | 2,303 | 11,649 | 1,143 |
| 7 | Sorong Fault | 5 West Salawati | 12,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,928 | 0,556 |
| 8 | Sorong Fault | 6 Sagewin | 12,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 11,176 | 0,713 |
| 9 | Sorong Fault | 7 Dampier | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,218 | 0,274 |
| 10 | Sorong Fault | 8 Mega-Omnowari | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,467 | 0,351 |
| 11 | Sorong Fault | 9 Klararea | 1,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 9,097 | 0,089 |
| 12 | Sorong Fault | 10 Anita | 1,5 | 45NE | 3 | 18 | 2,303 | 8,848 | 0,070 |
| 13 | Sorong Fault | 11 Warjori | 5 | 45SW | 3 | 18 | 2,303 | 10,218 | 0,274 |
| 14 | Sorong Fault | 12 Meuni | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,053 | 0,232 |
| 15 | Sorong Fault | 13 Meuni Thrust | 5 | 45SW | 3 | 18 | 2,303 | 10,053 | 0,232 |
| 16 | Manokwari Thrust | West Segmen (North Waigeo) | 10 | 70SW | 3 | 18 | 2,303 | 11,119 | 0,673 |
| 17 | Manokwari Thrust | Central-East Segmen | 10 | 60SW | 3 | 18 | 2,303 | 11,285 | 0,794 |
| 18 | Koor Fault | 1 Dampier | 1 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 8,484 | 0,048 |
| 19 | Koor Fault | 2 Koor | 3,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 9,986 | 0,217 |
| 20 | Teminabuan Thrust | 1 South | 0,1 | 45NE | 3 | 18 | 2,303 | 6,057 | 0,004 |
| 21 | Teminabuan Thrust | 2 Central | 0,1 | 45NE | 3 | 18 | 2,303 | 6,057 | 0,004 |
| 22 | Teminabuan Thrust | 3 North | 0,1 | 45NE | 3 | 18 | 2,303 | 6,057 | 0,004 |
| 23 | Seram FTB | 1 West | 15 | 45SW | 3 | 18 | 2,303 | 11,773 | 1,294 |
| 24 | Seram FTB | 2 | 10 | 60SW | 3 | 18 | 2,303 | 11,036 | 0,619 |
| 25 | Seram Strike Slip | East Gorom | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,426 | 0,336 |
| 26 | Seram Strike Slip | West Gorom | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,094 | 0,242 |
| 27 | Seram Strike Slip | North Hote | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,301 | 0,297 |
| 28 | Seram Strike Slip | East Bula | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,218 | 0,274 |
| 29 | Seram Strike Slip | North Kobi | 1 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 8,484 | 0,048 |
| 30 | Seram Strike Slip | North Wahai | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,343 | 0,310 |
| 31 | Ransiki | | 5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,260 | 0,285 |

| No. | Segmen | | Slip Rate | Dip | Top | Bottom | β | α | Rate (v) |
|-----|------------------|---------------------|-----------|------|-----|--------|---------|----------|----------|
| 32 | Wandamen | 4 Kaimana | 2,5 | 75NE | 3 | 18 | 2,303 | 9,484 | 0,131 |
| 33 | Wandamen | 3 Rumberpon-Kaimana | 5 | 75NE | 3 | 18 | 2,303 | 10,094 | 0,242 |
| 34 | Wandamen | 2 Rumberpon | 2,5 | 75W | 3 | 18 | 2,303 | 9,235 | 0,102 |
| 35 | Wandamen | Fau (East Kaimana) | 1 | 80SE | 3 | 18 | 2,303 | 8,360 | 0,043 |
| 36 | Wandamen | Triton South | 1 | 80NW | 3 | 18 | 2,303 | 8,526 | 0,050 |
| 37 | Wandamen | Triton North | 1 | 80SE | 3 | 18 | 2,303 | 8,401 | 0,044 |
| 38 | Wandamen | 1 Wandamen | 5 | 60W | 3 | 18 | 2,303 | 10,135 | 0,252 |
| 39 | Tarera- Aiduna | 1 North | 7,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,790 | 0,484 |
| 40 | Tarera- Aiduna | 2 Central | 7,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,914 | 0,548 |
| 41 | Tarera- Aiduna | 3 South | 7,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 10,707 | 0,446 |
| 42 | Aru Trough | 1 West Aru | 5 | 75E | 3 | 18 | 2,303 | 10,301 | 0,297 |
| 43 | Aru Trough | Central North | 3,5 | 75E | 3 | 18 | 2,303 | 9,530 | 0,137 |
| 44 | Sorendiro | | 0,5 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 7,625 | 0,020 |
| 45 | Yapen Fault | Ransiki-Num | 35 | 90 | 3 | 18 | 2,303 | 12,330 | 2,260 |
| 46 | Dampier | Dampier | 0,5 | 35 | 3 | 18 | 2,303 | 7,998 | 0,030 |
| 47 | Tanimbar-Kai FTB | 1 | 2,5 | 45N | 3 | 18 | 2,303 | 9,815 | 0,183 |

Penentuan UHS (*Uniform Hazard Spectrum*)

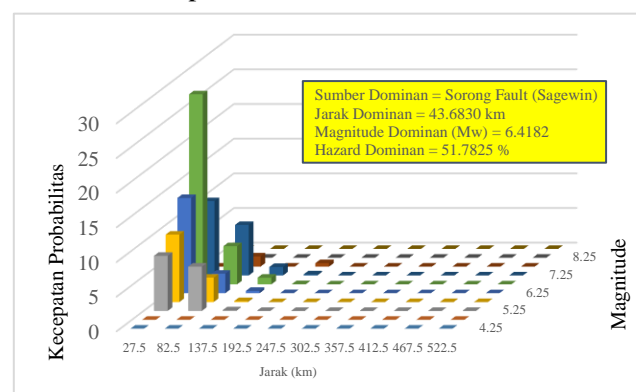
Setelah karakteristik masing-masing sumber gempa diketahui, data yang sudah jadi dapat diinput ke dalam program SR Model untuk menentukan UHS. Tingkat bahaya gempa suatu wilayah direpresentasikan dalam bentuk nilai percepatan. Penentuan nilai percepatan pada penelitian ini menggunakan metode probabilistik dengan menggunakan bantuan SR Model. Output analisis percepatan UHS di titik tertentu yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan *ground motion syntetic*. Titik lokasi yang digunakan dalam menentukan UHS berada pada koordinat Longitude 131.2883° dan Latitude -0.8819°. Hasil dari UHS dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Respon Spectra Hazard Seragam Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun

Deagregasi hazard

Hasil analisis deagregasi dijadikan sebagai penentu dalam pemilihan kesesuaian *ground motion* pada lokasi tinjauan. Magnitude dominan dan jarak dominan yang telah teridentifikasi akan dimanfaatkan dalam pemilihan rekaman gempa. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh *controlling earthquake* atau gempa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap bahaya gempa pada suatu daerah. Berikut adalah hasil *deagregasi hazard* daerah penelitian.



Gambar 4. Hasil Degradasi Hazard Daerah Penelitian

Gambar 4 diatas merupakan hasil *deagregasi hazard* daerah penelitian yaitu RSIA Indiraya Kota Sorong Papua Barat Daya dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dan menunjukkan

hasil bahwa sumber gempa pada daerah penelitian yang memiliki pengaruh terbesar terhadap risiko gempa berupa sumber gempa patahan atau patahan/sesar Sorong Fault (Sagewin) dengan kontribusi pengaruhnya sebesar 51,7825%. Kontribusi terbesar sumber gempa ada di sumber gempa *shallow crustal* atau patahan dikarenakan memiliki jarak sumber gempa yang lebih dekat. Sorong Fault (Sagewin) merupakan salah satu sesar yang berada dekat dengan Kota Sorong, Papua Barat Daya. Nilai laju geser Sesar Sorong Fault (Sagewin) berkisar 12.5 mm/tahun. Selain mengetahui sumber gempa dominan, juga diketahui dominasi magnitude dan jarak dari sumber gempa ke lokasi penelitian. Pada Gambar 4. dilihat bahwa nilai magnitude dominan untuk RSIA Indiraya berada pada besaran 6.4182 Mw dan jarak dominan 43.6830 km. Hasil dari analisis ini berupa Magnitude dominan, jarak dominan dan jenis sumber gempa dominan yang dijadikan acuan dalam pemilihan rekaman kejadian gempa atau dapat disebut juga *time history*.

Spectral Matching

Spektral matching merupakan suatu proses untuk mencocokkan atau menyamakan kedua *ground motion* atau lebih *ground motion*. Pada tahap ini, *software* yang digunakan dalam spektral matching adalah *Seismomatch*. Titik yang paling dekat dengan Magnitude (M) dan R (R) dari proses deagregasi hazard yang memakai *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) yang konsep dasarnya adalah menghitung level bahaya gempa berdasarkan kumpulan hasil kejadian – kejadian gempa dan juga *Ground Motion* yang mungkin terjadi di masa yang akan datang dengan lingkup periode ulang tertentu. Gempa yang memberikan kontribusi bahaya gempa terbesar pada suatu lokasi dari analisis kemungkinan besaran magnitude (M) dan jarak (R) ke sumber gempa tertentu yang tidak terlihat pada PSHA. Di dalam nilai dominan tertentu dari magnitude (M) dan jarak (R) dari sumber yang menyebabkan bahaya gempa akibat gempa dapat menjadi fungsi yang digunakan untuk mendapatkan nilai *deagregasi hazard*.

Dengan parameter – parameter yang akan dihasilkan *Ground Motion* yang sesuai maka *Ground Motion* yang diambil merupakan *Ground Motion* yang memiliki magnitude (Mw) dan jarak (R) terdekat. Pada SNI 8899 : 2020 tentang “Tata cara pemilihan

dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa” yang menjadi acuan untuk menganalisis kinerja bangunan terhadap bahaya gempa atau sesuai dengan ASCE 7-16, maka diambil 11 (sebelas) pasang riwayat waktu percepatan tanah gempa yang dijadikan acuan dalam menentukan *Ground Motion* yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Gerakan Tanah tersebut dapat diakses dari PEER Ground Motion Database. Hasil analisis menunjukkan hubungan waktu dengan percepatan, dengan hasil Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Respon Spectral Hazard Seragam Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun

| <i>Period (s)</i> | <i>Spectra Acceleration (g)</i> |
|-------------------|---------------------------------|
| 0 | 0,8314 |
| 0,05 | 1,5784 |
| 0,1 | 1,9569 |
| 0,2 | 1,9736 |
| 0,3 | 1,9065 |
| 0,4 | 1,7856 |
| 0,5 | 1,5095 |
| 0,75 | 0,9129 |
| 1 | 0,67 |
| 2 | 0,554 |
| 3 | 0,6105 |

Berdasarkan Tabel 4. Untuk lokasi penelitian RSIA Indiraya, diperoleh rekaman gempa yang paling mendekati dengan mempertimbangkan nilai Magnitude dan Jarak dari hasil *running* SR Model adalah Chi-chi, Taiwan-03 1999 dengan Magnitude (M) 6.2 dan Jarak (R) 41.26 km, *Sense Mechanism* Reserve Fault, dan kecepatan geser (Vs 30) sebesar 236.19 m/s.

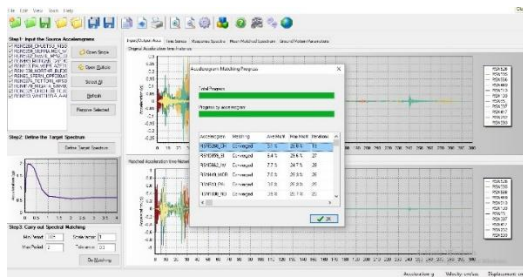
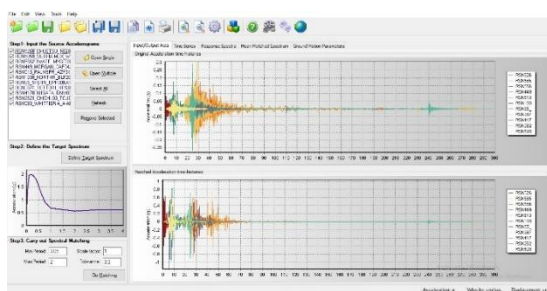
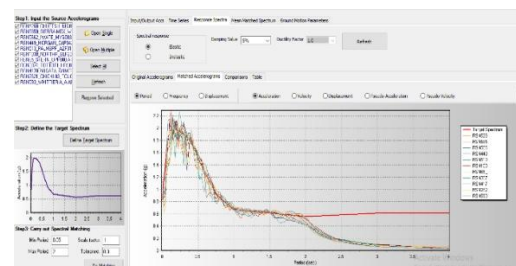
Tabel 4. Hasil Deagregasi Hazard

| <i>Respon Spektrum Number (RSN)</i> | <i>Ground Motion</i> | <i>Year</i> | <i>Stasiun Name</i> | <i>Magnitudo (Mw)</i> | <i>Jarak (km)</i> | <i>Sense Mechanism</i> |
|-------------------------------------|----------------------|-------------|---------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|
| 3874 | Tottori, Japan | 2000 | HRS005 | 6,61 | 42,3 | Strike Slip |

Dari proses deagregasi kemudian diperoleh 11 *Ground Motion Converged* yang terdekat dengan lokasi penelitian. Hal ini sesuai dengan SNI 8899 2020. tentang “Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa” yang dapat dilihat pada Tabel 5. Dibawah ini.

Tabel 5. Daftar dari 11 *Ground Motion* Yang *Converged* Untuk Lokasi Penelitian RSIA Indiraya

| No | Rekaman Gempa | Magnitude (M) | Jarak (R) dalam km | Mekanisme Gempa | Vs 30 (m/s) |
|----|--|---------------|--------------------|-----------------|-------------|
| 1 | Chi-chi, Taiwan-03 1999 TCU070 | 6,2 | 46,42 | Reverse | 401,26 |
| 2 | Chuetsu-oki, Japan 2007 NIG022 | 6,8 | 41,54 | Reverse | 193,2 |
| 3 | El Mayor-Cucapah, Mexico 2010 Westmorland Fire Sta | 7,2 | 42,61 | Strike Slip | 193,67 |
| 4 | Iwate, Japan 2008 MYG003 | 6,9 | 41,67 | Reverse | 482,07 |
| 5 | Morgan Hill 1984 Capitola | 6,19 | 39,08 | Strike Slip | 288,62 |
| 6 | N. Palm Springs 1986 Anza Fire Station | 6,06 | 42,36 | Reverse Oblique | 360,45 |
| 7 | Niigata, Japan 2004 GNM002 | 6,63 | 47,62 | Reverse | 442,51 |
| 8 | Northridge-01 1994 Montebello-Bluff Rd | 6,69 | 45,03 | Reverse | 316,01 |
| 9 | San Fernando 1971 Gormon-Oso Pump Plant | 6,61 | 46,78 | Reverse | 308,35 |
| 10 | Tottori, Japan 2000 HRS005 | 6,61 | 42,3 | Strike Slip | 466,28 |
| 11 | Whittier Narrows-01 1987 Arleta-Nordhoff Fire Sta | 5,99 | 36,97 | Reverse Oblique | 297,71 |

**Gambar 5.** Hasil *Ground Motion* untuk lokasi penelitian RSIA Indiraya**Gambar 6.** Percepatan Aktual *Time History* dan Percepatan *Matched Time History* untuk lokasi penelitian RSIA Indiraya**Gambar 7.** Hasil Matching 11 *Ground Motion* yang *Converged*

KESIMPULAN

Negara kita merupakan negara yang terletak di zona tektonik sangat aktif atau “*Pasific Ring of Fire*”, yaitu tempat bertemunya tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil, yang membentuk jalur – jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Kerugian korban jiwa dan harta benda yang dialami menuntut bangsa dan seluruh masyarakat yang mengakibatkan masyarakat hidup dengan penuh resiko. Risiko yang berupa interaksi antara kerawanan alam ataupun ulah manusia dengan kondisi kerentanan yang ada. Upaya dalam pengurangan resiko dengan melakukan pencegahan dan mitigasi dapat dilakukan melalui kebijakan normatif, dengan menciptakan infrastruktur bangunan tahan gempa.

Hasil penelitian diperoleh bahwa bentuk nilai percepatan merepresentasikan risiko gempa untuk RSIA Indiraya yang *Uniform Hazard Spectrum* 2% dalam 50 tahun memiliki nilai percepatan $T = 0$ detik adalah 0,8314, $T = 0,2$ detik adalah 1,9736 dan $T = 1$ detik adalah 0,67. Dari hasil deagregasi terlihat yang memiliki kontribusi terbesar terhadap risiko gempa adalah sumber gempa Sesar Sorong Fault (Sagewin) dengan jarak dominan (R) sebesar 43,6830 km, Magnitude dominan sebesar 6,4182 Mw serta *Hazard* dominannya sebesar 51,7825%. Untuk mencari ke 11 *Ground Motion* yang *converged* perlu dilakukan pencarian beberapa *ground motion*, meskipun magnitude dan jaraknya terlalu jauh dari lokasi penelitian.

REFERENSI

- (Ancheta et al., 2013) PEER NGA-West2 Database
- (Atkinson & Boore, 2008) Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions
- (Boore & Atkinson, 2007) NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters
- (C.A. Cornell, 1968) Engineering Seismic Risk Analysis
- (Hutapea & Mangape, 2009) Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta
- (Kementerian PUPR, 2022) Buku Peta Gempa Indonesia Untuk Perencanaan Dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa
- (Makrup et al., 2018) Seismic Hazard Map for Papua Island
- (National Standardization Agency, 2020) Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan Untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa
- (Pawirodikromo, 2012) Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan
- (Pawirodikromo, 2018) The Estimated PGA Map of The MW6.4 2006 Yogyakarta Indonesia Earthquake, Constructed From The Modified Mercally Intensity IMM
- (Pawirodikromo et al., 2019) Site Coefficient of Short Fa and Long period Fv Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province
- (Pawirodikromo et al., 2020) Development of synthetic ground motion at a specific site in Yogyakarta town, Indonesia utilizing the PSHA Method.
- (PuSGeN, 2017) Pusat Studi Gempa Nasional 2017
- (Sina, 2002) Evaluasi Bahaya Gempa (Seismic Hazard) Dengan Menggunakan Metode Point Source Dan Penentuan Respons Spektra Desain Kota Kupang
- (Steven L. Kramer, 1996) Geotechnical Earthquake Engineering
- (Sunardi, 2013) Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa Dan Rekomendasi Ground Motion Di Empat Daerah
- (Youngs et al., 1997) Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes