



PEMETAAN SPECTRAL ACCELERATION DAERAH YOGYAKARTA DENGAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

EKA FAISAL NURHIDAYATULLAH^{1*}, DWI KURNIATI¹

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

*Corresponding Author : ✉ eka.faisal@staff.uty.ac.id

Naskah diterima : 25 September 2020. Disetujui: 26 Januari 2021.

ABSTRAK

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi, sudah berulang kali mengalami kejadian bencana gempa yang merugikan. Berbagai upaya untuk meminimalisir dampak bencana gempa bumi sudah dilakukan sebelumnya. Salah satunya yaitu dengan menerbitkan dan memperbaharui peta gempa secara berkala. Indonesia sedari lama menggunakan gempa sebagai acuan perencanaan infrastruktur, yaitu sejak tahun 1983 hingga yang terbaru yaitu peta gempa tahun 2017. Namun gempa berkekuatan 6,3 SR yang terjadi pada bulan Mei 2006 menunjukkan masih banyak bangunan terutama *engineered* yang hancur. Melihat begitu dahsyatnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa tersebut maka mitigasi lebih lanjut terkait dengan bencana gempa perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian apabila bencana sejenis kembali terjadi dikemudian hari. Perlu dilakukan pembuatan peta gempa berskala mikro (daerah) guna perencanaan, estimasi kerusakan bangunan, korban jiwa dan kerugian secara ekonomi akibat kejadian gempa dimasa datang mengingat peta gempa yang dirilis pemerintah sampai saat ini masih berskala makro (nasional). Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis angka percepatan tanah permukaan dengan luaran berupa peta gempa berskala mikro pada wilayah provinsi Yogyakarta. Data gempa diperoleh dari rekaman gempa dengan maksimum radius 500 km dari pusat kota Yogyakarta yang telah dipublikasi oleh USGS antara tahun 1900 sampai dengan 2020. *Declustering* dilakukan terhadap data historis dan sebaran peta gempa sehingga hanya digunakan gempa utama dengan magnitude ≥ 5 Mw. Dalam studi ini digunakan fungsi atenuasi Campel-Bozorgonia NGA (2008) untuk gempa Sesar, Atkinson-Boore Worldwide Data NGA (2003) *intraslab* dan *interface* untuk gempa subduksi benioff serta megathrust. Nilai *spectral acceleration* (S_a) diperoleh dengan menggunakan pendekatan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Hasil analisis probabilitas percepatan gerakan tanah kemudian dikembangkan menjadi peta pada beberapa periode ulang gempa. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh peta probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun didapatkan nilai *spectral acceleration* percepatan tanah puncak (PGA) berada dikisaran 0,525 – 0,688g, periode pendek 1,055 – 1,7g serta periode 1 detik 0,535 – 0,695g. Pada peta probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun diperoleh nilai *spectral acceleration* PGA yaitu 0,6 – 0,79g, periode pendek 1,325 – 2,1 g serta periode panjang 0,65 – 0,85 g. Sedangkan pada peta probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun, nilai *spectral acceleration* PGA berada diantara 0,66 – 0,86g, periode pendek 1,625 – 2,465g serta periode 1 detik 0,755 – 0,995g. Tingkat aktivitas kegempaan pada klaster subduksi megathrust 1 serta sesar

opak dilihat dari *a-value*, *b-value* serta *Mc* ditengarai memicu adanya peningkatan *nilai spectral acceleration* wilayah Yogyakarta dibanding peta hazard tahun 2017.

Kata kunci : Gempa bumi, Peta gempa, PSHA, Periode ulang gempa, Spectral acceleration

1. PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi mengingat lokasinya berada pada jalur *ring of fire*, di antara pertemuan lempeng tektonik Eurasia dan Australia serta sesar aktif. Berdasarkan catatan sejarah, wilayah Yogyakarta dan sekitarnya sudah beberapa kali mengalami gempa yang merusak. Salah satunya yaitu gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 dengan kekuatan 6,3 SR bersumber di koordinat $7,955^{\circ}$ LS dan 110,430 BT dengan kedalaman 10 km sejauh 25 km dari kota Yogyakarta. Bencana tersebut menewaskan 5.048 jiwa, melukai 27.808 jiwa, menghancurkan 240.396 rumah serta menimbulkan kerugian lebih dari 29 triliun rupiah (BAPPENAS, 2006).

Berbagai upaya mitigasi guna meminimalisir dampak terjadinya gempa bumi sudah dilakukan oleh pemerintah. Salah satunya yaitu dengan menerbitkan dan memperbaharui peta gempa secara berkala. Indonesia sedari lama menggunakan gempa sebagai acuan perencanaan infrastruktur, yaitu sejak tahun 1983 hingga yang terbaru yaitu peta sumber bahaya gempa tahun 2017 (Irsyam, 2010a). Namun pengalaman Gempa jogja 2006 menunjukkan masih banyak bangunan terutama *engineered* yang hancur.

Ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian, serta data kegempaan semakin berkembang pesat sehingga banyak ditemukan sumber gempa baru begitu juga sesar aktif. Saputro & Aris (Saputro & Aris, 2018) menerangkan bahwa percepatan tanah puncak akibat gempa kota Sorong menunjukkan nilai 0,723 g lebih besar dari pada peta gempa 2010. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Saputra *et al.* (Saputra *et al.*, 2020) juga menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah di kabupaten Riau secara signifikan lebih besar dari peta sumber bahaya gempa tahun 2017. Hal tersebut berarti bahwa risiko akibat gempa bumi pada wilayah kota Sorong dan Riau cenderung mengalami peningkatan. Kemungkinan tersebut tidak hanya terjadi di kedua kota tersebut akan tetapi juga bisa terjadi di wilayah lain seperti Yogyakarta.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat bersama Tim Pusat Studi Gempa Nasional telah merilis peta gempa versi terbaru yaitu peta gempa tahun 2017 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Ditemukan banyak sesar gempa aktif baru bermunculan di seluruh wilayah Indonesia. Secara keseluruhan pada peta gempa 2017 ditemukan 267 sesar aktif jika dibandingkan tahun 2010 hanya 53. Di pulau Jawa sendiri terdapat 37 tujuh sesar jika sebelumnya hanya 10 sesar. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi terjadinya perbedaan aktivitas seismik di berbagai wilayah Indonesia masih besar.

Dalam kurun waktu tiga tahun yaitu antara tahun 2017 sampai 2020, USGS (USGS, 2020) mencatat sudah terjadi kurang lebih 40 gempa dengan magnitudo ≥ 5 SR dengan radius 500 km dari pusat kota Yogyakarta. Melihat begitu dahsyatnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa maka mitigasi bencana gempa perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian apabila bencana tersebut kembali terjadi dikemudian hari. Kerugian materi dan jiwa sejatinya bukan disebabkan oleh gempa, namun karena kegagalan infrastruktur (Asrurifak, 2016). Perlu dilakukan pembuatan peta gempa berskala mikro (daerah) guna keperluan perencanaan, estimasi kerusakan bangunan, korban jiwa dan kerugian secara ekonomi

akibat kejadian-kejadian gempa di masa datang mengingat Peta gempa yang dirilis pemerintah bersama dengan Pusgen juga masih berskala makro (nasional) (Irsyam, 2010a).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis angka percepatan tanah permukaan pada wilayah Yogyakarta. Kemudian nilai tersebut dikembangkan menjadi peta berskala mikro pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun, 7% dalam 75 tahun serta 2% dalam 100 tahun. Hasil studi diharapkan bisa digunakan sebagai masukan bagi tim penyusun peta hazard gempa nasional (Pusgen) terkait dengan perlu adanya pengembangan peta gempa nasional ke dalam skala mikro, rujukan bagi pemerintah dalam hal perencanaan tata ruang serta pengambilan kebijakan berkaian dengan mitigasi bencana gempa dalam rangka menurunkan tingkat risiko bencana gempa bumi terutama kegempaan di wilayah Yogyakarta, sekaligus acuan bagi praktisi dalam merencanakan struktur bangunan.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan dengan meninjau wilayah provinsi Yogyakarta. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pengumpulan data gempa, konversi dan *declustering* data gempa, klusterisasi sumber gempa, karakterisasi sumber gempa, pemilihan persamaan atenuasi gempa, *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), serta pembuatan peta *spectral acceleration* wilayah Yogyakarta. Secara lebih detail alur penelitian dijelaskan sebagai berikut.

2.1. Pengumpulan Data Gempa

Penelitian ini menggunakan data rekaman gempa antara tahun 1900 sampai dengan 2020 yang diperoleh dari katalog gempa *National Earthquake Information Center U.S. Geological Survey* (NEIC-USGS) dengan cara mengunduhnya melalui *situs* <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>. Dilakukan seleksi data gempa yang berada di radius 500 km untuk gempa jenis subduksi (megathrust dan benioff) serta 200 km untuk gempa tipe sesar (*shallow crustal*) dari koordinat pusat kota Yogyakarta yaitu 110.37 BT 7.79 LS dengan magnitudo sama dengan atau lebih besar dari 5 Mw.

2.2. Konversi dan Declustering Data Gempa

Perlu dilakukan penyamaan data gempa sebelum diolah lebih lanjut mengingat data yang telah terkumpul melalui USGS masih menggunakan jenis magnitudo yang beragam diantaranya *magnitude momen* (Mw), *magnitude surface* (Ms), *magnitude body* (mb) dan *magnitude lokal* (M_L). Penelitian ini menggunakan acuan *magnitude momen* (Mw) dengan angka kesesuaian tertinggi. Konversi skala magnitudo pada penelitian ini mengacu pada korelasi konversi antara beberapa skala magnitudo untuk wilayah Indonesia.

Tabel 1. Korelasi konversi antara beberapa skala magnitudo wilayah Indonesia (Irsyam, 2010b)

| Korelasi Konversi | Jumlah Data | Range Data | Kesesuaian (R ²) |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------|
| $Mw = 0,143Ms^2 - 1,051Ms + 7,285$ | 3.173 | $4,5 \leq Ms \leq 8,6$ | 93,9 % |
| $Mw = 0,114mb^2 - 0,556mb + 5,560$ | 978 | $4,9 \leq mb \leq 8,2$ | 72,0 % |
| $Mw = 0,787M_E - 1,537$ | 154 | $5,2 \leq M_E \leq 7,3$ | 71,2 % |
| $mb = 0,125M_L - 0,389x + 3,513$ | 722 | $3,0 < M_L < 6,2$ | 56,1 % |
| $M_L = 0,717 M_D + 1,003$ | 384 | $3,0 \leq M_D \leq 5,8$ | 29,1 % |

Data gempa bumi perlu dibebaskan dari adanya pengaruh gempa susulan (Sunardi, 2009) Penggunaan gempa susulan baik *fore shock* maupun *after shock* menyebabkan hasil kurang sesuai (Makrup, 2013). Oleh karena itu dalam studi ini hanya digunakan gempa utama (*main shock*). Perlu dilakukan *declustering* yaitu pemisahan gempa utama dengan gempa susulan berdasarkan rentang waktu dan jarak dari suatu kejadian gempa besar. Proses *declustering* pada penelitian ini dilakukan berdasarkan model algoritma Reasenberg (1985) dengan bantuan *software open source* ZMAP V.6 (Wiemer, 2001).

2.3. Klasterisasi Gempa

Klaster gempa ditentukan dengan mengidentifikasi sumber serta mekanisme gempa sesuai dengan aktivitas seismik dan historis kegempaan daerah sekitar lokasi penelitian. Berdasarkan mekanismenya, sumber-sumber gempa di Indonesia dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: (1) sumber gempa sesar, (2) sumber gempa subduksi dan (3) sumber gempa background (Irsyam, 2010a). Mekanisme sumber gempa bisa berbeda sesuai dengan kondisi tektonik suatu wilayah. Penelitian ini menggunakan sumber gempa sesar (*shallow crustal*) dan subduksi. Pada gempa dengan mekanisme subduksi digunakan data historis gempa dengan radius 500 km terhadap lokasi penelitian sedangkan gempa *shallow crustal* hanya 200 km. Hal tersebut berkaitan dengan perbedaan karakteristik kedua gempa tersebut. Sumber gempa subduksi berada di lautan yang lokasinya jauh sedangkan gempa sesar terjadi di darat dan dekat dengan lokasi studi. Selain itu juga didasari dari kemampuan jangkauan analisis persamaan atenuasi yang digunakan untuk gempa subduksi dan sesar.

2.4. Karakterisasi Sumber Gempa

Karakteristik sumber gempa dapat dilihat dari beberapa parameter yang tercantum dalam persamaan (Gutenberg dan Richter, 1954).

$$\log_{10}(N) = -bM + a \quad (1)$$

Dimana :

- N = Banyaknya gempa yang terjadi dengan magnitude sama dengan atau lebih besar dari M
- a = Parameter tingkat aktivitas seismik duatu daerah
- b = Parameter tektonik yang meliputi kondisi lingkungan geologi

Nilai *a value*, *b value*, *lambda*, *magnitude thresold* dari suatu model sumber gempa diperoleh dengan cara melakukan analisis statistik dengan model *maximum likelihood* dengan bantuan *software* ZMAP V.6 terhadap data sebaran gempa. Karakteristik sumber gempa jenis patahan, *slip rate*, dan Dip tersaji di **Tabel 2** dan **Tabel 3** berikut.

Tabel 2. Karakterisasi Sumber Gempa Subduksi Selatan Pulau Jawa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

| Sumber Gempa | L (km) | W (km) | Slip rate (cm/year) | Magnitude maksimum |
|----------------------|--------|--------|---------------------|--------------------|
| Selatan Jateng-Jatim | 440 | 220 | 4 | 8,9 |
| Selatan Jawa barat | 320 | 200 | 4 | 8,8 |

Tabel 3. Karakterisasi Sumber Gempa Pulau Jawa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

| Sesar | Slip rate (mm/yr) | Mechanism | Dip | Top | Bottom | L (km) | Magnitude maksimum |
|-------------------------|-------------------|--------------|------|-----|--------|--------|--------------------|
| Tegal-Pemalang | 0,1 | Reverse-slip | 45 S | 3 | 18 | | 6,5 |
| Semarang | 0,1 | Reverse-slip | 45S | 3 | 18 | 34 | 6,5 |
| Purwodadi-Cepu-Surabaya | 0,1 | Reverse-slip | 45 S | 3 | 18 | | 6,5 |
| Ungaran | 0,1 | Reverse-slip | 45S | 3 | 18 | | 6,5 |

| Sesar | Slip rate (mm/yr) | Mechanism | Dip | Top | Bottom | L (km) | Magnitudo maksimum |
|-------------------------------|----------------------|-------------|-----|-----|--------|--------|-----------------------|
| Aji-barang | 0,1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 20 | 6,5 |
| Opak | 0,75 | Strike-slip | 60E | 3 | 18 | 45 | 6,5 |
| Rawapening- Merapi-Merbabu | 0,1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 28 | 6,5 |
| Pati | 0,1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 69 | 6,5 |

2.5. Persamaan Atenuasi Gerakan Tanah

Atenuasi gerakan tanah merupakan suatu hubungan antara parameter gempa (percepatan, kecepatan, simpangan, intensitas maupun ukuran gempa) dengan jarak sumber ke lokasi pencatat gempa (episenter, hiposenter serta jarak terdekat lainnya) (Pawirodikromo, 2012). Meskipun pencatatan data akselerograf sudah banyak dilakukan oleh BMKG tetapi karena kondisi tanah tempat pemasangan peralatan akselerograf tidak diketahui secara pasti menyebabkan belum adanya fungsi atenuasi yang dikembangkan di Indonesia (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Oleh karena itu penelitian ini menggunakan persamaan atenuasi dari *New Ground Acceleration Project* (NGA). Pemilihan fungsi atenuasi dilakukan berdasarkan kesamaan kondisi geologi dan tektonik persamaan tersebut dibuat. Persamaan atenuasi sumber gempa subduksi megathrust dalam studi ini menggunakan GMPE Campel-Bozorgonia NGA (2008) :

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{lt} + f_{site} + f_{sed} \quad (2)$$

Dimana :

f_{mag} = fungsi yang nilainya bergantung pada besarnya magnitudo

f_{dis} = fungsi yang nilainya bergantung pada jarak ke sumber site

f_{lt} = fungsi yang nilainya bergantung pada *style faulting*

f_{sed} = fungsi yang nilainya bergantung pada *hanging wall*

Sementara untuk persamaan sumber gempa subduksi *benioff* menggunakan GMPE Atkinson-Boore *Worldwide Data* NGA (2003) :

$$\log Y = f_n(M) + c3h + c4h - g \log R + c5 sl SC + c6 sl SD + c7sl SE \quad (3)$$

Dimana :

$f_n(M)$ = fungsi pengaruh momen Magnitude

$c3h, c4h$ = fungsi pengaruh kedalaman sumber gempa

$g \log R$ = fungsi pengaruh jarak

SC, SD, SE = fungsi pengaruh jenis tanah

$g = 10^{(1,2-0,13M)}$ untuk kejadian *interface* ; $10^{(0,301-0,01M)}$ untuk kejadian *intraslab*

2.6. Probabilistik Seismic Hazard Analysis (PSHA)

PSHA merupakan metode analisis bahaya gempa probabilistik dengan memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari magnitudo, lokasi dan waktu kejadian gempa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). PSHA menganalisis berbagai level dan kemungkinan serta memperhitungkan seluruh sumber gempa yang mungkin terjadi di lokasi yang di tinjau, serta pada periode ulang tertentu tergantung umur bangunan dan kemungkinan terlampaui (Asrurifak, 2016). PSHA dilakukan untuk memprediksi ancaman gempa berwujud percepatan gerakan tanah (*spectral acceleration*) yang kemungkinan terjadi di masa mendatang (Makrup, 2013). Kalkulasi PSHA dilakukan dengan teori probabilitas total yang diusulkan oleh Merz dan Cornel (1973) serta dikembangkan oleh EERI Comitte on Seismic Risk (EERI, 1989) .

$$P_x(X) = \int_M \int_R P(X > x|m, r) f_m(m) f_r(r) dr dm \quad (4)$$

Dimana :

$P(X > x | m, r)$: Probabilitas *spectral acceleration* X yang melampaui nilai x pada suatu lokasi akibat magnitudo (m) dan jarak (r)

f_m : Fungsi kepadatan magnitudo gempa

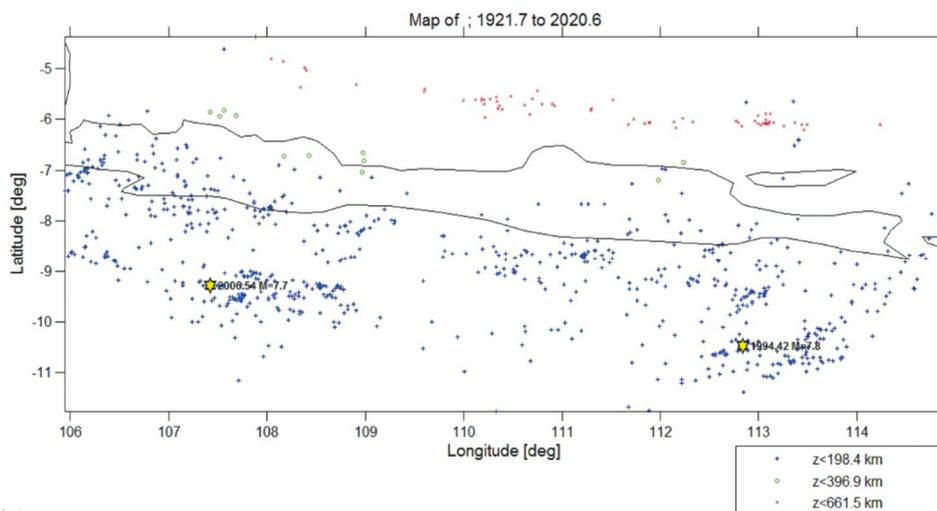
f_r : Fungsi kepadatan jarak sumber gempa terhadap lokasi

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan PSHA dengan meninjau beberapa periode ulang gempa yaitu probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun, 2% dalam 50 tahun, dan 2% dalam 100 tahun. Sehingga peta gempa dapat digunakan untuk kajian desain dan evaluasi struktur bangunan berbagai jenis infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan, dam dan sebagainya. Kalkulasi *spectral acceleration* dengan metode PSHA pada kala ulang waktu tersebut dilakukan dengan bantuan software R-Crisis (Ordaz & Salgado-Galvez, 2020). Hasil dari analisis PSHA dengan software *R-Crisis* berupa *spectral acceleration* kemudian dikembangkan kedalam bentuk peta gempa dengan aplikasi *Arcgis*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Gempa

Studi menggunakan data historis gempa sejak tahun 1900 hingga tahun 2020 dengan radius maksimum 500 km untuk gempa subduksi serta 200 km untuk gempa jenis *shallow crustal* dari pusat kota Yogyakarta dengan koordinat 7,786 °S dan 110,81 °E. Data gempa diperoleh dengan cara mengunduhnya dari katalog *United State Geological Survey* (USGS). Setelah proses pengunduhan, data gempa masih terdiri dari beranekaragam skala sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu ke dalam skala yang sama yaitu *Magnitude momen* (M_w). Kemudian dilakukan seleksi dan eliminasi data hasil konversi sehingga hanya digunakan gempa dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan 5 M_w . Sebaran historis gempa setelah dilakukan konversi dan eliminasi gempa dapat dilihat pada **Gambar 1**.

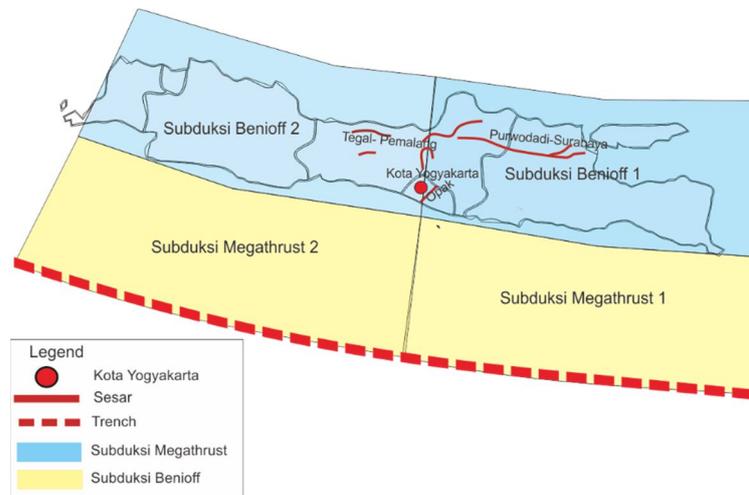


Gambar 1. Sebaran Historis Data Gempa (USGS, 2020)

3.2. Klusterisasi Data Gempa

Klusterisasi dilakukan dengan mengidentifikasi mekanisme serta sumber gempa. Pada umumnya berdasarkan kondisi geologi pulau Jawa terdapat tiga mekanisme terjadinya gempa yaitu *shallow crustal* (sesar), *subduksi megathrust* serta *subduksi benioff*. Klusterisasi yang dilakukan terhadap sebaran historis data gempa sekitar Yogyakarta menghasilkan beberapa kluster yaitu, subduksi megathrust 1, subduksi megathrust 2, subduksi benioff 1,

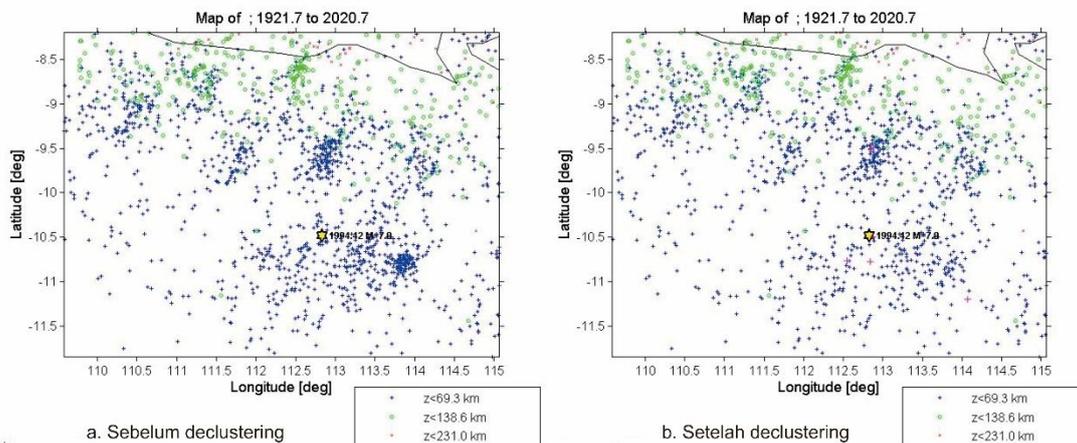
subduksi benioff 2, sesar opak, sesar tegal-pemalang, sesar purwodadi-surabaya seperti disajikan pada **gambar 2**.



Gambar 2. Kluster Gempa Pulau Jawa

3.3. Declustering Data Gempa

Declustering dilakukan terhadap tiap kluster gempa sesuai dengan persamaan Reasenberg (1985) dengan bantuan sofwtare ZMAP6 (Wiemer, 2001). Dari proses *declustering* data gempa yang telah dilakukan pada kaster subduksi megathrust 1 terhadap 1760 data gempa ≥ 5 Mw diperoleh 1488 gempa utama dan 292 gempa susulan. Secara visual hasil *declusteing* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil *declustering* kluster subduksi megathrust 1

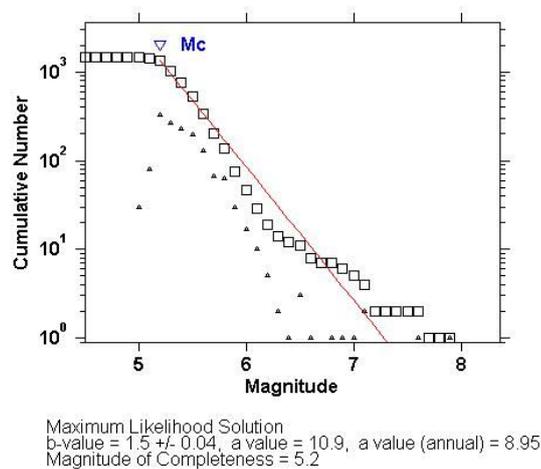
Apabila Gambar di atas diamati dengan seksama terlihat bahwa sebaran gempa sebelum dilakukan *declustering* lebih rapat. Sebaran gempa setelah *declustering* tampak lebih renggang disebabkan gempa susulan baik itu *fore sehock* maupun *after shock* sudah dieliminasi, sehingga yang tersisa hanyalah gempa utama (*main shock*) saja. Secara lebih lengkap, hasil *declustering* data gempa ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil declustering data gempa masing-masing kluster gempa

| No. | Sumber Gempa | Data Gempa | Gempa Utama | Gempa Susulan |
|-----|--------------------------|------------|-------------|---------------|
| 1 | Subduksi Megathrust 1 | 1760 | 1468 | 292 |
| 2 | Subduksi Megathrust 2 | 1400 | 1103 | 297 |
| 3 | Subduksi Megathrust 3 | 191 | 179 | 12 |
| 4 | Subduksi Benioff 1 | 147 | 139 | 8 |
| 5 | Subduksi Benioff 2 | 486 | 482 | 4 |
| 6 | Sesar Opak | 14 | 12 | 2 |
| 7 | Sesar Tegal – Pemalang | 20 | 20 | 0 |
| 8 | Sesar Purwodadi-Surabaya | 42 | 42 | 0 |

3.4. Karakteristik Kluster Gempa

A value, b value, lambda, *magnitude of completeness* diperoleh dari hasil analisis statistik dengan model *maximum likelihood* terhadap sebaran data historis gempa dengan bantuan software ZMAP V.6 merepresentasikan karakteristik tiap kluster gempa. Selain itu karakteristik gempa yang lain berupa jenis patahan, *slip rate* dan dip didapatkan dari data geologi pulau Jawa sesuai yang tercantum pada peta gempa 2017. Hasil analisis karakteristik kluster gempa subduksi megathrust 1 sesuai dengan model *maximum likelihood* menggunakan software ZMAP6 disajikan pada **gambar 4**.



Gambar 4. Karakteristik gempa kluster subduksi megathrust 1

Magnitude of completeness (M_c) merupakan ambang bawah magnitudo dari seluruh gempa yang direkam oleh stasiun pencatat gempa (Rydelek dan Sacks, 1989). Nilai M_c yang rendah mengindikasikan data katalog yang digunakan semakin baik dan lengkap hingga mampu merekam gempa bermagnitudo kecil (Simamora & Namigo, 2016). Selain itu nilai M_c juga mempengaruhi besaran *b-value* dan *a-value* yang merupakan parameter karakteristik gempa (Gutenberg dan Richter, 1956). *B-value* mengindikasikan tingkat *stress* suatu daerah,

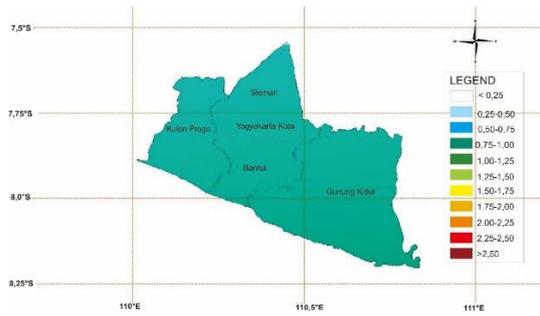
semakin rendah nilai b suatu daerah berpotensi besar kemungkinan terjadi gempa besar dikemudian hari begitupun sebaliknya. A -value menggambarkan tingkat seismisitas suatu wilayah, angka a yang besar menunjukkan frekuensi terjadinya gempa yang tinggi di suatu daerah begitu pula sebaliknya. M_c klaster subduksi megathrust 1 yaitu 5,2 sudah mendekati nilai magnitudo minimum yang ditentukan yaitu 5 Mw maka data katalog yang digunakan sudah baik dan lengkap hingga menghasilkan nilai batas bawah yang kecil. Selain itu hasil analisis b -value sebesar 1,5, menunjukkan bahwa tingkat stress klaster cukup tinggi dan berpotensi terjadi gempa-gempa dengan magnitudo besar. Kemudian a -value senilai 8,95 juga cukup besar menunjukkan adanya aktivitas kegempaan yang tinggi di wilayah tersebut. Secara lebih lengkap karakteristik seluruh klaster gempa pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Karakteristik klaster gempa

| No. | Sumber Gempa | Nilai a | Nilai b | M_c | M_{max} | Mekanisme |
|-----|--------------------------|---------|---------|-------|-----------|--------------|
| 1 | Subduksi Megathrust 1 | 8.95 | 1.5 | 5.2 | 8.7 | Normal |
| 2 | Subduksi Megathrust 2 | 11 | 1.86 | 5.3 | 8.7 | Normal |
| 3 | Subduksi Benioff 1 | 9.74 | 1.81 | 5.6 | 8.7 | Normal |
| 4 | Subduksi Benioff 2 | 12.2 | 2.16 | 5.4 | 8.7 | Normal |
| 5 | Sesar Opak | 7.51 | 1.46 | 5.2 | 6.5 | Strike-Slip |
| 6 | Sesar Tegal-Pemalang | 12.3 | 2.41 | 5.2 | 6.5 | Reverse-Slip |
| 7 | Sesar Purwodadi-Surabaya | 31.7 | 5.7 | 5.7 | 6.5 | Reverse-Slip |

3.5. Probabilistic Seismic Hazard Analysis

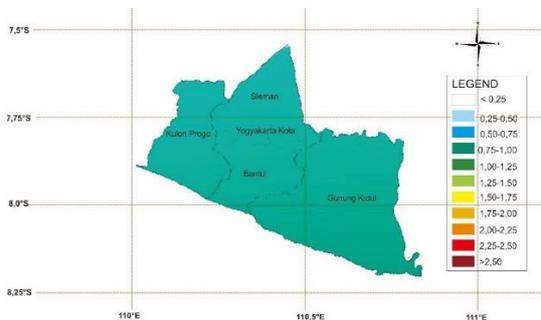
Hasil analisis probabilistik *spectral acceleration* dilakukan tidak hanya meninjau satu periode ulang gempa sehingga diharapkan dapat dipergunakan pada berbagai peruntukkan bangunan seperti gedung, jembatan, jalan, terowongan, dam. Terdapat tiga peta hasil analisis probabilistik yaitu peta *spectral acceleration* probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun, 2% dalam 50 tahun dan 2% dalam 100 tahun. Setiap peta kala ulang gempa dibuat dalam tiga tinjauan periode struktur yaitu *peak ground acceleration* (PGA), periode pendek (0,2 detik) serta periode 1 detik menyesuaikan dengan kebutuhan analisis gempa statik ekuivalen serta pembuatan response spektrum berdasarkan SNI 1729:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Peta hasil PSHA wilayah Yogyakarta disajikan pada **gambar 5** sampai dengan **gambar 13**.



Gambar 5. Peta *peak ground acceleration (PGA)* probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 6. Peta *spectral acceleration* periode pendek 0,2 detik probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 7. Peta *spectral acceleration* periode pendek 1 detik probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 8. Peta *peak ground acceleration (PGA)* probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

Peta probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai *spectral acceleration* provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada diantara 0,525 – 0,688 g, periode pendek ($T=0,2$ detik) 1,055 – 1,7 g serta periode panjang ($T=1$ detik) 0,535 -0,695 g. Peta tersebut dapat digunakan pada perencanaan maupun evaluasi bangunan jembatan serta infrastruktur MRT (Asrurifak, 2016).



Gambar 9. Peta *spectral acceleration* periode pendek 0,2 detik probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

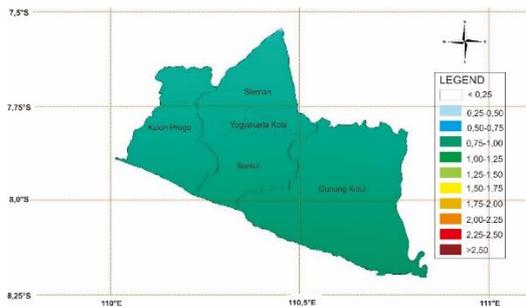


Gambar 10. Peta *spectral acceleration* periode panjang 1 detik probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

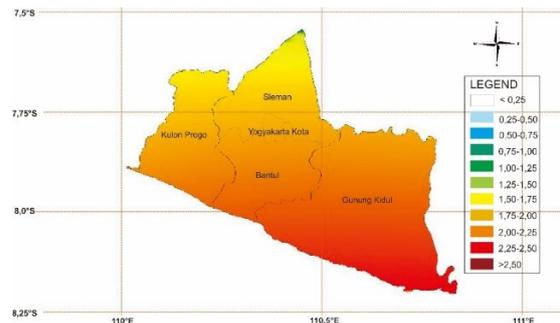
Peta probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai *spectral acceleration* provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada dikisaran 0,6 – 0,79g, periode pendek ($T=0,2$ detik) 1,325 – 2,1 g serta

periode panjang ($T=1$ detik) 0,65 -0,85 g. Peta tersebut dapat digunakan pada perencanaan maupun evaluasi bangunan gedung (Asrurifak, 2016).

Peta probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai *spectral acceleration* provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada diantara 0,66 – 0,86 g, periode pendek ($T=0,2$ detik) 1,625 – 2,465 g serta periode panjang ($T=1$ detik) 0,755 -0,995 g. Peta tersebut dapat digunakan pada perencanaan maupun evaluasi dam (Asrurifak, 2016).



Gambar 11. Peta *peak ground acceleration* (PGA) probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun

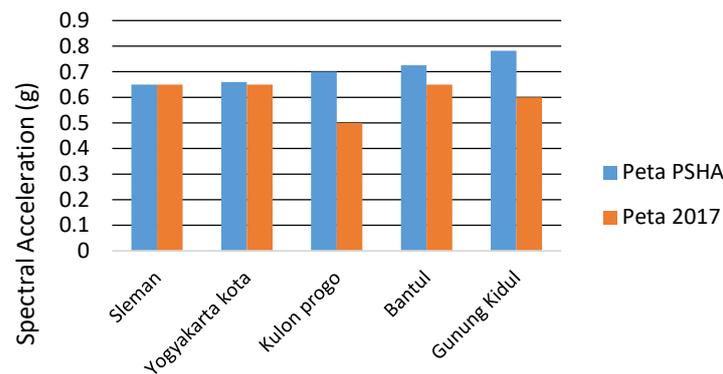


Gambar 12. Peta *spectral acceleration* periode pendek 0,2 detik probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun



Gambar 13. Peta *spectral acceleration* periode panjang 1 detik probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun

Hasil PSHA menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai percepatan tanah paling tinggi terdapat pada kabupaten terdekat terhadap klaster subduksi megathrust 1 dan sesar opak yaitu Bantul serta Gunung kidul. Seperti yang kita ketahui sesuai dengan karakteristik klaster gempa bahwa sumber gempa subduksi megathrust mempunyai *b-value* yang cukup rendah sehingga mengindikasikan adanya kemungkinan gempa bermagnitudo besar terjadi dan *a-value* besar merepresentasikan aktivitas kegempaan yang tinggi pada zona tersebut serta didukung tingkat seismisitas sesar opak. Apabila diambil satu peta yang kerap digunakan pada perencanaan bangunan gedung yaitu peta probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun maka perbandingan nilai *spectral acceleration* peta *peak ground acceleration* (PGA) hasil penelitian dapat dilihat pada **gambar 14** berikut.



Gambar 14. Perbandingan nilai *peak ground acceleration* (PGA) probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun kabupaten di Yogyakarta

Dari gambar tersebut terlihat bahwa peta hasil analisis mikrozonasi PSHA menunjukkan nilai *spectral acceleration* yang lebih besar dari pada peta gempa tahun 2017 terutama pada kabupaten Kulon progo, Bantul dan Gunung Kidul. Analisis mikro menghasilkan luaran Sa yang lebih detail pada tiap koordinat sampai dengan kota kabupaten bahkan kecamatan maupun desa dari pada peta hazard tahun 2017 yang masih bersifat makro. Tingkat aktivitas kegempaan yang meningkat pada klaster subduksi megathrust 1 serta sesar opak dilihat dari a value dan b value ditengarai memicu perbedaan yang signifikan pada ketiga kabupaten yaitu Kulon progo, Bantul dan Gunung kidul.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian bisa diambil beberapa kesimpulan:

- Peta probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai spectral acceleration provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada diantara 0,525 – 0,688 g, periode pendek (T=0,2 detik) 1,055 – 1,7 g serta periode panjang (T=1 detik) 0,535 -0,695 g.
- Peta probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai spectral acceleration provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada dikisaran 0,6 – 0,79g, periode pendek (T=0,2 detik) 1,325 – 2,1 g serta periode panjang (T=1 detik) 0,65 -0,85 g
- Peta probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun wilayah Yogyakarta hasil PSHA menunjukkan bahwa nilai spectral acceleration provinsi Yogyakarta percepatan tanah puncak (PGA) berada diantara 0,66 – 0,86 g, periode pendek (T=0,2 detik) 1,625 – 2,465 g serta periode panjang (T=1 detik) 0,755 -0,995 g.
- Tingkat aktivitas kegempaan pada klaster subduksi megathrust 1 serta sesar opak dilihat dari a value dan b value ditengarai memicu adanya peningkatan nilai spectral acceleration wilayah Yogyakarta.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrurifak, M. (2016). Peta Gempa Indonesia (SNI 1726-2012) dan Spektrum Response Disain untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dalam Aspek Geoteknik. Jakarta : Workshop Continuing Professional Development (CPD) Ahli.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019 : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (Issue 8). Jakarta : BSN Press.
- BAPPENAS. (2006). Penilaian Awal Kerusakan dan Kerugian Bencana Alam di Yogyakarta dan Jawa Tengah. Jakarta : BAPPENAS.
- Irsyam, M. (2010a). Peran dan Pengembangan Rekayasa Geoteknik Kegempaan di Indonesia Dalam Pembangunan Infrastruktur Tahan Gempa. Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung.
- Irsyam, M. et al. (2010b). Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010. Bandung : Tim Revisi Gempa Indonesia.
- Makrup, L. (2013). Seismic Hazard untuk Indonesia. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Ordaz, M., & Salgado-Galvez, M. A. (2020). R-CRISIS v20 Validation and Verification Document. Mexico city: ERN Technical Report.
- Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Umum dan Perumahan Rakyat.
- Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., & Pawirodikromo, W. (2020). Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode Psha. *Teknisia*, XXV(1), 42–49. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5>
- Saputro, I. T., & Aris, M. (2018). Analisis Percepatan Tanah Puncak Akibat Gempa Pada Kota Sorong Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, 4(2), 14. <https://doi.org/10.33506/rb.v4i2.168>
- Simamora, J. T., & Namigo, E. L. (2016). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) untuk Gempa Sumatera. *Jurnal Fisika Unand*, 5(2), 179–186. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.2.179-186.2016>
- Sunardi, B. (2009). Analisa Fraktal Dan Rasio Slip Daerah Bali-Ntb Berdasarkan Pemetaan Variasi Parameter Tektonik. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 10, 58–65.
- USGS. (2020). Data gempa antara tahun 2017 sampai dengan 2020 dalam radius 500 km dari pusat kota Yogyakarta.
- Wiemer, S. A. (2001). Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP (p. Vol.72, No. 3, 373-382). *Seismological Research Letters*.