

PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI

DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA



PENULIS:

Herry Riswandi

Bambang Sunardi

Drajad Ngadminto

Ikhsan

Yody Rizkianto

Muhammad Syaifudin

Yohana Noradika Maharani

PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMIDI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Oleh:

Herry Riswandi
Bambang Sunardi
Drajat Ngadmanto
Ikhsan
Yody Rizkianto
Muhamad Syaifudin
Yohana Noradika Maharani

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Tuhan YME, karena hanya atas rahmat-Nya sehingga penyusunan buku dengan judul **“PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA”** dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Buku ini disusun untuk memberikan pengetahuan tentang potensi gempabumi di daerah istimewa Yogyakarta melalui pengolahan data menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), dan hasilnya berupa kajian, peta, dan berbagai informasi potensi bahaya gempabumi sebagai masukan dalam upaya mitigasi bencana.

Terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan dari berbagai pihak baik yang berupa dukungan moril maupun materiil dan bantuan lainnya dalam setiap tahap proses penyusunan buku ini.

Akhir kata semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 2022
Tim Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Prolog.....	1
BAB II PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI	11
2.1. Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)..	13
2.2. Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA).....	15
BAB III PENGOLAHAN PSHA	19
3.1. Katalog Gempabumi Dan Konversi Magnitudo.....	21
3.2. Identifikasi Sumber Gempabumi.....	24
3.3. Karakterisasi Sumber Gempabumi.....	28
3.4. Fungsi Atenuasi.....	30
3.5. Logic Tree.....	33
3.6. PSHA.....	35
BAB IV. PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA	37

4.1.	Nilai PGA Di Batuan Dasar.....	37
4.2.	PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Bantul.....	38
4.3.	PGA Batuan Dasar Di Kota Yogyakarta.....	40
4.4.	PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Gunungkidul.....	42
4.5.	PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Sleman.....	44
4.6.	PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Kulon Progo.....	46
BAB V PENUTUP		48
DAFTAR PUSTAKA		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kondisi tektonik Indonesia.....	2
Gambar 2 Sesar Lokal di DIY dan sekitarnya.....	4
Gambar 3. Riwayat gempabumi merusak diYogyakarta dan sekitarnya.....	6
Gambar 4. Tahapan dalam DSHA.....	14
Gambar 5. Tahap PSHA untuk mendapatkan PGA.....	18
Gambar 6. Pemodelan sumber gempabumi di sekitar Daerah Istimewa Yogyakarta.....	27
Gambar 7. Distribusi magnitudo untuk berbagai sumber gempabumi.....	29
Gambar 8. Contoh logic tree analisis bahaya gempabumi.....	34
Gambar 9. PGA batuan dasar di Kabupaten Bantul.....	41
Gambar 10. PGA batuan dasar di Kota Yogyakarta.....	39
Gambar 11. PGA batuan dasar di Kabupaten Gunungkidul....	43
Gambar 12. PGA batuan dasar di Kabupaten Sleman.....	45
Gambar 13. PGA batuan dasar di Kabupaten Kulon Progo.....	47

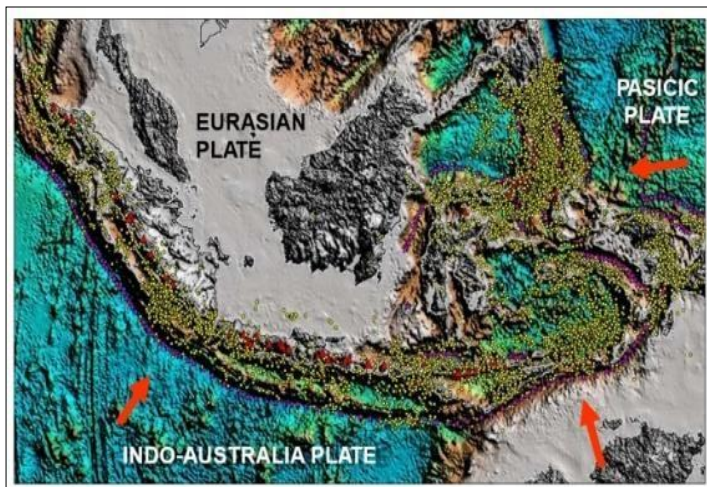
BAB I

PENDAHULUAN

Ditinjau dari aspek geografis dan geologis, Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah dan memiliki ribuan pulau-pulau yang membujur dari Sabang hingga Merauke. Disisi lain, Indonesia juga memiliki potensi bahaya gempa bumi dan tsunami karena wilayahnya yang berada di cincin api pasifik (*ring of fire*) akibat adanya pertemuan tiga lempeng aktif, yakni Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik (Gambar 1). Akibat dari pergerakan lempeng aktif tersebut, beberapa wilayah di Indonesia sering terjadi bencana alam, salah satunya adalah bencana alam gempa bumi. Bencana gempa bumi yang sering terjadi di Indonesia dapat menimbulkan banyak kerugian baik jiwa dan kerusakan bangunan bagi wilayah yang terdampak.

Daerah Istimewa Yogyakarta secara tektonik merupakan salah satu propinsi di Indonesia yang memiliki potensi gempa bumi yang cukup tinggi, kondisi ini disebabkan oleh letak Yogyakarta yang lebih dekat

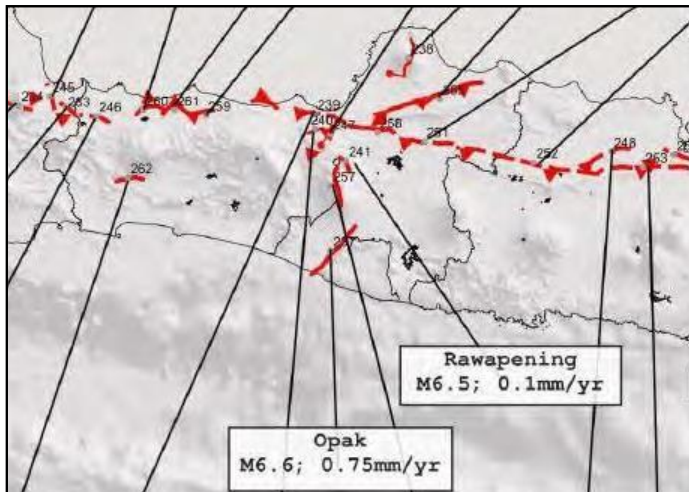
dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia yang menujam ke bagian bawah Lempeng Eurasia di Samudera Hindia Selatan Pulau Jawa. Selain sangat rawan gempa bumi akibat aktivitas subduksi lempeng, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) juga sangat rawan gempa bumi akibat aktivitas sesar lokal (Daryono, 2013). Gambar 2 menunjukkan sesar-sesar lokal di sekitar wilayah DIY dan sekitarnya yang berpotensi menimbulkan banyak kerugian.



Gambar 1. Kondisi tektonik Indonesia

Sejarah gempa bumi merusak di Yogyakarta berdasarkan data katalog gempa bumi merusak BMKG

(Setiyono, dkk., 2019) pernah terjadi pada tahun, 1981, 1943, 1937, dan 1867 dan 2006 (Gambar 3). Gempabumi besar di Yogyakarta tahun 2006 terjadi pada tanggal 27 Mei 2006, pada koordinat 8.26 LS dan 100.31 BT, kedalaman pusat gempa 33 km dan kekuatan gempa Magnitudo 5.9, gempa ini dirasakan hingga di luar wilayah Yogyakarta dengan intensitas yang berbeda-beda yaitu di Bantul dan Klaten IX MMI, Sleman dan Yogyakarta VIII MMI, Surakarta VMMI, Salatiga dan Blitar IV MMI, Surabaya II MMI dan Denpasar. Gempabumi tersebut menimbulkan korban jiwa di Bantul, Klaten, Yogyakarta dan Jawa Tengah hingga mencapai 5.782 jiwa, selain itu banyak juga terdapat korban luka-luka, dan ratusan ribu masyarakat kehilangan tempat tinggal akibat rumahnya mengalami kerusakan yang cukup berat hingga rata dengan tanah.



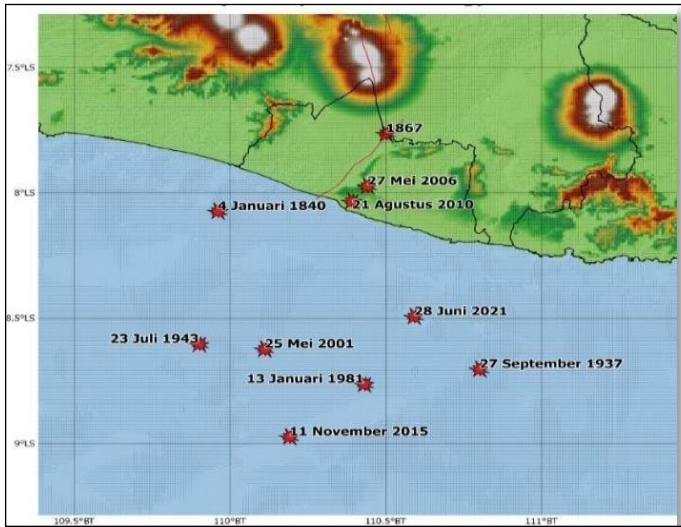
Gambar 2. Sesar lokal di DIY dan sekitarnya (Pusgen, 2017)

Sejarah gempabumi merusak lainnya adalah gempabumi pada tanggal 14 Maret 1981. Gempabumi ini terjadi pada koordinat 8.76 LS dan 110.43 BT, kedalaman 51 km dan kekuatan M 5.6 dirasakan di Yogyakarta dengan intensitas VII MMI. Gempabumi tersebut mengakibatkan retak pada dinding hotel Ambarukmo.

Selanjutnya gempabumi pada tanggal 24 Juli 1943 dengan koordinat 8.6 LS dan 109 BT dirasakan di Yogyakarta VIII MMI, Garut, dan Surakarta. Gempabumi tersebut menyebabkan dampak korban

meninggal 213 jiwa, korban luka-luka 2096 orang, dan kerusakan 2800 rumah rusak parah. Gempabumi pada tanggal 27 September 1937 pada koordinat 8.7 LS dan 110.8 BT dirasakan di Yogyakarta VIII-IX MMI, Klaten, Klumpit, Jawa Tengah, hingga Timur Lombok. Terdapat korban meninggal di Klumpit 1 orang dan 1 rumah terbelah, sejumlah 326 batu candi Prambanan roboh, 2.200 rumah rusak, dan pipa bawah tanah di beberapa tempat rusak.

Gempabumi tanggal 10 Juni 1867 dirasakan di Yogyakarta dan Surakarta VIII-IX MMI. Akibat gempabumi tersebut terdapat korban meninggal 5 orang, dan kerusakan 372 rumah roboh dan rusak sebagian.



Gambar 3. Riwayat gempa bumi merusak di Yogyakarta dan sekitarnya (Setiyono, dkk., 2019)

Faktor-faktor yang menyebabkan Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki tingkat risiko yang tinggi terhadap bencana gempa bumi yaitu karena adanya jumlah penduduk yang tinggi, perkembangan pembangunan fasilitas umum dan perumahan tempat tinggal yang berkembang pesat. Selain itu kondisi fisiografis yang ada di Yogyakarta berpengaruh terhadap persebaran penduduk, ketersediaan prasarana dan sarana wilayah, dan kegiatan sosial ekonomi

penduduk, serta kemajuan pembangunan antar wilayah. Beberapa daerah di Yogyakarta berada daerah yang relatif datar, seperti daerah dataran fluvial yang meliputi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul merupakan daerah dengan kepadatan penduduk dan aktivitas sosial ekonomi yang tinggi.

Ketika upaya memprediksi gempa bumi belum dapat dilakukan maka upaya terbaik yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi bencana gempa bumi adalah melalui mitigasi gempa bumi. Tiga tahapan yang dapat dilakukan adalah sebelum, saat, dan setelah gempa bumi. Salah satu langkah awal yang dapat dilakukan dalam upaya mitigasi sebelum terjadi gempa bumi adalah dengan melakukan penilaian bahaya gempa bumi. Pemetaan bahaya gempa bumi diperlukan untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah yang memiliki risiko gempa bumi tinggi. Dengan mengetahui wilayah-wilayah yang memiliki risiko gempa bumi tinggi, maka langkah antisipasi untuk mengurangi dampak bencana yang dapat timbul di wilayah tersebut dapat dilakukan sedini mungkin.

Upaya mitigasi melalui penilaian bahaya gempabumi perlu dilakukan secara komprehensif. Penilaian bahaya gempabumi merupakan upaya untuk menggambarkan dan mengevaluasi potensi bencana gempabumi di suatu area, yang pada umumnya disebabkan oleh getaran kuat hingga sangat kuat saat terjadi gempabumi. Kegiatan penilaian bahaya gempabumi antara lain meliputi identifikasi sumber gempabumi, karakterisasi sumber gempabumi, penentuan fungsi atenuasi dan *logic tree*, serta penilaian bahaya gempabumi dengan memperhitungkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar.

Kegiatan penilaian bahaya gempabumi dapat memberikan output berupa kajian, peta, dan informasi potensi bahaya gempabumi. Hal ini diperlukan sebagai masukan untuk para otoritas baik di pusat maupun daerah dalam perencanaan tata ruang, para praktisi dalam perancangan awal struktur dan infrastruktur tahan gempabumi, prioritas mitigasi gempabumi, serta rencana kontijensi menghadapi bencana gempabumi.

Kondisi geologi dan tektonik suatu wilayah akan

mempengaruhi kerentanan bencana gempabumi. Sebuah permasalahan muncul tentang bagaimana kondisi tektonik berpengaruh dalam penilaian bahaya gempabumi. Singkatnya, buku ini menjawab beberapa pertanyaan sebagai berikut: (1) Identifikasi dan karakterisasi sumber gempabumi; (2) Fungsi atenuasi dan logic tree; (3) Nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar di Daerah Istimewa Yogyakarta; (4) Secara praktis, menyusun peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar.

Penilaian bahaya gempabumi dalam manajemen risiko bencana dapat digunakan oleh seluruh pemangku kepentingan sebagai bagian dari mitigasi bencana. Secara umum buku ini bertujuan untuk melakukan penilaian bahaya gempabumi. Keutamaan tujuan dari buku ini antara lain informasi dari proses ini diperlukan untuk mengidentifikasi potensi bahaya gempabumi. Informasi tentang proses dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan aturan mengenai desain / standar bangunan tahan gempabumi. Pada akhirnya, pemahaman tentang proses ini memungkinkan pengambil keputusan atau perencana

untuk mengidentifikasi intervensi manajemen bencana yang sesuai di Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai bagian mitigasi bencana gempa bumi.

BAB II

PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI

Penilaian bahaya gempabumi pada suatu daerah merupakan kegiatan yang bertujuan untuk memperhitungkan suatu batasan intensitas gempabumi tertentu yang berlaku di daerah rawan gempabumi. Untuk dapat melakukan penilai bahaya gempabumi ini memerlukan pengetahuan tentang ilmu seismotektonik, kegempaan, geologi, dan geoteknik (Synthia, 2019). Dampak gempabumi yang ditimbulkan dapat dikurangi efeknya dengan adanya suatu upaya mitigasi yang konfrehensif. Salah satu bentuk upaya mitigasi yang dapat dilakukan dengan pembuatan suatu peta bahaya gempabumi yang menggambarkan dampak gempa pada suatu wilayah yang akan membantu mengantisipasi dan meminimalisasi jumlah korban jiwa maupun kerugian harta benda (Susilo & Adnan, 2013).

Penilaian bahaya gempabumi dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satu metode yang umum dilakukan adalah menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) maupun

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Metode DSHA dilakukan dengan memperhitungkan suatu kondisi yang meliputi perkiraan suatu kejadian gempa bumi dengan magnitudo tertentu yang akan terjadi pada lokasi yang telah ditentukan. Metode DSHA umumnya diaplikasikan untuk memperhitungkan suatu percepatan gempa bumi untuk konstruksi yang memiliki dampak sangat membahayakan jika terjadi kerusakan akibat gempa bumi, seperti konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, bendungan besar, bangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan untuk keperluan *emergency response* (Irsyam dkk., 1999).

Perbedaan metode DSHA dan PSHA adalah metode PSHA menggunakan suatu perhitungan dan menggabungkan ketidakpastian dari magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa bumi. Metode PSHA umumnya diaplikasikan untuk mengetahui sebaran potensi dampak suatu guncangan gempa untuk memperkirakan risiko terhadap konstruksi atau bangunan dan infrastruktur lain yang ada pada daerah terdampak.

Analisa pada metode DSHA dan metode PSHA banyak digunakan untuk saling melengkapi. Metode PSHA dapat memverifikasi hasil DSHA, untuk memastikan bahwa kejadian tersebut masih realistis atau mungkin terjadi. Sebaliknya, hasil analisis PSHA dapat diverifikasi oleh hasil analisis DSHA untuk memastikan bahwa hasil analisis tersebut rasional. McGuire (2001) menyampaikan bahwa DSHA dan PSHA akan saling melengkapi tetapi dengan tetap memberikan penekanan pada salah satu hasil. Untuk keperluan desain infrastruktur tahan gempa bumi, umumnya digunakan PSHA dengan tingkatan gempa bumi atau probabilitas terlampaui tertentu (Irsyam, 2010).

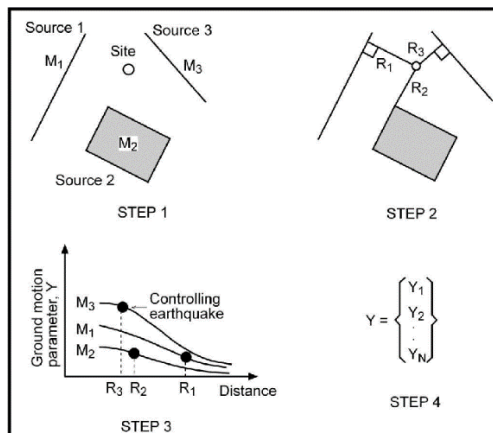
2.1 *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*

Metode DSHA merupakan metode penilaian yang lazim untuk mengidentifikasi suatu bahaya gempa bumi dengan menggunakan suatu pendekatan deterministik, biasanya menggunakan skenario terburuk. Tahapan yang digunakan dalam suatu metode DSHA terbagi dalam 4 (empat) tahapan (Gambar 3):

1. Mengidentifikasi dan mengkarakterisasi sumber

gempabumi disuatu lokasi yang berpotensi menghasilkan getaran tanah yang signifikan.

2. Menentukan parameter jarak terdekat dari sumber gempabumi dengan lokasi terdampak dan memilih magnitudo terbesar dari sumber gempabumi.
3. Menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi tinjauan dengan menggunakan fungsi atenuasi.
4. Menentukan pemilihan gempabumi (*controlling earthquake*) berdasarkan hasil perhitungan parameter gerakan tanah tertinggi yang diperoleh.



Gambar 4. Tahapan dalam DSHA (Kramer, 1996)

2.2 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode PSHA banyak digunakan untuk penilaian suatu bahaya gempabumi dengan menggunakan pendekatan probabilistik dengan memperhitungkan dan menggabungkan beberapa faktor ketidakpastian yaitu magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa bumi. Empat faktor tersebut menjadikan metode PSHA dapat digunakan untuk memperkirakan seberapa besar kemungkinan kondisi terburuk yang akan terjadi di daerah terdampak berdasarkan teorema probabilitas total. Teori probabilitas total mengasumsikan magnitudo M dan jarak R sebagai variabel independen yang menerus (Cornell, 1968). Metode PSHA ini dianggap lebih tepat digunakan dibandingkan dengan metode DSHA dikarenakan metode PSHA dapat memprediksi bahaya gempabumi dari suatu wilayah yang memiliki konsekuensi dampak terburuk. Sampai saat ini, metode PSHA masih banyak digunakan dan menjadi pertimbangan oleh para ahli untuk mendesain struktur bangunan tahan gempabumi.

Secara garis besar langkah-langkah suatu

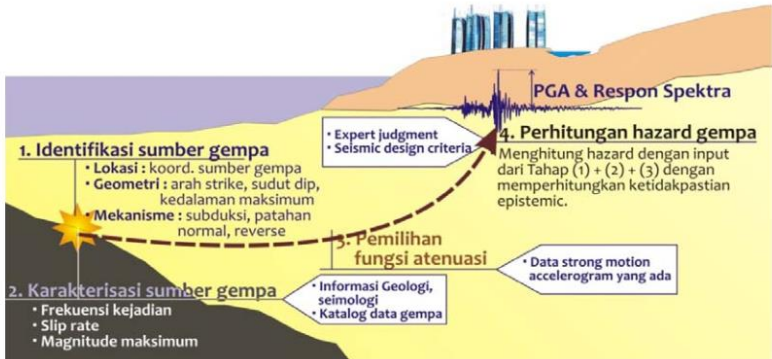
penilaian bahaya gempabumi dengan menggunakan metode PSHA yaitu sebagai berikut:

1. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah identifikasi dan karakterisasi sumber gempabumi, termasuk didalamnya adalah karakterisasi distribusi probabilitas dari lokasi *rupture* yang berpontesi pada sumber. Dalam kebanyakan kasus, diterapkan distribusi probabilitas yang sama untuk masing-masing zona sumber. Hal ini secara tidak langsung menyatakan bahwa gempabumi mungkin sama-sama akan terjadi pada setiap titik dalam zona sumber gempabumi. Distribusi ini, dikombinasikan dengan bentuk geometri sumber untuk mendapatkan distribusi probabilitas yang sesuai dengan jarak sumber ke lokasi.
2. Langkah kedua yang harus dilakukan adalah karakterisasi seismisitas atau distribusi sementara dari perulangan kejadian gempabumi. Hubungan empiris perulangan kejadian gempa (*recurrence relationship*), yang

mengekspresikan kecepatan rata-rata (*average rate*) dari suatu gempa bumi dengan besar yang berbeda akan terlampaui, digunakan untuk mengkarakterisasikan seismisitas dari masing-masing zona sumber gempa bumi. Hubungan empiris ini dapat mengakomodasikan besarnya magnitudo maksimum dari gempa bumi.

3. Langkah selanjutnya gerakan tanah yang terjadi disuatu lokasi akibat adanya gempa bumi dengan magnitudo gempa bumi berapapun dan lokasi kejadian dimanapun dalam masing-masing zona sumber gempa bumi, dapat ditentukan dengan menggunakan fungsi atenuasi.
4. Langkah terakhir adalah mengkombinasikan ketidakpastian dari lokasi gempa bumi, besarnya gempa bumi dan prediksi parameter gerakan tanah untuk mendapatkan probabilitas dimana parameter gerakan tanah akan terlampaui selama periode waktu tertentu.

Tahapan-tahapan metode PSHA diatas dapat dilustrasikan pada gambar 5 dibawah ini.



(A) IDENTIFIKASI SUMBER	(B) KARAKTERISASI SUMBER	(C) PEMILIHAN FUNGSI ATENUASI	(D) PERHITUNGAN PROBABILITAS TERLAMPAUI
<p>Fault</p> <p>SITE</p> <p>Area source</p>	<p>Log No. Earthquakes $\geq M$</p> <p>Magnitude, M</p>	<p>Peak Acceleration</p> <p>Distance</p>	<p>Probability of Exceedance</p> <p>Acceleration</p>

Gambar 5. Tahap PSHA untuk mendapatkan PGA di batuan dasar (Irsyam, dkk., 2010)

BAB III

PENGOLAHAN *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS* (PSHA)

PSHA merupakan suatu teknik yang banyak digunakan menganalisa kejadian gempa untuk periode ulang pada tahun tertentu dengan membuat kemungkinan dari berbagai tingkat gerakan tanah di suatu wilayah dengan diberikan berbagai skenario kemungkinan terjadinya gempa bumi. Lingkup kegiatan yang dilakukan dalam pengolahan PSHA meliputi:

1. Studi literatur terkait dengan kondisi tektonik dan geologi untuk mengidentifikasi aktifitas kegempaan serta inventarisasi sumber-sumber gempabumi di sekitar wilayah terdampak, Studi literatur dapat dilakukan berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.
2. Pengumpulan, identifikasi dan evaluasi data geologi dan kegempaan di sekitar wilayah terdampak serta kuantifikasi sumber-sumber gempabumi di sekitar wilayah terdampak

sehingga parameternya dapat dipergunakan dalam pemodelan sumber gempa bumi.

3. Pengumpulan dan pengolahan data gempa bumi di sekitar wilayah terdampak, dipergunakan untuk memperoleh parameter seismik dari data kejadian gempa bumi. Detail dari kegiatan ini meliputi:
 - a. Pengumpulan data katalog gempa bumi.
 - b. Menyamakan skala magnitudo dari data katalog gempa bumi.
 - c. Melakukan proses *declustering* yaitu pemilahan gempa-gempa utama (*main shock*) dari gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*).
 - d. Melakukan analisis kelengkapan data gempa bumi M_c (*magnitude completeness*).
 - e. Menentukan parameter nilai a dan b dari data gempa bumi yang sudah diolah.
4. Analisis bahaya gempa bumi untuk wilayah

terdampak yang dilakukan meliputi:

- a. Pemodelan sumber gempabumi berdasarkan informasi kondisi geologi dan tektonik serta data kejadian gempabumi di sekitar wilayah terdampak.
- b. Pemilihan fungsi atenuasi gerakan tanah yang sesuai untuk daerah tinjauan sebagai salah satu penilaian bahaya gempabumi.
- c. Mengelola unsur ketidakpastian melalui proses *logic-tree*. Dengan pendekatan ini, parameter sumber gempabumi serta model atenuasi yang digunakan dapat diakomodasi melalui pembobotan sesuai dengan tingkat kepastiannya.
- d. Perhitungan PSHA. Perhitungan PSHA dilakukan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau periode ulang gempa 2500 tahun untuk membuat peta PGA di batuan dasar.

3.1 Katalog Gempabumi Dan Konversi Magnitudo

Gabungan katalog gempabumi meliputi wilayah

dengan radius kurang lebih 500 km dari area yang akan diteliti. Semua data dari katalog gempabumi harus diproses dengan menggunakan prinsip-prinsip statistik sebelum digunakan untuk menganalisis resiko gempabumi. Prosedur ini dilakukan dalam rangka untuk meminimalkan *bias* atau kesalahan sistematis dan untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan.

Data yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitudo yang berbeda-beda. Skala magnitudo yang digunakan antara lain adalah magnitudo surface (Ms), magnitudo lokal (ML), magnitudo body (mb) dan magnitudo momen (Mw). Skala-skala magnitudo tersebut dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama sebelum digunakan dalam penilaian bahaya gempabumi.

Terdapat beberapa usulan formulasi atau persamaan konversi skala magnitudo yang diusulkan, diantaranya konversi magnitudo gempabumi untuk wilayah Indonesia yang dipergunakan dalam Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Pusgen, 2017). Persamaan konversi magnitudo untuk

wilayah Indonesia tersebut megadaptasi metode yang digunakan Scordilis (2006). Data katalog gempabumi dikumpulkan dari beberapa sumber seperti *United States Geological Survey* (USGS), Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), serta *International Seismological Center* (ISC).

Konversi magnitudo body (m_b) ke magnitudo momen (M_w) dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_w = 1,0107m_b + 0,0801 \quad (1)$$

Sedangkan konversi M_s ke M_w menggunakan persamaan:

$$M_w = 0,6016M_s + 2,476 \quad (2)$$

Untuk retang magnitudo $2,8 \leq M_s \leq 6,1$, dan menggunakan persamaan:

$$M_w = 0,9239M_s + 0,5671 \quad (3)$$

Untuk retang magnitudo $6,2 \leq M_s \leq 8,7$.

Sementara konversi ML ke M_w tidak dilakukan karena hampir sebanding diantara keduanya sehingga magnitudo lokal (ML) dapat merepresentasikan magnitudo momem (M_w).

3.2 Identifikasi Sumber Gempabumi

Sumber gempabumi didefinisikan sebagai suatu area yang memiliki derajat gempabumi yang sama dimana setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan potensi terjadi gempabumi yang sama dimasa yang akan datang. Pemodelan sumber gempabumi merupakan komponen utama dalam analisis bahaya gempabumi. Model sumber gempabumi diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempabumi dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat bahaya gempabumi.

Data utama yang dipergunakan dalam pemodelan sumber gempabumi antara lain seismic zones, peta patahan aktif, katalog gempabumi, mekanisme focal gempabumi, dan sebagainya. Pemodelan sumber gempabumi dapat mempengaruhi wilayah terdampak dengan mengelompokkan model sumber serta memperhitungkan probabilitas jarak berdasarkan parameter yang telah diperoleh. Adapun batasan pemodelan suatu zona sumber gempabumi yang digunakan yaitu :

1. Kedalaman sumber gempa bumi dibatasi hingga 300 km.
2. Jarak lokasi sumber gempa bumi ke lokasi yang dibatasi hingga 500 km.
3. Fungsi atenuasi yang dipakai bergantung pada zona sumber gempa bumi. Fungsi ini, dianggap sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa bumi wilayah Indonesia.

Sumber-sumber gempa bumi dalam metode PSHA diklasifikasikan dalam tiga model sumber gempa bumi (Pusgen, 2017) yaitu:

1. Model Sumber Gempabumi *Megathrust*.

Model sumber gempa bumi *megathrust* adalah zona kejadian gempa bumi yang terjadi di dekat batas pertemuan antara lempeng samudra yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Kedalaman zona *megathrust* yaitu 0-50 km. Untuk daerah yang lebih dalam (>50 km) atau daerah *benioff* diwakili oleh model sumber gempa bumi *deep background*.

2. Model Sumber Gempabumi Sesar (*Fault*).

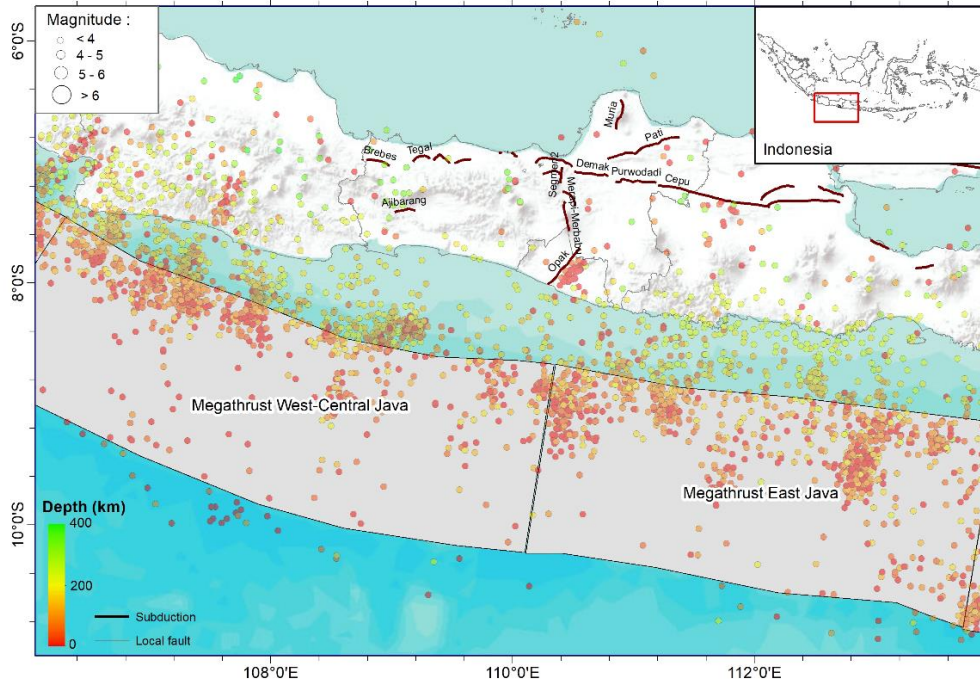
Model sumber gempa bumi sesar memiliki kedalaman yang dangkal (*shallow crustal*) dengan

mekanisme geser, naik dan normal, yang terjadi pada sesar-sesar dengan parameter sumber yang telah terdefinisi secara jelas.

3. Model Sumber *Background*.

Model sumber gempabumi *background* adalah sumber gempa bumi yang belum diketahui secara jelas, tetapi pada tempat tersebut terdapat beberapa kejadian gempabumi (kejadian yang belum diketahui jenis sesarnya). Gempa *background* dibagi menjadi *shallow background* dan *deep background*.

Analisis bahaya gempabumi untuk Daerah Istimewa Yogyakarta melibatkan tiga model sumber gempabumi yaitu *Megathrust*, sesar, dan *background*. Model sumber gempabumi *Megathrust* dan sesar yang dilibatkan seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

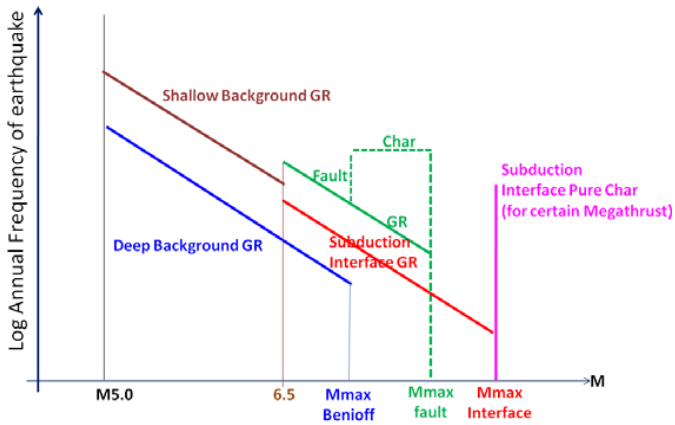


Gambar 6. Pemodelan sumber gempa bumi di sekitar Daerah Istimewa Yogyakarta

3.3 Karakterisasi Sumber Gempabumi

Karakterisasi sumber gempabumi ditunjukkan dalam persamaan matematis yaitu dalam distribusi frekuensi kejadian gempabumi untuk setiap magnitudo dari masing-masing sumber gempabumi. Distribusi ukuran gempabumi di zona sumber pada periode tertentu diperhitungkan dengan hukum pengulangan kejadian (*recurrence law*). Terdapat beberapa metode *recurrence law* yang digunakan dalam analisis bahaya gempabumi, diantaranya adalah *Gutenberg-Richter recurrence law* dan *characteristic recurrence law*. Gambar 7 merupakan ilustrasi distribusi magnitudo untuk berbagai sumber gempabumi.

Frekuensi kejadian gempabumi diperlukan untuk mendapatkan karakteristik sumber gempabumi yang direpresentasikan dalam parameter sumber gempabumi. Parameter sumber gempabumi tersebut meliputi parameter a-b dan magnitudo maksimum. Model matematik yang digunakan adalah *truncated exponential* dan *characteristic* untuk mendapatkan parameter a-b (Irsyam, 2010).



Gambar 7. Distribusi magnitudo untuk berbagai sumber gempabumi (Irsyam, 2010)

Karakterisasi sumber gempabumi subduksi (Megathrust) diperoleh dari data seismotektonik, meliputi lokasi, batas kedalaman subduksi (umumnya dimodelkan 50 km untuk Megathrust), parameter nilai a dan b , serta *rate*. Laju pergerakan zona subduksi dapat juga menggunakan *recurrence rate* M_{max} untuk model karakteristik (Pusgen, 2017). Untuk model sumber gempabumi besar, karakterisasi sumber gempabumi yang digunakan adalah mekanisme pergerakan, *slip rate*, dip, dimensi sesar (panjang dan lebar), serta *fault trace*. Data ini diperoleh dari berbagai referensi terdampak yang telah dilakukan dan dipublikasikan

sebelumnya. Karakterisasi sumber gempabumi background menggunakan model gridded seismicity untuk memperkirakan rate kejadian gempabumi kecil hingga sedang yang akan datang didaerah sesar dan gempabumi acak diluar sesar (Pusgen, 2017).

Karakterisasi sumber gempabumi yang dipergunakan dalam penilaian bahaya gempabumi di Daerah Istimewa Yogyakarta mengacu pada terdampak terkini dalam buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Pusgen, 2017).

3.4 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitude M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) di lokasi yang ditinjau (Campbell, 2008). Fungsi atenuasi cenderung spesifik untuk setiap wilayah dan untuk suatu tipe patahan, misalnya atenuasi untuk *strike-slip* berbeda dengan untuk *reverse* atau *thrust faults*.

Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang didapatkan dari hasil pencatatan alat accelerograph saat kejadian. Karena minimnya data pencatatan *time history* di Indonesia, maka pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan di negara lain tidak dapat dihindari. Pemilihan fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi dibuat.

Meski dalam dua dekade terakhir banyak persamaan atenuasi yang dihasilkan, namun hingga saat ini belum ada persamaan atenuasi yang dibuat berdasarkan data gempabumi yang terjadi di Indonesia yang cukup memadai, sehingga persamaan atenuasi yang digunakan di Indonesia masih mengacu pada data gempabumi yang terjadi di negara lain. Persamaan atenuasi yang digunakan harus sesuai dengan mekanisme sumber gempabumi yang ditinjau.

Pada studi ini, fungsi-fungsi atenuasi yang digunakan merupakan fungsi-fungsi atenuasi yang dipergunakan dalam Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Pusgen, 2017), yaitu :

Sumber gempabumi sesar maupun *shallow background* menggunakan fungsi atenuasi :

1. Boore-Atkinson NGA (Boore & Atkinson, 2014).
2. Campbell-Bozorgnia NGA (Campbell & Bozorgnia, 2014).
3. Chiou Young NGA (Chiou & Young, 2014).

Sumber gempa *Megathrust* menggunakan fungsi atenuasi:

1. BCHYDRO (Abrahamson, dkk., 2012).
2. Atkinson-Boore BC rock and global subduction (Atkinson & Boore, 2003).
3. Zhao, dengan variable Vs30 (Zhao, dkk., 2006).

Sumber gempabumi deep background menggunakan fungsi atenuasi:

1. *AB intraslab seismicity Cascadia region BC-rock condition* (Atkinson-Boore, Cascadia 2003).

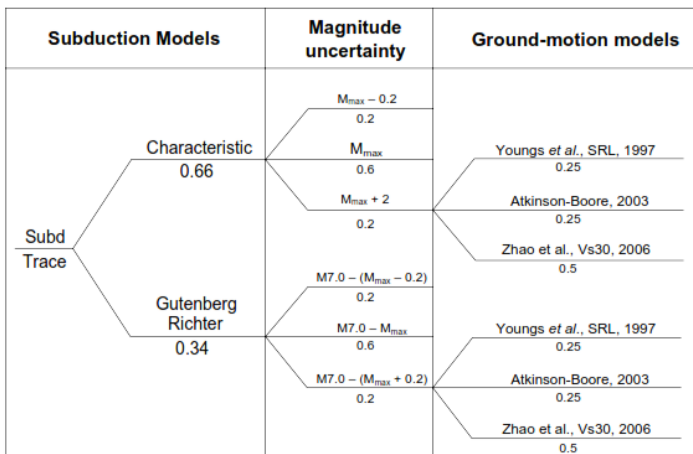
2. *Geomatrix slab seismicity rock, 1997 srl 2006* (Young, dkk., 1997).
3. AB 2003 intraslab seismicity worldwide data region BC-rock condition (Atkinson-Boore, Worldwide 2003).

3.5 Logic Tree

Logic tree merupakan suatu metode untuk memperhitungkan seluruh ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter dalam PSHA, yaitu pemilihan *recurrence model*, fungsi atenuasi, *recurrence rate*, dan magnitudo maksimum (Kulkarni dkk., 1984; Coppersmith & Youngs, 1986). Dengan metode ini kebebasan dalam menggunakan berbagai model lebih terkontrol tingkat keakuratannya karena *logic tree* memberikan faktor bobot yang berbeda-beda untuk masing-masing model sehingga antara satu model dengan model lainnya dapat dilakukan komparasi akurasi. Dengan *logic tree*, setiap alternatif yang dipilih dalam menentukan parameter-parameter di atas diberi suatu bobot yang menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan.

Jumlah faktor bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu.

Dalam menggunakan *logic tree*, satu analisis resiko gempa diselesaikan untuk kombinasi model dan atau parameter yang berkaitan dengan tiap ujung cabang. Hasil tiap analisis diberikan oleh nilai bobot kemungkinan relatif dari kombinasi cabang, dengan hasil akhir diambil sebagai penjumlahan dari nilai bobot masing- masing. Contoh *logic tree* dalam analisis bahaya gempa bumi ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Contoh *logic tree* dalam analisis bahaya gempabumi (Kramer, S.L., 1996)

3.6 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Penilaian bahaya gempabumi bertujuan untuk memperoleh estimasi kuantitatif dari guncangan tanah (*ground-shaking*) pada suatu lokasi tertentu. Resiko gempabumi dapat dianalisa secara deterministik dengan mengambil suatu asumsi tertentu mengenai kejadian gempabumi atau secara probabilistik dimana dalam analisa juga mempertimbangkan secara eksplisit ketidakpastian dari besarnya gempabumi, lokasi maupun waktu terjadinya. Penilaian bahaya gempabumi yang dilakukan dengan menggunakan teori probabilistik total dikembangkan oleh McGuire (1976) berdasarkan konsep probabilitas dari Cornell (1968). Pada terdampak ini hanya akan ditinjau analisis dengan menggunakan metode probabilistik total yang memperhitungkan adanya ketidakpastian dari parameternya.

Rumus dasar teori probabilitas total yang dikembangkan oleh McGuire (1976) adalah sebagai berikut:

$$P[I \geq i] = \iint r m P[I \geq i | m \text{ dan } r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (4)$$

Dimana:

f_M : Fungsi distribusi dari magnitudo

f_R : Fungsi distribusi dari jarak hiposenter

$P[I \geq i | m \text{ dan } r]$: Probabilitas bersyarat dari intensitas atau yang melampaui nilai I pada suatu lokasi yang ditinjau untuk kejadian gempa bumi dengan magnitudo M dan jarak hiposenter R .

Dengan metode PSHA, ketidakpastian dari besar, lokasi dan kecepatan perulangan (*rate of recurrence*) dari gempa bumi maupun variasi dari karakteristik gerakan tanah akibat besar dan lokasi gempa bumi secara eksplisit ikut diperhitungkan dalam evaluasi resiko gempa bumi. Hasil perhitungannya ditampilkan dalam bentuk kurva bahaya kegempaan yang menunjukkan probabilitas tahunan kejadian beberapa nilai parameter getaran. Kurva bahaya kegempaan ini kemudian digunakan untuk menghitung probabilitas suatu parameter getaran terjadi selama periode waktu tertentu.

BAB IV

PENILAIAN BAHAYA GEMPABUMI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

4.1 Nilai PGA Di Batuan Dasar

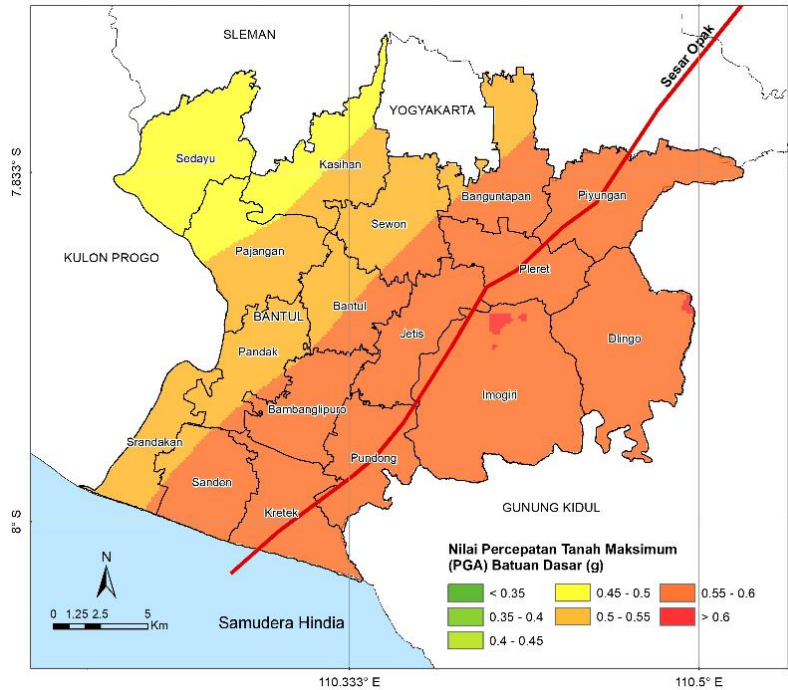
Penilaian bahaya gempabumi di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) di dalam buku ini dilakukan berdasarkan perhitungan PSHA. Output proses PSHA yang diperoleh adalah percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar. Di dalam buku ini, nilai PGA di batuan dasar yang dihitung adalah untuk kondisi probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau periode ulang gempa 2.475 tahun.

PGA yang dihitung kemudian dipetakan untuk memudahkan analisis dan interpretasi. Peta PGA di batuan dasar ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya kegempaan secara probabilistik. Peta yang dihasilkan dapat menjadi rujukan nilai PGA di batuan dasar untuk desain bangunan di suatu Kota atau lokasi tertentu. Peta PGA di batuan dasar untuk masing-masing Kabupaten / Kota di DIY, ditunjukkan pada Gambar 9 hingga Gambar 13.

4.2 PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Bantul

Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Bantul ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai PGA batuan dasar di Kabupaten Bantul bervariasi dari 0.45 - 0.6 g. Berdasarkan Gambar 9, nilai PGA 0.55 - 0.6 g terdistribusi disekitar jalur Sesar Opak, yaitu Kapanewon Kretek, Pundong, Jetis, Imogiri, Dlingo, Pleret, Piyungan, juga wilayah timur Kapanewon Banguntapan, Sewon, Bantul, Bambanglipuro, dan Sanden. Kawasan tersebut dominan berada di sekitar Sesar Opak dengan dominasi material endapan berasal dari Formasi Qmi (Endapan Gunung Merapi Muda) yang tersusun atas tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava.

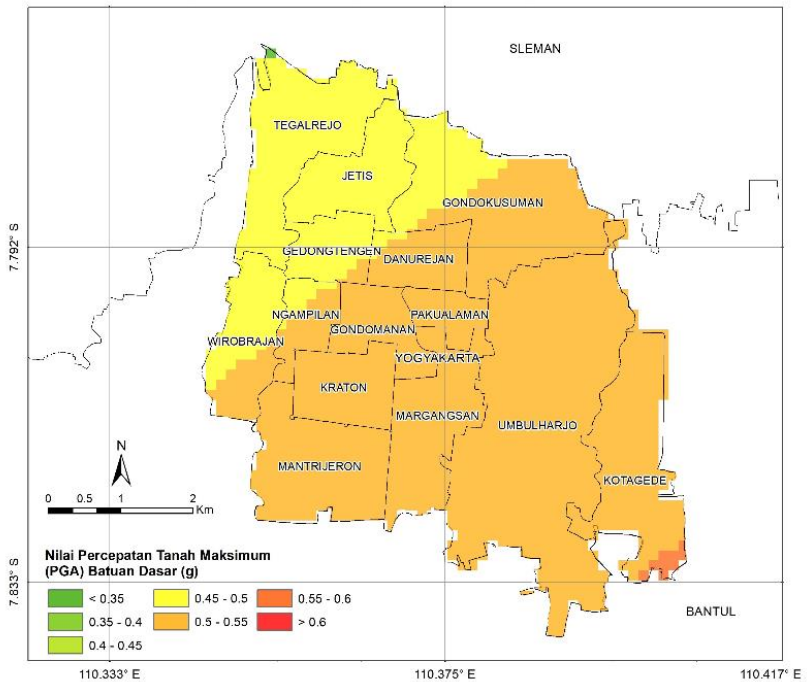
Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.5 – 0.55 g terdapat pada Kapanewon Srandakan, bagian barat Kapanewon Pandak, Bantul, Sewon, serta bagian timur Kapanewon Pajangan dan Kasihan. Sementara kawasan dengan PGA batuan dasar 0.45 – 0.5 g terdapat di Kapanewon Sedayu, bagian barat Kapanewon Pajangan, dan Kasihan.



Gambar 9. Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Bantul

4.3 PGA Batuan Dasar Di Kota Yogyakarta

Peta PGA batuan dasar di Kota Yogyakarta ditunjukkan pada Gambar 10. Nilai PGA di batuan dasar bervariasi dari 0.45 – 0.55 g. Berdasarkan Gambar 10, Kapanewon dengan nilai percepatan 0.5 - 0.55 g berada di tenggara Kota Yogyakarta dengan orientasi arah terdekat dengan jalur Sesar Opak, yaitu meliputi Kapanewon Kota Gede, Umbulharjo, Mergansan, Mantrijeron, Kraton, Gondomanan, Pakualam, Danurejan, juga wilayah tenggara Kapanewon Wirobrajan, Ngampilan, Gedongtengen, dan Gondokusuman. Secara geologi, kawasan tersebut berada pada Formasi Qmi (Endapan Gunung Merapi Muda) yang tersusun atas material endapan berupa tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava. Kawasan dengan PGA batuan dasar bervariasi dari 0.45 – 0.5 g terdapat pada Kapanewon Tegalrejo, Jetis, serta wilayah barat Kapanewon Wirobrajan, Ngampilan, Gedongtengen, dan Gondokusuman.

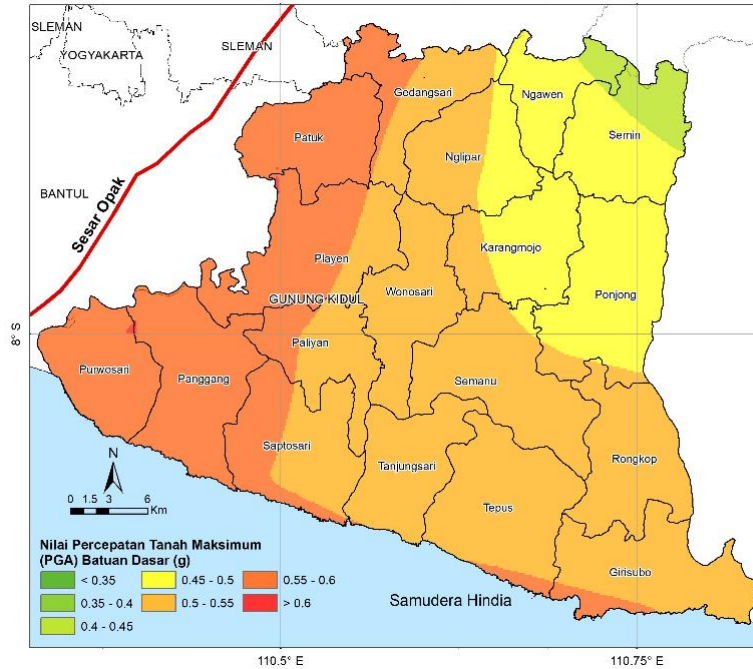


Gambar 10. Peta PGA batuan dasar di Kota Yogyakarta

4.4 PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Gunungkidul

Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Gunungkidul ditunjukkan pada Gambar 11. Nilai PGA batuan dasar di Kabupaten Gunungkidul bervariasi 0.4 - 0.6 g. Berdasarkan Gambar 11, kapanewon dengan nilai PGA batuan dasar 0.55 - 0.6 g berada di barat dan selatan Kabupaten Gunungkidul dengan orientasi arah terdekat dengan Jalur Sesar Opak, yaitu meliputi Kapanewon Purwosari, Panggang, Patuk, dan bagian barat Kapanewon Saptosari, Paliyan, Playen, Gedangsari serta bagian selatan Kapanewon Saptosari, Tepus, dan Girisubo.

Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.5 - 0.55 g meliputi Kapanewon Tanjungsari, Semanu, Wonosari, Rongkop, bagian timur Kapanewon Saptosari, Paliyan, Playen, Gedangsari, serta bagian barat Kapanewon Karangmojo dan Nglipar. Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.45 - 0.5 g meliputi Kapanewon Ponjong, bagian timur Kapanewon Karangmojo, Nglipar, serta bagian barat Kapanewon Semin dan Ngawen. Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.4 - 0.45 g meliputi bagian timur Kapanewon Semin dan Ngawen.

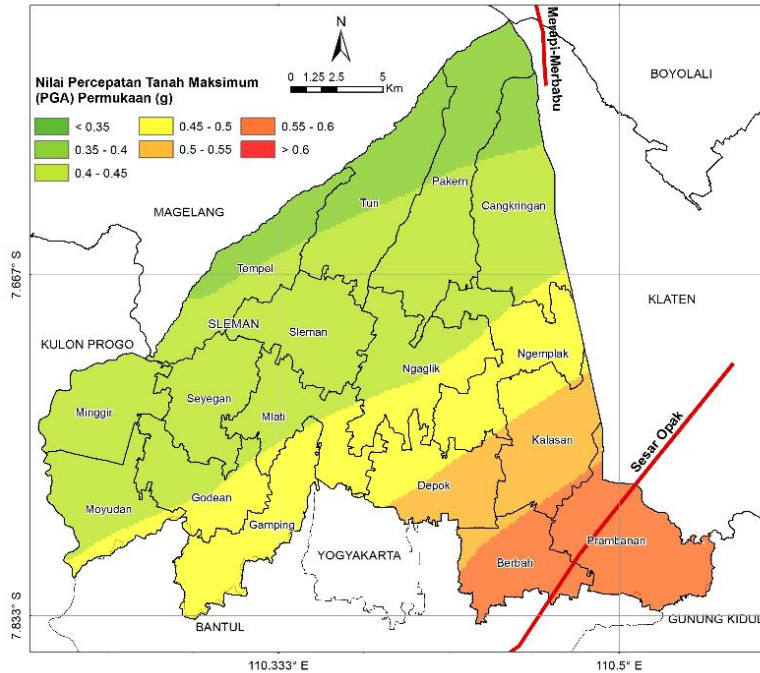


Gambar 11. Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Gunungkidul

4.5 PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Sleman

Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Sleman ditunjukkan pada Gambar 12. Nilai PGA batuan dasar di Kabupaten Sleman bervariasi 0.35 - 0.6 g. Berdasarkan Gambar 12, kapanewon dengan nilai PGA batuan dasar 0.55 – 0.6 g berada di Tenggara dan Selatan Kabupaten Sleman dengan orientasi arah terdekat dengan Jalur Sesar Opak, yaitu Kapanewon Prambanan dan Berbah. Secara geologi, kawasan tersebut berada pada Formasi Qmi (Endapan Gunung Merapi Muda) yang tersusun atas material endapan berupa tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava.

Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.5 – 0.55 g terdapat di wilayah tenggara Kapanewon Depok dan Kalasan. Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.45 – 0.5 g terdapat di Kapanewon Gamping, wilayah tenggara Kapanewon Moyudan, Godean, Mlati, Ngaglik, dan Ngemplak. Kawasan dengan PGA batuan dasar 0.4 – 0.45 g terdapat di Kapanewon Minggir, Seyegan, Sleman, wilayah barat Kapanewon Moyudan, Godean, Mlati, Ngaglik, dan Ngemplak, serta wilayah tenggara Kapanewon Tempel, Turi, Pakem dan Cangkringan.

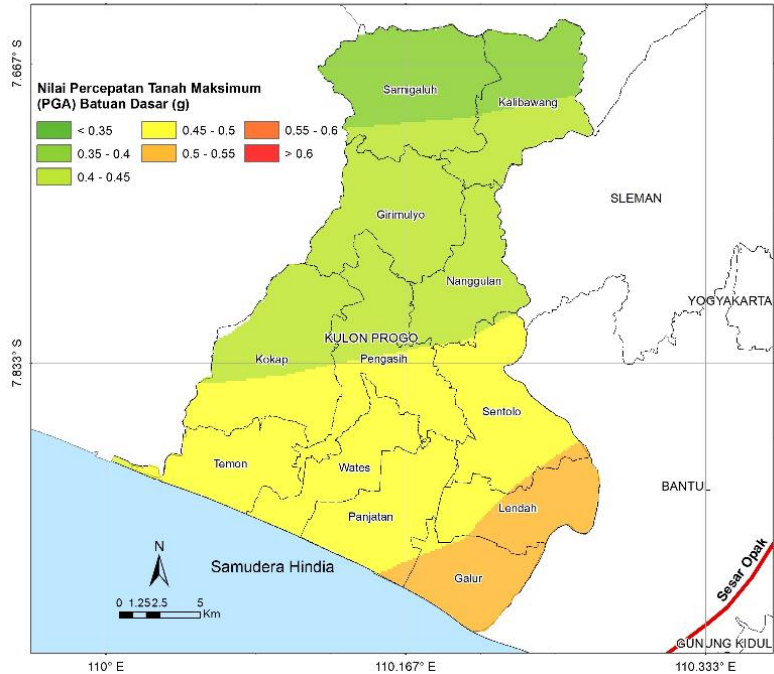


Gambar 12. Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Sleman

4.6 PGA Batuan Dasar Di Kabupaten Kulon Progo

Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Kulon Progo ditunjukkan pada Gambar 13. Nilai PGA batuan dasar di Kabupaten Kulon Progo bervariasi 0.35 - 0.55 g. Berdasarkan Gambar 13, kapanewon dengan nilai PGA batuan dasar 0.5 – 0.55 g berada di Tenggara dan Selatan Kabupaten Kulon Progo dengan orientasi arah terdekat dengan Jalur Sesar Opak, yaitu Kapanewon Galur, dan Lendah. Secara geologi, kawasan tersebut berada pada Formasi Qa (Aluvium) yang tersusun atas material endapan berupa pasir, krakal, lanau dan lempung, serta Formasi Tmps (Formasi Sentolo) yang tersusun atas batu gamping dan batu pasir napalan.

Kawasan dengan PGA batuan dasar bervariasi dari 0.45 – 0.5 g terdapat pada Kapanewon Temon, Wates, Panjatan, Sentolo, serta wilayah tenggara Kapanewon Kokap dan Pengasih. Kawasan dengan PGA batuan dasar bervariasi dari 0.4 – 0.45 g terdapat pada Kapanewon Nanggulan, Girimulyo, wilayah utara Kapanewon Kokap dan Pengasih, serta wilayah selatan Kapanewon Samigaluh dan Kalibawang.



Gambar 13. Peta PGA batuan dasar di Kabupaten Kulon Progo

BAB V

PENUTUP

Gempabumi merupakan salah satu bencana alam yang belum dapat diprediksi dan seringkali menimbulkan dampak yang parah yang harus kita hadapi. Bahaya gempabumi memberikan gambaran kemungkinan dampak gerakan tanah di suatu wilayah. Penilaian bahaya gempabumi yang memadai memegang peranan penting dalam mengurangi risiko gempabumi.

Penilaian bahaya gempabumi dapat dilakukan baik menggunakan metode DSHA maupun PSHA. Salah satu output dari metode PSHA adalah perkiraan percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar.

Secara umum, nilai PGA batuan dasar di Daerah Istimewa Yogyakarta bervariasi dari 0.35 hingga lebih dari 0.6 g. Wilayah dengan nilai PGA batuan dasar tertinggi terdistribusi di sebagian besar Kabupaten Bantul, Kabupaten Gunungkidul bagian barat (yang berdekatan dengan jalur Sesar Opak), Kabupaten Sleman dengan orientasi arah terdekat dengan jalur Sesar Opak (Kapanewon Berbah dan Prambanan), Kota

Yogyakarta dengan orientasi yang terdekat dengan jalur Sesar Opak (Kapanewon Kota Gede, Umbulharjo). Sementara nilai PGA batuan dasar terendah terdistribusi di Kabupaten Sleman (Kapanewon Cangkringan, Pakem, Turi, Tempel), dan Kabupaten Kulon Progo (Kapanewon Kalibawang, Samigaluh).

Perlu adanya upaya mitigasi struktural yang lebih komprehensif berupa bangunan tahan gempa bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta mengingat adanya potensi gempa bumi dengan intensitas hingga IX MMI yang diakibatkan oleh aktifitas sesar aktif Opak Oyo melintas di wilayah DIY. Selain itu perlunya peraturan daerah terkait bangunan tahan gempa bumi yang dapat menjadi acuan bagi pihak-pihak terkait dalam pembangunan tata ruang bangunan di wilayah DIY,

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamson, N. A., Gregor, N., and Addo, K. (2016). B.C. Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23-44.
- Atkinson, G. M. and Boore, D. M. (2006). Earthquake ground-motion prediction equations for eastern North America. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, 2181-2205.
- Atkinson, G. M., and Boore, D. M. (2003). Empirical ground-motion relations for the subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, 1703-1729.
- Atkinson, G. M. (2008). Ground-motion prediction equations for Eastern North America from a referenced empirical approach: implications for epistemic uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98, 1304-1318.
- Boore D. M., Stewart J. O., Seyhan E. and Atkinson G. M. (2014). NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow

- Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30, 1057-1085.
- Boore, D. M., and Atkinson, G. M. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24, 99-138.
- Campbell K. W., and Bozorgnia, Y. (2014). NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30, 1087-1115.
- Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y. (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.1 to 10s. *Earthquake Spectra*, 24, 139-171.
- Chiou, B., and Youngs, R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30, 1117-1153.
- Chiou, B., and Youngs, R. (2008). An NGA model for the

average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 24, 173-215.

Cornell, C. A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1583–1606.

Daryono. (2013). Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuklahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Riset Daerah Vol. XII*, No.1.

Irsyam, M., Subki B., Himawan A., Suntoko H. (1999). Analisis Seismisitas untuk Semenanjung Muria, Prosiding Konferensi Nasional Rekayasa Gempa, Pemanfaatan Perkembangan Rekayasa Kegempaan dalam Rangka Penyempurnaan Peraturan dan Peningkatan Kepedulian Masyarakat Terhadap Bencana Gempa di Indonesia.

Irsyam, M., Asrurifak M., Hendriyawan, B Budiono, Triyoso W., dan Anita Firmanti. (2010). Development of Spectral Hazard Maps for Proposed Revision of Indonesia Seismic Building Code. *Geomechanic and Geoen지니어ing an International*

Journal, Vol. 5. No. 1, 35-47.

Irsyam, Masyhur dkk. (2010). Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempabumi Indonesia, Bandung.

Kramer, S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, New Jersey: Prentice Hall.

Kulkarni R.B., Youngs R.R. and Coppersmith K.J. (1984). Assessment of confidence intervals for results of seismichazard analysis. Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco CA U.S.A., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs NJ U.S.A., Vol. 1, pp. 263-270 .

McGuire, R.K. (1976). FORTRAN computer program for seismic risk analysis, U.S. Geof, Surv. Open-File Rep, 76-77.

McGuire, R. K. (2001). Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 21, Issue 5.

Pusgen. (2017). Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Pusat Terdampak dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Badan Terdampak dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung,

ISBN 978-602-5489-01-3, 400 p.

- Scordilis, E. M. (2006). Empirical Global Relations
Converting M S and m b to Moment Magnitude.
Journal of Seismology Volume 10, p.225–236.
- Setiyono, U., Gunawan, I., Priyobudi, Yatimantoro, T.,
Imananta, R. T., Ramdhan, M., ... Kriswinarso, T.
(2019). Katalog Gempabumi Sikonifikan dan
Merusak 1821-2018 (Pertama; T. Prasetya and
Daryono, Eds.). Jakarta: Pusat Gempabumi dan
Tsunami BMKG.
- Susilo, A., Adnan, Z. (2013). Probabilistic Seismic
Hazard Analysis of East Java Region, Indonesia.
International Journal of Computer and Electrical
Engineering, Vol. 5, No. 3.
- Synthia, A. (2019). Analisis Nilai Peak Ground
Acceleration Menggunakan Metode Probabilistic
Seismic Hazard Analysis Wilayah Solok Selatan,
Sumatra Barat. Skripsi, Institut Teknologi Sumatera
(ITERA).
- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., and Humphrey,
J. R. (1997). Strong ground motion attenuation
relationships for subduction zone earthquakes.
Seismological Research Letters, 68, 58-73.

Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H. K., Somerville, P. G., and Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, 898-913.



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**