

PEMETAAN INDEKS BAHAYA GEMPA BUMI DAN PEMBUATAN SHAKEMAP GEMPA BUMI DKI JAKARTA MAPPING OF EARTHQUAKE HAZARD INDEX AND CREATING OF EARTHQUAKE SHAKEMAP DKI JAKARTA

Aulia Nurusyifa¹, Michael Valeri S¹, Sondang Riski W¹,
Yuni Sari¹, Aditya Setyo Rahman², Dadang Permana², Nurrohmah
Widajanti¹, Fajri Syukur Rahmatullah², Oriza Sativa², Taufik
Gunawan²

¹) Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281

²) Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610

*Email: aditya.rahman@bmkq.go.id and aulia.n@gmail.ugm.ac.id

ABSTRAK

BMKG menyediakan informasi gempa bumi terkini dan kekuatannya dalam besaran skala magnitudo, namun tidak dengan prediksi terjadinya gempa. Namun demikian, BMKG dapat memberikan daerah mana yang sering terjadi gempa dan daerah mana yang cenderung aman dari gempa bumi. Informasi tersebut diperoleh dengan memperbarui indeks bahaya bencana gempa bumi di suatu wilayah dengan mengacu pada intensitas guncangan gempa terbaru di wilayah tersebut. Nilai Ground Amplification Factor (GAF) dan Peak Ground Acceleration (PGA) permukaan yang diperoleh dari skenario shakemap secara bersama menghasilkan nilai intensitas guncangan permukaan bumi. Fuzzy logic digunakan dengan data masukan intensitas guncangan untuk memperoleh indeks bahaya gempa bumi. Keluaran berupa peta skenario shakemap dan peta indeks bahaya gempa bumi untuk wilayah DKI Jakarta. PGA permukaan mencerminkan potensi dari gempa bumi. Hasil akhir yaitu peta skenario shakemap dan peta indeks bahaya gempa bumi untuk wilayah DKI Jakarta yang dibagi dalam tiga kategori yaitu Indeks Bahaya Rendah yang didominasi oleh Jakarta Utara, kategori Sedang yang didominasi daerah Jakarta Pusat dan Jakarta Barat, kategori Tinggi didominasi oleh Jakarta Selatan dan Jakarta Timur.

Kata kunci: intensitas guncangan permukaan, faktor amplifikasi tanah, kecepatan gelombang permukaan, indeks bahaya gempa bumi, shakemap, fuzzy logic

ABSTRACT

BMKG provides information on recent earthquakes and their magnitude but not on earthquake predictions. However, the BMKG can provide information on which areas experience frequent earthquakes and which areas tend to be safe from earthquakes. This information is obtained by updating the earthquake hazard index in a region concerning the intensity of the most recent earthquake shaking. The Ground Amplification Factor (GAF) and Peak Ground Acceleration (PGA) values of the surface obtained from the shakemap scenario jointly produce the shaking intensity value of the earth's surface. Fuzzy logic is used with the input data of shaking intensity to get the earthquake hazard index. The output is a shakemap scenario map and an earthquake hazard index map for the DKI Jakarta area. The final result is a shakemap scenario map and an earthquake hazard index map for the DKI Jakarta area, which is divided into three categories: Low Hazard Index dominated by Jakarta Utara, Moderate category dominated by Jakarta Pusat and Jakarta Barat, and High category dominated by Jakarta Selatan and Jakarta Timur.

Keywords: *surface shock intensity, ground amplification factor, surface wave velocity, earthquake hazard index, shakemap, fuzzy logic*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sesar atau patahan merupakan batas antara dua bagian kulit bumi yang mengalami gerakan relatif dan dapat menyebabkan gempa bumi. Berdasarkan sifat pergeseran relatif sebenarnya, ahli geologi mendeskripsikan pergeseran sesar menjadi *normal fault, strike fault, reverse fault, oblique slip fault, dan thrust fault* [1]. Beberapa sesar yang dekat dengan DKI Jakarta yaitu Sesar Baribis, Sesar Cimandiri, dan Sesar Lembang. Selain itu, DKI Jakarta juga berdekatan dengan Zona Subduksi M7 dan M8 [2].

Bahaya merupakan situasi, kondisi, atau karakteristik biologis, klimatologis, geografis, geologis, sosial, ekonomi, politik, budaya dan teknologi suatu masyarakat di suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang berpotensi menimbulkan korban dan kerusakan [3]. Komponen bahaya merupakan fenomena alam yang dapat menyebabkan bencana, termasuk gempa bumi. Komponen bahaya ini digunakan dalam pengkajian risiko bencana dan dalam menghasilkan peta bahaya. Dalam penilaian risiko bencana, komponen bahaya memiliki bobot paling besar, yaitu 40% [4].

Penentuan indeks bahaya gempa bumi menjadi penting karena digunakan sebagai landasan konseptual dalam mengenali dan adaptasi terhadap potensi bahaya yang ada sehingga mampu meminimalisir dampak dan mengurangi indeks resiko bencana.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini yaitu:

- Menentukan nilai kecepatan gelombang geser sampai pada kedalaman 30 m dari permukaan (VS30) dari USGS dan Survei.
- Membuat skenario *shakemap* gempa bumi DKI Jakarta.
- Menentukan nilai PGA berdasarkan peristiwa yang terjadi pada pembuatan skenario *shakemap*.
- Menerapkan *fuzzy logic* dalam pembuatan peta indeks bahaya gempa bumi di DKI Jakarta.

1.3 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam peningkatan tingkat kewaspadaan terhadap bencana gempa bumi DKI Jakarta. Selain itu, hasilnya juga memberikan validasi terhadap tingkat bahaya gempa bumi dalam membantu lembaga dan badan terkait untuk upaya mitigasi bencana.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup meliputi beberapa tahapan untuk perhitungan dan pemetaan indeks bahaya gempa bumi di DKI Jakarta dengan memperbaharui intensitas guncangan gempa yang terkini. Ruang lingkup tersebut yaitu:

- Menentukan unit analisis, yaitu Provinsi DKI Jakarta.
- Menghitung nilai VS30 dari USGS dan survei.
- Menentukan PGA dengan menyesuaikan peristiwa yang terjadi yang diperoleh dari skenario *shakemap*.

- d. Menentukan nilai intensitas guncangan di permukaan bumi.
- e. Menerapkan *fuzzy logic*.
- f. Mengklasifikasi kelas bahaya sesuai kajian risiko bencana gempa bumi.
- g. Mentransformasi nilai kelas intensitas guncangan di permukaan menjadi nilai indeks.
- h. Menentukan luas kelas bahaya gempa bumi di DKI Jakarta.
- i. Membuat peta indeks bahaya gempa bumi di DKI Jakarta.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam penentuan risiko bencana, penelitian ini dibatasi untuk menghitung komponen ancaman (bahaya) dengan luaran berupa visualisasi berupa peta indeks bahaya gempa bumi dan peta skenario *shakemap* DKI Jakarta.

2. Landasan Teori

2.1. Bencana Gempa Bumi di DKI Jakarta

Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng utama yakni Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Filipina, dan Lempeng Pasifik. Hal ini menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana gempa bumi, tsunami, hingga letusan gunung api. Gempa bumi merupakan getaran asli dari dalam bumi, yang bersumber dari dalam bumi kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras [5]. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunungapi, akibat meteor jatuh, longoran (di bawah muka air laut), dan ledakan bom nuklir di bawah permukaan. Resonansi gelombang gempa bumi merupakan fenomena yang kerap melanda kota-kota yang didirikan di cekungan sedimen tebal, salah satunya yakni DKI Jakarta. DKI

Jakarta berada dekat dengan dua segmen yaitu Selat Sunda dan Jawa Barat-Tengah.

2.2. Komponen Indeks Bahaya Bencana Gempa Bumi

Komponen penentuan nilai intensitas dan parameter dalam perhitungan indeks bahaya yaitu PGA batuan dasar, AVS30, dan GAF sebagai data kajian spasial. Nilai intensitas getaran di permukaan diperlukan sebagai upaya mitigasi.

AVS30 merupakan nilai rata-rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m dari permukaan yang diperoleh dari inversi HVSR. Nilai AVS30 ini untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa bumi [6].

Nilai parameter GAF dan PGA untuk menghitung intensitas getaran di permukaan. Agar upaya mitigasi bencana lebih spesifik maka dilakukan langkah reklasifikasi terhadap nilai intensitas getaran di permukaan suatu wilayah terhadap gempa bumi [7]. Nilai PGA diperoleh dari pengolahan *shakemap*, merupakan peta yang menunjukkan besarnya guncangan gempa bumi dalam satuan percepatan (gal). *Input* model *shakemap* merupakan data percepatan maksimum dari jaringan *accelerograph* yang terdapat pada BMKG.

2.3. Metodologi Indeks Bahaya Bencana Gempa bumi

Indeks bahaya gempa bumi dibuat berdasarkan analisis intensitas guncangan di permukaan. Intensitas guncangan di permukaan diperoleh dari hasil penggabungan data

intensitas guncangan di batuan dasar dan data GAF [8]. Data intensitas guncangan di batuan dasar (Peta Zona Gempa Bumi respon spektra percepatan 1,0" di situs batuan untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun) merupakan turunan dari Peta *Hazard* Gempa Bumi Indonesia. Nilai GAF dapat dihitung dengan persamaan (1) [3].

$$\text{Log}(G) = 1.35 - 0.47\text{Log}AVS30 \pm 0.18 \quad (1)$$

2.4. SIG Fuzzy Membership untuk Analisis Indeks Bahaya Bencana

Fuzzy Membership mengklasifikasikan ulang atau mengubah data *input* menjadi skala 0 hingga 1 berdasarkan kemungkinan menjadi anggota dari kumpulan tertentu [9]. Nilai 1 untuk anggota himpunan yang ditentukan. Jenis *fuzzy membership* yang digunakan yaitu *fuzzy linier*.

3. Pengolahan Data

3.1 Data

Data ini berupa data sesar dan bidang subduksi Indonesia [2], data Sesar Baribis [10], data PGA dari hasil *running* skenario *shakemap*, dan dua nilai VS30 yang diperoleh dari dua sumber berbeda yaitu survei dan melalui *website earthquake.usgs*.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data untuk memperoleh nilai indeks bahaya gempa bumi pada wilayah Jakarta menggunakan perangkat ilmiah berbasis sistem informasi geografik yaitu Cygwin dan QGIS. Sesuai dengan ketersediaan data VS30 yang diperoleh, maka diperoleh dua versi Peta Indeks Bahaya Gempa Bumi DKI Jakarta. Tahapan pertama yang yaitu *running* pembuatan *shakemap* untuk memperoleh PGA dengan data

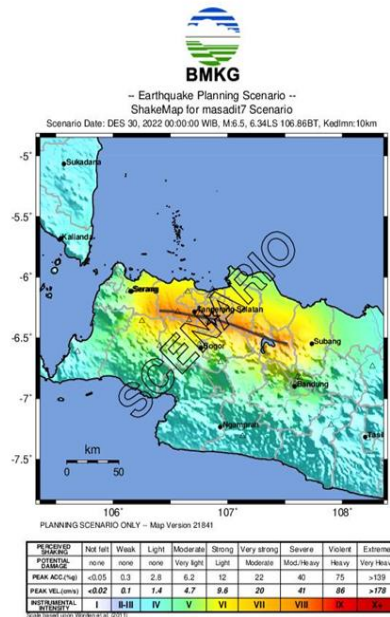
masukannya berupa tanggal skenario, dengan kekuatan magnitudo maksimal [2]. Hasilnya berupa nilai PGA. Tahap kedua, ekstraksi data VS30 yang bersumber dari survei dan USGS.

Selanjutnya, perhitungan nilai GAF berdasarkan persamaan (1). Hasil nilai GAF kemudian dikombinasikan dengan nilai PGA untuk memperoleh indeks bahaya gempa dengan *fuzzy logic*.

4. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan *shakemap* menggunakan perangkat lunak PuTTY dengan skenario tertentu pada tiga sesar dan dua zona subduksi di sekitar DKI Jakarta. Sesar-sesar tersebut yaitu Sesar Baribis, Sesar Cimandiri, dan Sesar Lembang. Zona subduksi yang digunakan yaitu zona M7 dan M8. Skenario yang dimaksud yaitu pembuatan *shakemap* dengan penentuan parameter gempa secara mandiri oleh pembuat peta, bukan berdasarkan kejadian gempa yang telah terjadi. Parameter yang ditentukan oleh pembuat peta untuk skenario terburuk yaitu titik pusat gempa diposisikan pada garis sesar maupun bidang zona subduksi yang paling dekat dengan DKI Jakarta. Selain itu, besar magnitudonya ditentukan berdasarkan magnitudo terbesar [2]. Hasil skenario *shakemap* sebagai berikut:

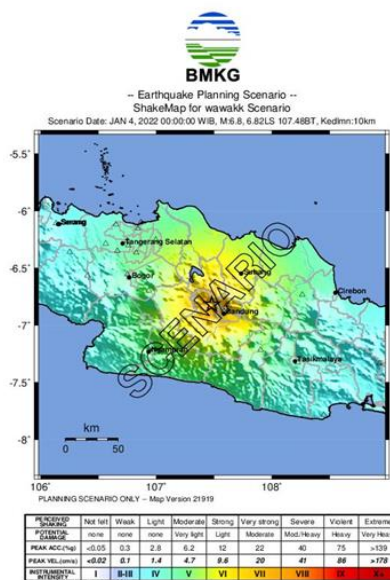
4.1 Skenario Shakemap



Gambar 4.1 Visualisasi shakemap Sesar Baribis

Menurut Gambar 4.1, hasil skenario shakemap menunjukkan apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6,5. Guncangan yang diterima berada pada tingkatan strong hingga

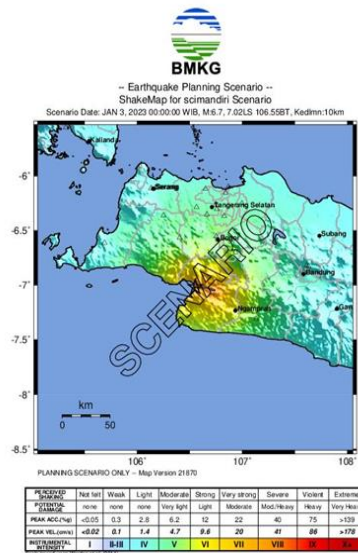
severe. Guncangan dengan intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan hingga tingkat heavy khususnya untuk daerah Jakarta Selatan.



Gambar 4.2 Visualisasi shakemap Sesar Lembang

Menurut Gambar 4.2, hasil skenario *shakemap* menunjukkan apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6,8, guncangan yang diterima berada pada tingkatan *moderate* atau skala V

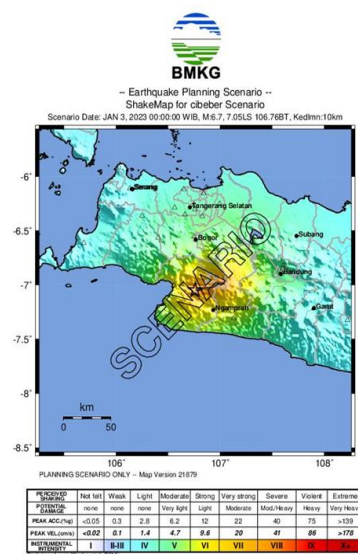
MMI, sehingga guncangan yang dihasilkan dari intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan (*very light*).



Gambar 4.3 Visualisasi shakemap Sesar Cimandiri Segmen Cimandiri

Menurut Gambar 4.3, hasil skenario *shakemap* menunjukkan apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6,7, guncangan yang diterima berada pada tingkatan *moderate* atau skala V

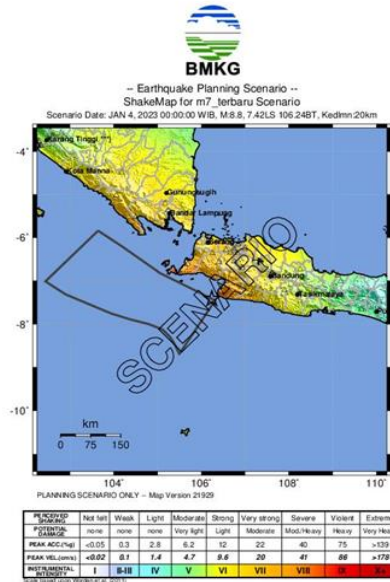
MMI. Oleh karena itu, skala tersebut dapat dikatakan bahwa guncangan yang dihasilkan dari intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan (*very light*).



Gambar 4.4 Visualisasi shakemap Sesar Cimandiri Segmen Cibeber

Menurut Gambar 4.4, hasil skenario *shakemap* menunjukkan apabila terjadi gempa dengan magnitudo 6,7, guncangan yang dihasilkan berada

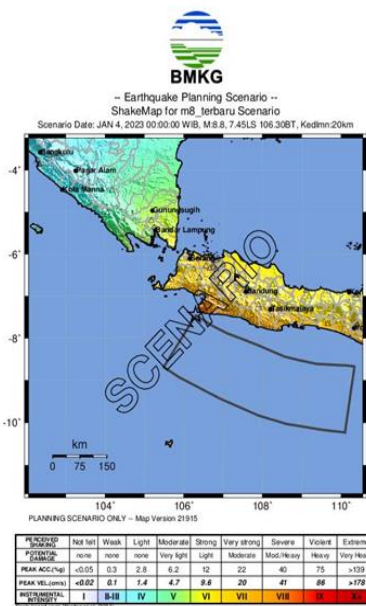
pada level *light* hingga *moderate*. Guncangan dengan intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan hingga tingkat *very light*.



Gambar 4.5 Visualisasi shakemap zona subduksi M7

Menurut Gambar 4.5, hasil skenario *shakemap* menunjukkan apabila terjadi gempa dengan magnitudo 8,8, guncangan yang dihasilkan berada

pada level *strong* hingga *very strong*. Guncangan dengan intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan hingga tingkatan *moderate* [11].



Gambar 4.6 Visualisasi shakemap zona subduksi M7

Menurut Gambar 4.6, hasil skenario *shakemap* menunjukkan bahwa apabila terjadi gempa dengan magnitudo 8,8, guncangan yang

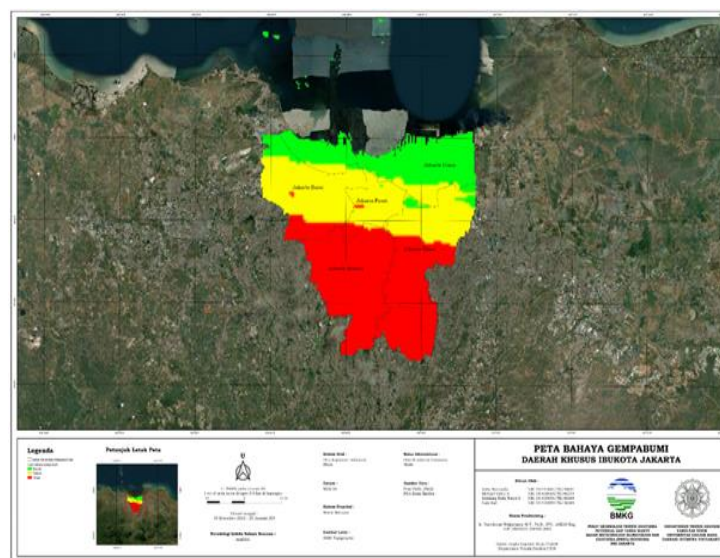
dihasilkan berada pada level *strong* hingga *very strong*. Guncangan dengan intensitas tersebut berpotensi memberi dampak kerusakan hingga tingkatan *moderate*.

4.2 Peta Indeks Bahaya Gempa Bumi DKI Jakarta

Pembuatan Peta Indeks Bahaya Gempa Bumi dilakukan dengan perhitungan GAF pada *tool Raster Calculator* dalam perangkat lunak ArcMap dengan *syntax* "**Power(10,1.35-0.47*Log10(VS30))**". Nilai PGA dari hasil skenario *shakemap* kemudian diolah untuk mendapatkan indeks guncangan permukaan. Perhitungan indeks guncangan permukaan dilakukan dengan *tool Raster Calculator* pada perangkat lunak ArcMap dengan mengalikan *layer* GAF dan PGA yang didapatkan dari hasil *shakemap* dengan *syntax*

"**GAF**" * "**PGA**". Selanjutnya, *fuzzy membership* dilakukan dengan metode linier dimana 0,25 merupakan nilai ambang tertinggi untuk kelas bahaya rendah gempa bumi, sedangkan nilai 0,55 merupakan nilai ambang terendah untuk kelas bahaya tinggi gempa bumi [3]. Kemudian, transformasi klasifikasi kelas bahaya dengan pengelompokan nilai rendah ($H \leq 0,333$), sedang ($0,333 < H \leq 0,666$), dan tinggi ($H > 0,666$). Tahap ini dilakukan dengan *Raster Calculator*, dengan *syntax* **Con ("Indeks_Bahaya" <= 0.333, 1, Con ("Indeks_Bahayai" > 0.666, 3, 2))**.

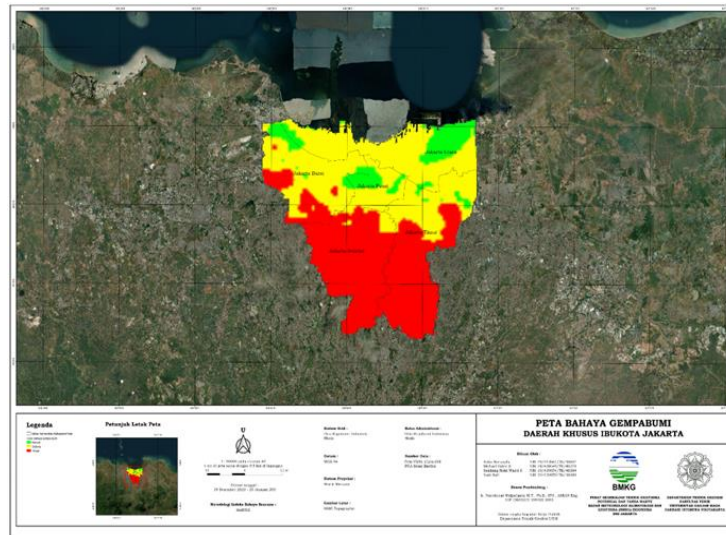
Tahap berikutnya yaitu perhitungan luas kelas bahaya gempa bumi dengan *tool Tabulate Area* pada perangkat lunak ArcMap. Batas administrasi sebagai *input* awal dengan pilihan *zone field* yaitu IDDESA. Data kelas bahaya gempa bumi hasil sebelumnya sebagai *input* dengan pilihan *class fields* yaitu *value*. Hasil Peta Indeks Bahaya Gempa Bumi yang diperoleh seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Visualisasi Peta Bahaya Gempa Sesar Baribis data USGS

Nilai indeks bahaya gempa bumi di DKI Jakarta yang didominasi oleh bahaya tingkat tinggi dapat terjadi akibat letak dari Sesar Baribis yang melintasi Kota Jakarta Selatan. Nilai

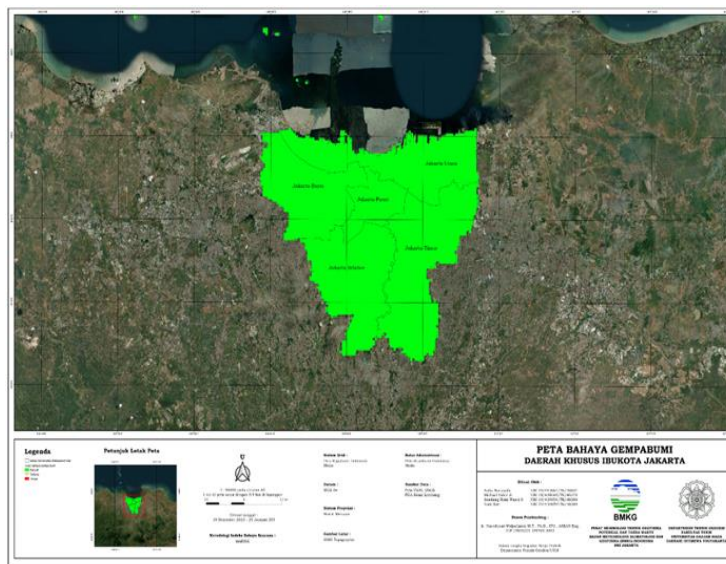
VS30 yang berbeda berasal dari citra satelit (USGS) dan pengukuran langsung di lapangan (survei lapangan)



Gambar 4.8 Visualisasi Peta Bahaya Gempa Sesar Baribis data survei

Perbedaan metode akuisisi data VS30 memberikan nilai dengan tingkat kerapatan yang berbeda sehingga hasil nilai indeks bahaya

berbeda di beberapa titik. Perbedaan tersebut terlihat pada Kota Jakarta Pusat, Jakarta Barat, Jakarta Utara, dan sebagian Jakarta Timur.



Gambar 4.9 Visualisasi Peta Bahaya Gempa Sesar Lembang data USGS

Berdasarkan dari pengaruh Sesar Lembang terhadap DKI Jakarta, nilai

indeks bahaya gempa bumi yang dihasilkan tergolong rendah. Hal itu

disebabkan karena posisi Sesar Lembang yang berada di Jawa Barat, dimana letaknya cukup jauh dari DKI

Jakarta. Berdasarkan kelas bahaya gempa yang diperoleh, akuisisi data yang berbeda pada kedua data VS30 yang berasal dari USGS (citra satelit) maupun survei (pengukuran langsung di lapangan) tidak memberikan pengaruh. Demikian juga pada Sesar Cimandiri, Zona Subduksi M7, dan Zona Subduksi M8, nilai indeks bahaya gempa bumi yang dihasilkan tergolong rendah.

4.3 Luas Wilayah Bahaya

Perhitungan luas wilayah untuk tiap kelas bahaya dilakukan dengan *tool Tabulate Area* pada perangkat lunak ArcGIS. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan IDDESA di tiap-tiap kecamatan di masing-masing kota.

Hasilnya dapat diketahui kelas bahaya untuk masing-masing desa yang ada beserta luas areanya. Luas area yang diperoleh berada pada satuan meter persegi. Value_1 menunjukkan kelas bahaya 1, Value_2 menunjukkan kelas bahaya 2, dan Value_3 menunjukkan kelas bahaya 3. Beberapa desa tidak hanya memiliki satu kelas bahaya gempa, sebagai contoh di Desa Marunda yang terletak di Kota Jakarta Utara yang memiliki kelas bahaya 1 dan kelas bahaya 2. Kelas bahaya 3 didominasi oleh desa yang terletak di Jakarta Selatan.

Hal ini sejalan dengan lokasi Sesar Baribis yang terletak di Jakarta Selatan sehingga membuat desa-desa di Jakarta Selatan memiliki kelas bahaya yang tinggi. Sama halnya dengan hasil kelas bahaya berdasarkan VS30 hasil survei, hasil kelas bahaya berdasarkan USGS juga menunjukkan bahwa desa-desa di Kota Jakarta Selatan didominasi

oleh kelas bahaya 3 [11]. Meskipun demikian, beberapa desa juga memiliki area ft yang berkelas bahaya 2 seperti Desa Setia Budi dan Desa Manggarai.

Adanya perhitungan luas kelas bahaya ini mampu menunjukkan secara lebih rinci persebaran kelas bahaya yang tertampil dalam peta. Sesar dan zona subduksi lainnya sama yaitu seluruh DKI Jakarta masuk dalam klasifikasi rendah dikarenakan nilai PGA yang diperoleh dari skenario *shakemap* kecil sehingga kelas bahaya gempa yang dirasakan di DKI Jakarta tergolong rendah.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Tabel 1. Perbandingan Indeks Bahaya Gempa Bumi dengan Sumber Data VS30 Berbeda.

Kab/Kota	Indeks Bahaya Gempa Bumi (Dominasi) pengaruh Sesar Baribis	
	VS30 USGS	VS30 Cipta
Jakarta Utara	Rendah	Sedang
Jakarta Barat	Sedang	Sedang
Jakarta Pusat	Sedang	Sedang
Jakarta Timur	Tinggi	Tinggi
Jakarta Selatan	Tinggi	Tinggi

Berdasarkan hasil pembahasan yang ditampilkan pada Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa variasi kelas bahaya gempa dari dua data VS30 dengan sumber yang berbeda terjadi karena adanya perbedaan metode pengumpulan data. Data VS30 dari

hasil survei diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan sedangkan USGS dengan pendekatan citra satelit. Selain itu, besar kecilnya intensitas bahaya gempa bumi dipengaruhi perbedaan jarak pusat gempa terhadap DKI Jakarta. Semua skenario gempa untuk penentuan nilai PGA menggunakan pusat gempa terdekat dengan DKI Jakarta untuk memperoleh gambaran *worst case* ketika gempa terjadi.

5.2 Saran

Beberapa kekurangan masih ada dalam tahap awal hingga tahap produksi luaran peta intensitas guncangan permukaan dan peta bahaya gempa bumi. Proses pengolahan selanjutnya lebih baik apabila dengan perangkat lunak atau cara secara otomatis untuk mencari komponen bahaya gempa bumi sehingga tidak memasukkan secara manual untuk setiap titik agar lebih efektif dan efisien.

6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Pusat atas kesempatan yang diberikan kepada mahasiswa untuk menerapkan ilmu dan pengalaman yang didapat selama berkuliah di Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, serta telah menyediakan data dan informasi tentang gempa bumi serta komponen bahaya lainnya.

7. Daftar Pustaka

- [1] Carlson, D. H., Plummer, C. C., & McGeary, D. (2011). *Physical Geology: Earth Revealed, Ninth Edition* (Margaret J. Kemp). Ryan Blankenship.
- [2] PuSGeN. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [3] BNPB. (2019). Modul Teknis KRB Gempa Bumi. Edisi 1. Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- [4] BNPB. (2018). IRBI 2018. Sentul: Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan.
- [5] Nur, A. M. (2010). Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 7(1).
- [6] Nurahmi, Effendi, & Sandra. (2015). Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise. *Gravitasi*, Vol.14, Nomor 1
- [7] BNPB. (2015). Metodologi Zonasi Risiko Bencana. BNPB. Jakarta.
- [8] BNPB. (2020). Buku IRBI (Indeks Risiko Bencana Indonesia). Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [9] ESRI. (2016). How Fuzzy Membership Works. Diakses pada 8 Januari 2023, dari <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst->

toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm

- [10] Damanik, R., Supendi, P., Widiyantoro, S., Rawlinson, N., Ardianto, A., Gunawan, E., Husni, Y.M., Zulfakriza, Z., Sahara, D.P., & Shiddiqi, H.A., (2021). Earthquake Monitoring of the Baribis Fault near Jakarta, Indonesia, using Borehole Seismometers. *Geoscience Letters*, 8(1), pp.1-9. <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00209-4>.
- [11] Wald, D.J., Quitarano, V., Worden, C.B., Hopper, M., & Dewey, J.W., 2011. USGS Did You Feel It?" Internet-based Macroseismic Intensity Maps. *Annals of Geophysics*, 54(6).