



**Pengembangan Peta Bahaya Gempabumi di Batuan Dasar untuk Daerah Cilacap dan Sekitarnya**  
*Development of Seismic Hazard Map on Bedrock in Cilacap Area and its Vicinity*

**Mohamad Ridwan<sup>1</sup>, Asdani Soehaimi<sup>1</sup>, S.R. Sinung Baskoro<sup>2</sup>, Yayan Sopian<sup>2</sup>, Robi Setianegara<sup>2</sup>, Akbar Cita<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jalan Sangkuriang Bandung  
<sup>2</sup>Pusat Survei Geologi, Kementerian ESDM, Jalan Diponegoro 57 Bandung  
 Email: m.ridowan@gmail.com

Naskah diterima: 20 Juli 2022, Revisi terakhir: 29 November 2022, Disetujui: 29 November 2022, Online: 03 Januari 2023  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24.1.31-38>

**Abstrak-**Perkembangan pemetaan bahaya gempa untuk skala perkotaan (mikrozonasi) semakin populer dan sudah mulai dipertimbangkan untuk kepentingan tata ruang kota pengurangan risiko bencana. Seperti diketahui bahwa wilayah kota Cilacap termasuk kota besar dimana banyak aset penting seperti kilang minyak dan bangunan-bangunan penting lainnya. Selain memiliki potensi kegempaan yang cukup tinggi karena banyak sumber-sumber gempabumi di sekitarnya, wilayah kota Cilacap memiliki kondisi geologi yang cukup rentan terhadap goyangan gempa dikarenakan wilayah ini tersusun oleh endapan Kuartar. Penilaian bahaya gempabumi untuk kota Cilacap dalam makalah ini merupakan tahap awal untuk mengetahui tingkat bahaya gempabumi di batuan dasar sebelum dilakukan analisis bahaya gempabumi di permukaan dengan memperhitungkan kondisi geologi lokal. Hasil analisis tingkat bahaya gempabumi di daerah kajian memperlihatkan nilai PGA untuk periode ulang 2500 tahun berada dalam rentang 0.31 – 0.51g, spectrum percepatan (Sa) untuk periode 0.2 detik antara 0.65 – 1.10g dan untuk periode 1.0 detik berada pada rentang 0.37 – 0.52g dimana penyebarannya meningkat ke arah selatan yang kemungkinan dipengaruhi oleh sumber gempa megathrust yang berada di bagian selatan. Hasil tersebut memperlihatkan kesesuaian yang sangat baik dengan peta bahaya gempa nasional untuk periode ulang yang sama.

**Abstract:-***Development of the seismic hazard mapping for city scale (microzonation) become more popular and has been considered for urban planning and disaster risk reduction. As we know that the Cilacap area is a major city which is many important assets such as oil refineries and other important buildings. In addition to having a very high seismic potential due to the many earthquake sources around it, the city of Cilacap has a geological condition that is quite vulnerable to earthquake shaking because this area is consist of Quaternary deposits. Seismic hazard assessment for the city of Cilacap in this paper is the preliminary result to estimate the level of seismic hazard on the bedrock before an analysis of the seismic hazard on the surface is carried out by taking into account local geological conditions. The analysis results of the seismic hazard level on the study area show that the PGA for the 2500 year return period is in the range of 0.31 – 0.51g, spectrum acceleration (Sa) for the period of 0.2 second is between 0.65 – 1.10g and for the period of 1.0 second is in the range of 0.37 – 0.52g where the spread increases to the southern which is probably influenced by the seismic source of the megathrust located in the southern part. The results show a very good agreement with the national seismic hazard map for the same return period.*

Keyword: *Seismic hazard, microzonation, Cilacap*

Kata Kunci: Seismic hazard, microzonation, Cilacap

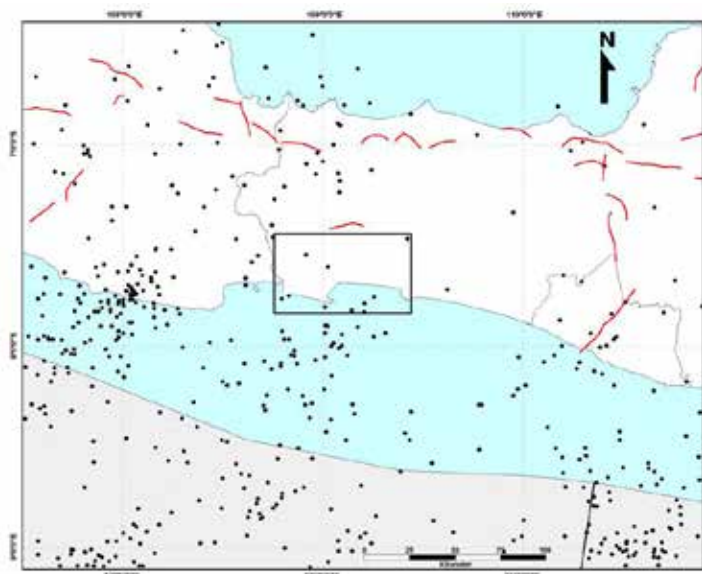
## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki seismisitas yang tinggi, dikarenakan secara geografis berada di dalam tatanan tektonik aktif dan kompleks. Secara global terdapat empat lempeng tektonik aktif yang mempengaruhi kegempaan di Indonesia yaitu lempeng Samudera Hindia-Australia, lempeng Benua Eurasia (Paparan Sunda), lempeng Samudera Pasifik dan lempeng Philipina (Bock dkk., 2003). Keempat lempeng tektonik aktif tersebut bergerak dengan arah yang berbeda antara satu dengan lainnya. Daerah pertemuan antar lempeng tektonik di Indonesia membentuk jalur tunjaman yang memanjang mulai dari sebelah barat Pulau Sumatera, selatan Pulau Jawa, selatan Nusa Tenggara Barat hingga selatan Pulau Sumba di Nusa Tenggara Timur. Kemudian berlanjut ke bagian timur membentuk jalur tumbukan hingga ke selatan Kepulauan Aru dan jalur tunjaman yang dikenal sebagai Busur Banda di Kepulauan Maluku. Lempeng tektonik aktif tersebut di atas terus bergerak hingga saat ini sehingga membentuk sistim tektonik yang dapat mengakibatkan terbentuknya patahan-patahan aktif baik di wilayah daratan maupun lautan yang seringkali mengakibatkan terjadinya gempa-gempa dangkal dan dalam yang berpotensi menimbulkan kerusakan.

Wilayah Cilacap dan sekitarnya sebagai daerah kajian merupakan bagian dari kegempaan regional Jawa Tengah seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Wilayah ini memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi, dimana berdasarkan data sejarah kegempaan pada katalog gempa bumi PuSGeN (2017) yang dilaporkan

sejak tahun 1900 banyak sekali gempa bumi yang terjadi di lantai Samudera Hindia yang berasosiasi dengan zona tunjaman atau *megathrust* dan yang berada di wilayah daratan sebagai gempa bumi dangkal yang berasosiasi dengan patahan-patahan aktif. Seluruh catatan gempa bumi tersebut tentunya sangat berpengaruh terhadap tingkat bahaya (*hazard*) gempa bumi di wilayah Cilacap dan sekitarnya. Kajian tingkat bahaya gempa bumi untuk skala perkotaan merupakan bagian dari kegiatan mitigasi yang dapat diterapkan baik untuk perencanaan wilayah yang berbasis kebencanaan maupun untuk kepentingan disain sesuai dengan peruntukannya yang tentunya harus memperhitungkan kondisi geoteknik dan geologi setempat.

Dalam beberapa kasus kejadian gempa bumi di berbagai daerah di Indonesia memperlihatkan bahwa kerusakan bangunan pada suatu kota yang diakibatkan oleh gempa bumi sangat variatif. Hal ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain: kondisi bangunan, karakteristik kegempaan, dan juga kondisi geologi lokal dan tanah setempat. Oleh karenanya penyusunan peta mikrozonasi bahaya gempa bumi untuk suatu wilayah perkotaan menjadi sangat penting baik untuk rujukan perencanaan wilayah maupun evaluasi kerusakan akibat gempa bumi. Tentunya dalam penyusunan peta mikrozonasi diperlukan data-data yang komprehensif berdasarkan hasil kajian dari berbagai aspek geologi, geofisika dan geoteknik yang dilakukan secara bertahap tergantung kepada *level* peta yang diperlukan. Untuk kota-kota besar yang berada di daerah dengan tingkat kegempaan tinggi seharusnya sudah mulai dilakukan walaupun dari mulai level yang paling rendah.



Gambar 1. Peta kegempaan wilayah Jawa Tengah-Jawa Barat dengan zona sumber gempa bumi shallow crustal (garis warna merah) dan megathrust (warna hitam) (modifikasi dari PuSGeN, 2017). Daerah kajian berada di daerah Cilacap dan sekitarnya yang ditunjukkan dengan simbol segiempat warna hitam.

Kondisi geologi daerah Cilacap dan sekitarnya (Asikin dkk., 1992) memiliki geomorfologi berupa dataran pantai berundak yang merupakan hasil dari aktivitas neotektonik yang dikontrol oleh beberapa struktur geologi. Satuan batuan yang menyusun wilayah ini terdiri dari endapan pantai (Qac) dan aluvium (Qa), dimana Soebowo dkk. (2009) menguraikan lagi endapan tersebut menjadi endapan pantai, endapan laguna, endapan rawa dan endapan alur sungai. Beberapa singkapan batuan Tersier yang banyak ditemukan antara lain: Formasi Halang anggota breksi dan batupasir, Kalipuncang dan Gabon. Struktur geologi yang umum ditemukan di daerah ini adalah antiklin dan sinklin yang berarah relatif barat-timur dan beberapa patahan mendatar yang berarah barat-daya-timurlaut, sedangkan di daerah mendekati pantai belum ditemukan indikasi struktur geologi karena kemungkinan tertutup oleh lapisan endapan pantai dan alluvium.

Beberapa studi sebelumnya yang terkait dengan kajian geologi dan kegempaan wilayah Cilacap dan sekitarnya antara lain: Soebowo, dkk. (2009) melakukan kajian kondisi geoteknik di daerah pesisir pantai Cilacap, Ridwan dan Aldiamar (2017) yang membahas hasil analisis respons site spesifik pada satu lokasi pemoran, Soehaimi, dkk. (2021) yang membahas tentang evaluasi nilai *hazard* gempa nasional untuk infrastruktur. Makalah ini akan mengkaji tingkat bahaya (*hazard*) gempabumi di batuan dasar untuk daerah Cilacap dan sekitarnya dengan menggunakan pendekatan probabilistik untuk periode ulang 2500 tahun sebagai kajian awal (*preliminary study*) untuk menyusun pengembangan peta mikrozonasi bahaya gempabumi di permukaan setelah tersedianya data-data geologi dan geoteknik lokal dimana peta-peta *hazard* gempa tersebut dapat digunakan secara langsung untuk berbagai kepentingan.

## METODOLOGI

Secara umum analisis bahaya gempa dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu dengan probabilistik dan deterministik atau gabungan keduanya yang akan sangat tergantung kepada lokasi dan parameter-parameter sumber gempabumi yang mempengaruhi suatu lokasi kajian. Analisis bahaya gempa untuk skala wilayah perkotaan atau area yang tidak terlalu luas seperti pemetaan mikrozonasi diperlukan input data yang komprehensif selain data-data kegempaan dan parameterisasi sumber gempa, juga diperlukan hasil kajian kondisi geoteknik dan geologi lokal yang akan memberikan nilai faktor amplifikasi yang berbeda-beda yang dikenal dengan istilah *site effect*. Berdasarkan tingkat kelengkapan informasi peta, penyusunan peta mikrozonasi terbagi dalam

beberapa *level* (Sitharam dan Anbazhagan, 2008) tergantung kepada ketersediaan data, oleh karenanya hal ini dapat dilakukan secara bertahap mulai dari *level* yang paling rendah yaitu *level* 1 atau 2 sesuai dengan tingkat kepentingan.

Tahap pertama dalam penyusunan peta mikrozonasi pada suatu wilayah dapat dimulai dengan kompilasi data-data dari hasil studi para peneliti sebelumnya untuk melakukan penilaian *hazard* gempa di batuan dasar untuk berbagai frekuensi/periode dimana untuk kajian awal ini dapat disusun data-data antara lain: parameter-parameter sumber gempa dan data gempabumi *historik* yang dipertimbangkan masih berpengaruh terhadap kegempaan di sekitar lokasi kajian. Pemilihan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) juga merupakan faktor yang sangat penting yang sesuai dengan model sumber gempanya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik tentunya perlu dilakukan studi yang lebih rinci dan komprehensif mengenai sumber-sumber gempabumi di wilayah-wilayah yang belum terpetakan atau belum teridentifikasi secara lengkap.

Parameter geoteknik dan geologi lokal selanjutnya dapat diperhitungkan apabila data-datanya sudah tersedianya secara lengkap sebagai parameter input untuk penilaian faktor amplifikasi dimana nilainya sangat tergantung kepada frekuensi dan besaran goyangan gempa, ketebalan dan kekerasan lapisan sedimen permukaan. Penentuan faktor amplifikasi untuk kepentingan praktis dapat merujuk kepada standar yang berlaku yaitu SNI-1726-2019 dimana nilainya dapat ditentukan berdasarkan parameter Vs30 atau NSPT30 yang merupakan hasil pengujian di lapangan baik dengan metode geofisika maupun geoteknik, dan nilai spektrum percepatan pada tiap periode dari hasil analisis di batuan dasar. Sedangkan untuk kepentingan yang lebih spesifik dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Site Specific Respons Analysis* (SSRA).

Metoda PSHA di batuan dasar dilakukan dengan berdasarkan pada Teori Probabilitas Total (Cornel, 1968; Kramer, 1996) dengan menggunakan model matematika yang dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$P[I \geq i] = \int P[I \geq i, m, r] f_M(m) f_R(r) dm dr$$

dimana:

$f_M$  = fungsi probabilitas magnitudo

$f_R$  = fungsi probabilitas jarak

$P[I \geq i, m, r]$  = probabilitas dari intensitas I yang sama atau lebih besar dari intensitas I di suatu lokasi dengan kekuatan gempa M dan jarak sumber R.

Kelebihan dari analisis dengan pendekatan probabilitas ini dapat memperhitungkan persen probabilitas terlampaui dalam rentang masa tertentu atau sesuai dengan periode ulang gempa yang direncanakan untuk berbagai kepentingan.

### PETA HAZARD GEMPABUMI DAERAH CILACAP DAN SEKITARNYA

Komputasi PSHA untuk daerah Cilacap dan sekitarnya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Openquake yang dikembangkan oleh Global Earthquake Model (GEM) (Pagani dkk., 2014). Berdasarkan hasil studi tim PuSGeN (2017) dimana seluruh kejadian gempabumi yang tersusun dalam katalog gempa Indonesia dimodelkan dalam beberapa model sumber gempabumi berdasarkan tatanan tektonik Indonesia. Beberapa model sumber gempabumi yang terdapat di Indonesia yaitu: patahan (*shallow crustal*) dan subduksi (*megathrust*) dimana untuk sumber-sumber gempabumi yang sudah teridentifikasi dengan baik digunakan untuk mengelompokkan data-data kejadian gempa tersebut. Sedangkan untuk model sumber gempabumi yang belum teridentifikasi dikelompokkan kedalam model gempabumi *background* yang dapat dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan kedalamannya yaitu untuk yang dangkal (*shallow background*) dan yang dalam (*deep background*).

Gambar 1 memperlihatkan sumber-sumber gempabumi daerah Jawa Tengah dimana wilayah Cilacap dan sekitarnya merupakan bagian dari wilayah ini kemungkinan terdapat banyak sumber-sumber gempabumi di daratan seperti terlihat dari penyebaran episenter kejadian gempabumi. Beberapa sumber gempabumi patahan yang sudah teridentifikasi secara lengkap dengan parameter-parameternya terlihat ada beberapa sumber gempabumi yang diperhitungkan masih berpengaruh terhadap kegempaan wilayah kajian yaitu segmen-segmen patahan aktif pada jalur *Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone* antara lain: segmen Subang, Cirebon, Brebes, Tegal dan Pekalongan, serta patahan-patahan lain yang berada diluar jalur tersebut seperti: patahan Ciremai, Ajibarang, Opak dan Merapi-Merbabu (PuSGeN, 2017). Tentunya kajian mengenai pemetaan sumber gempabumi ini masih perlu dilanjutkan dan dilakukan lebih rinci lagi terutama untuk daerah-daerah yang belum teridentifikasi.

Selain sumber gempabumi patahan aktif yang terletak di daratan terdapat juga sumber gempabumi yang terletak di lautan yang berasosiasi dengan zona *megathrust* yang terbagi dalam beberapa segmen dimana yang terdekat dengan wilayah Cilacap adalah segmen Jawa Barat-Jawa Tengah dan Jawa Timur. Seluruh

sumber-sumber gempabumi tersebut digunakan dalam perhitungan tingkat bahaya gempa di wilayah Cilacap dan sekitarnya dengan menggunakan parameter seperti diperlihatkan pada Tabel 1 untuk sumber gempabumi patahan dan Tabel 2 untuk sumber gempabumi *megathrust*.

Tabel 1. Parameter sumber gempabumi patahan (PuSGeN, 2017)

Sesar	Slip-rate	Mmax
	mm/th	
Subang	0.1	6.5
Cirebon	0.1	6.5
Brebes	0.1	6.5
Tegal	0.1	6.5
Pekalongan	0.1	6.5
Semarang	0.1	6.5
Ciremai	0.1	6.5
Ajibarang	0.1	6.5
Opak	0.75	6.6
Merapi-Merbabu	0.1	6.6

Tabel 2. Parameter sumber gempabumi Megathrust (PuSGeN, 2017)

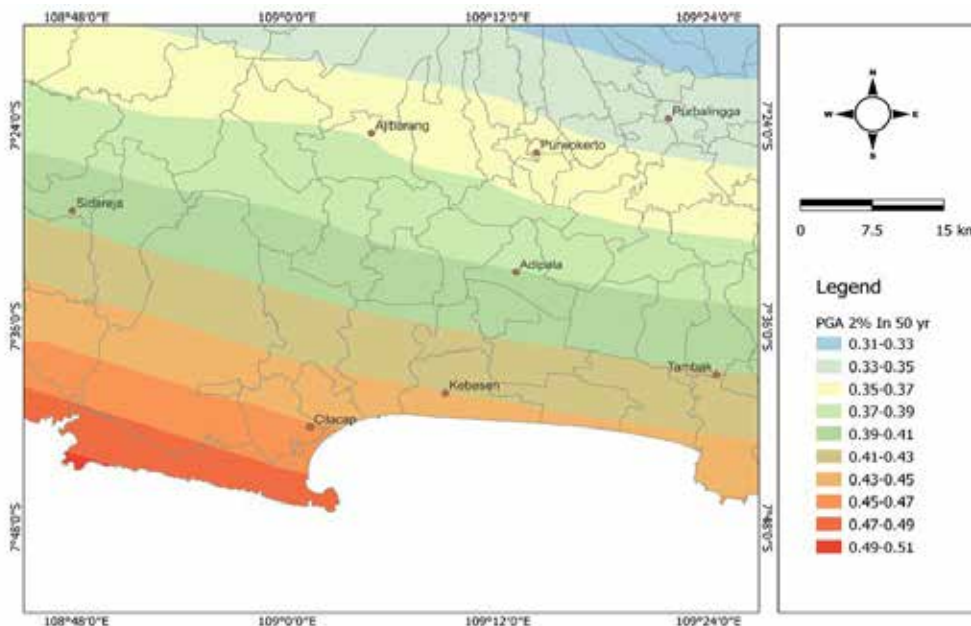
Megathrust	a	b	Mmax
Segmen Jawa Barat-Jawa Tengah	5.55	1.08	8.7
Segmen Jawa Timur	5.63	1.08	8.7

Selain parameter-parameter utama pada Tabel 1 dan 2, parameter lainnya dari sumber gempabumi patahan yang digunakan untuk keperluan komputasi PSHA antara lain: koordinat jalur patahan berdasarkan hasil *tracing* dengan bantuan peta dasar yang memiliki resolusi tinggi, mekanisme dan dimensi patahan (kedalaman dan kemiringan bidang patahan). Sedangkan untuk sumber gempabumi *megathrust* adalah koordinat batas segmen yang didefinisikan sampai kedalaman 50 km dan parameter a-b yang dihitung berdasarkan data sejarah kejadian gempabumi dalam suatu area segmen *megathrust* dengan menggunakan data-data gempabumi utama (*main shock*) (Asrurifak dkk. 2010).

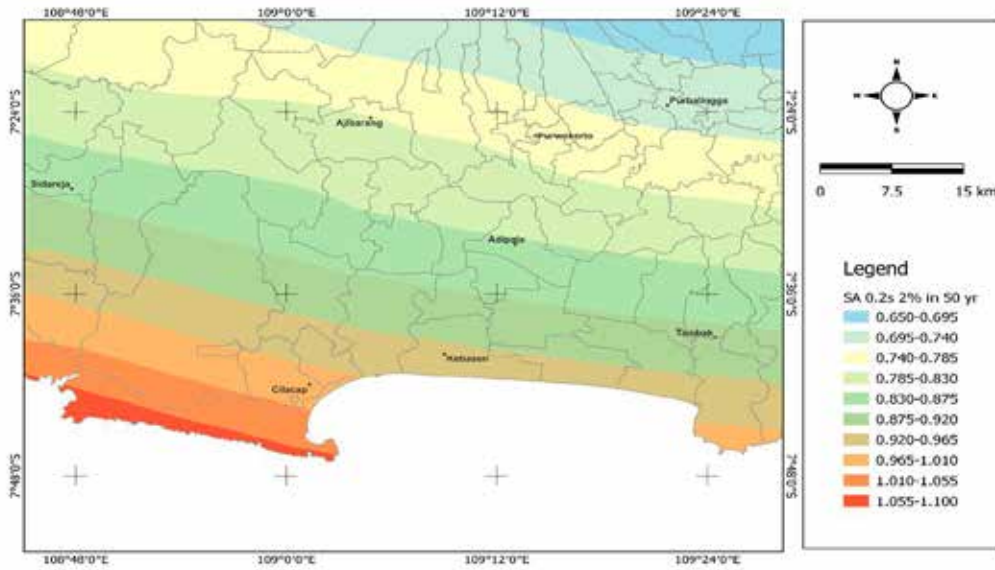
Model GMPE merefleksikan model penjalaran gelombang gempabumi dari suatu lokasi sumber gempabumi untuk setiap jenis gempabumi ke suatu lokasi pengamatan yang diekspresikan oleh model matematik yang sangat spesifik untuk setiap wilayah. Idealnya persamaan atenuasi setempat digunakan untuk perhitungan *hazard* gempabumi pada suatu wilayah kajian, namun dikarenakan belum tersedianya model persamaan empiris untuk wilayah Indonesia maka dalam proses PSHA pada kajian ini dipilih beberapa persamaan empiris yang diperoleh dari tempat lain (PuSGeN, 2017). Pemilihan GMPE dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OpenQuake (Weatherill, 2015; Pagani dkk., 2014) untuk proses komputasi penilaian *hazard* gempabumi. Beberapa model GMPE yang digunakan dalam kajian ini merujuk kepada model yang umum digunakan dalam beberapa referensi yaitu untuk sumber gempabumi *megathrust*: Zhao dkk. (2006) dan sedangkan untuk sumber gempabumi patahan (*shallow crustal*): Boore-Atkinson (2014), Campbell-Bozorgnia (2014) dan Chiou-Youngs (2014).

Selanjutnya dengan pembobotan (*weighting*) menggunakan *logic tree* masing-masing untuk *shallow crustal* dan untuk *megathrust*, proses komputasi

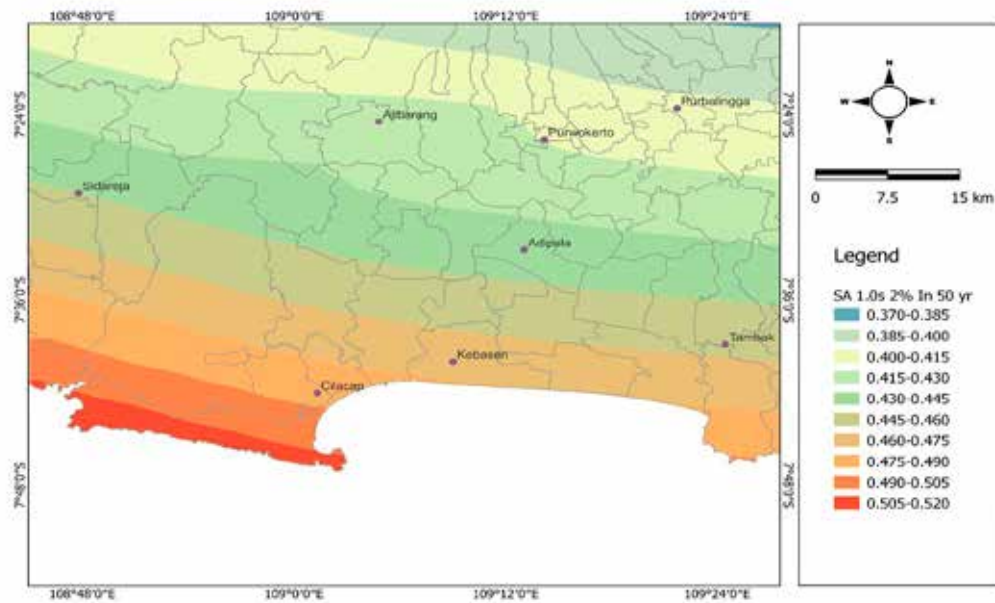
PSHA dilakukan untuk PGA, spektrum percepatan pada periode 0.2 detik dan 1.0 detik masing-masing untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang 2500 tahun dan dipresentasikan dengan menggunakan peta dasar berupa Peta Rupabumi Indonesia skala 1: 50.000 dari Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia (2015-2019) diperoleh hasil seperti diperlihatkan pada gambar 2 – 4. Nilai *hazard* gempabumi untuk PGA berada dalam rentang 0.31 – 0.51g, spektrum percepatan untuk periode 0.2 detik berada pada rentang 0.65 – 1.10g dan untuk periode 1.0 detik berada pada rentang 0.37 – 0.52g terlihat penyebarannya secara bergradasi meningkat ke arah selatan dimana nilai terendah berada di bagian Utara sedangkan nilai tertinggi berada di bagian selatan di sekitar garis pantai. Hal ini memperlihatkan bahwa sumber gempabumi yang paling berpengaruh terhadap daerah Cilacap dan sekitarnya kemungkinan adalah *megathrust* segment Jawa Barat-Jawa Tengah yang berada di bagian selatan kota Cilacap yaitu di Samudera Indonesia. Selain jaraknya cukup dekat dari lokasi kajian, gempabumi tersebut memiliki magnitudo maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan *shallow crustal* yang berada di daratan.



Gambar 2. Peta hazard gempa PGA (Peak Ground Acceleration) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun untuk daerah Cilacap dan sekitarnya.



Gambar 3. Peta hazard gempa spektrum percepatan periode 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun untuk daerah Cilacap dan sekitarnya.



Gambar 4. Peta hazard gempa spektrum percepatan periode 1.0 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun untuk daerah Cilacap dan sekitarnya

Hasil tersebut di atas memperlihatkan kesesuaian yang cukup baik dibandingkan dengan peta gempabumi nasional Indonesia (2017), adapun nilai *hazard* yang sedikit lebih kecil dikarenakan untuk skala wilayah atau perkotaan dibuat gridnya yang lebih kecil/rapat yaitu pada 0.02 derajat, selain itu juga kemungkinan dikarenakan pada perhitungan ini hanya dilakukan dengan pendekatan probabilistik dengan menggunakan input sumber gempabumi terdekat. Peta hasil perhitungan ini merupakan gambaran awal mengenai tingkat bahaya gempabumi di batuan dasar untuk wilayah Cilacap dan sekitarnya untuk selanjutnya dapat dilakukan kajian yang lebih rinci dengan memperhitungkan hasil kajian geoteknik dan geologi lokal.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil PSHA di batuan dasar untuk wilayah Cilacap dan sekitarnya untuk periode ulang 2500 tahun dengan menggunakan input sumber gempabumi patahan dan *megathrust* yang dipertimbangkan masih berpengaruh terhadap lokasi kajian diperoleh nilai PGA dalam rentang 0.31-0.55 g, *spectrum acceleration* untuk periode 0.2 detik antara 0.65-1.19 g dan untuk periode 1.0 detik berada pada rentang 0.37-0.55 g dimana penyebarannya berarah Utara-Selatan dan nilainya semakin besar ke arah selatan, hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan sumber gempa *megathrust* yang berada di bagian selatan adalah yang paling berpengaruh terhadap tingkat bahaya gempa di

daerah Cilacap dan sekitarnya dibandingkan dengan sumber gempabumi lainnya yang berada di daratan. Lokasi segmen *megathrust* ini cukup dekat dengan lokasi kajian dan juga memiliki magnitudo maksimum yang cukup besar sehingga berpotensi menghasilkan goyangan yang lebih besar.

Apabila dibandingkan dengan peta gempa nasional Indonesia 2017 yang diproses dengan menggunakan perangkat lunak PSHA-USGS, hasil perhitungan bahaya gempa untuk wilayah kajian ini dengan menggunakan perangkat lunak *OpenQuake* memperlihatkan kesesuaian yang sangat baik untuk rentang nilai percepatan maupun penyebarannya. Pada beberapa bagian yang nilai percepatannya sedikit lebih kecil kemungkinan dikarenakan pada perhitungan ini lokasi kajiannya dibuat dalam grid yang lebih rapat dibandingkan dengan peta gempabumi nasional Indonesia 2017. Hasil ini merupakan tahap awal dalam penyusunan peta mikrozonasi bahaya gempabumi untuk daerah Cilacap dan sekitarnya, sedangkan untuk melengkapi hasil kajian *hazard* gempabumi sampai di permukaan perlu dilakukan penyelidikan geoteknik dan geologi lokal yang lebih rinci.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Survei Geologi atas ijin penerbitan dan dukungannya dalam melakukan kajian lapangan, serta tim penelaah yang telah memberikan masukan positif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., Gafoer, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas Skala 1: 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Asrurifak, M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoso, W., & Hendriyawan, H. (2010). Development of spectral hazard map for Indonesia with a return period of 2500 years using probabilistic method. *Civil Engineering Dimension*, 12(1), 52-62.
- Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia, 2015-2019. Peta Rupabumi Digital Indonesia. Bogor, Jawa-Barat. Diakses dari: <http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S.S.O., and Calais, E. 2003. Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurement, *Journal of Geophysics Research*, 108, B8, 67-88, Doi: 10.1029/2001JB000324.
- Boore, D. M., J. P. Stewart, E. Seyhan, and G. M. Atkinson, 2014. *NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PGA for shallow crustal earthquakes*, Earthq. Spectra 30, no. 3, 1057-1085
- Badan Standar Nasional (BSN), 2019. *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta.
- Campbell, K. W., and Y. Bozorgnia, 2014. *NGA-West2 Campbell-Bozorgnia ground motion model for the horizontal components of PGA, PGV, and 5%-damped elastic pseudo-acceleration response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 sec*, Earthq. Spectra 30, 1087-1115.
- Chiou, B., and R. Youngs, 2014. *Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra*, Earthq. Spectra 30, no. 3, 1117-1153, doi: 10.1193/072813EQS219M.
- Cornel, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis, Bull. Seismol. Soc. Am. 58, no. 5, 1583-1606.
- Krammer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

- Pagani, M., D. Monelli, G. Weatherill, L. Danciu, H. Crowley, V. Silva, P. Henshaw, L. Butler, M. Nastasi, L. Panzeri, M. Simionato, D. Vigano, 2014. OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model, *Seismol. Res. Lett.* 85, no. 3, 692–702, doi: 10.1785/0220130087
- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN), 2017. “*Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*”, Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Bandung.
- Ridwan, M. dan Aldiamar, A., 2017. *Analisis Respons Tanah di Permukaan pada Beberapa Lokasi Pengeboran Dangkal Stasiun Gempa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)*, *Jurnal Permukiman* Vol. 12 No. 1 Mei 2017: 45-57.
- Sitharam, T.G. and Anbazhagan, P., 2008. *Seismic Microzonation: Principles, Practices and Experiments*, EJGE Special Volume Bouquet 08, online, <http://www.ejge.com/Bouquet08/Preface.htm>, 61.
- Soebowo, E., Tohari, A., Kumoro, Y., dan Daryono, M.R., 2009. *Sifat Keteknikan Bawah Permukaan di Daerah Pesisir Cilacap, Jawa Tengah*. Proceeding PIT IAGI Semarang 2009, the 38th IAGI Annual Convention and Exhibition, Semarang, 13-14 October 2009.
- Soehaimi, A., Sinung Baskoro, SR., Soebowo E., Ma'mur, dan Sopyan, Y., 2021. *Penilaian Potensi Bencana Gempabumi dan Tsunami untuk Pelindungan Infrastruktur Migas dan PLTU di Cilacap, Jawa Tengah*, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* Vol. 22 No. 4 Nopember 2021 hal. 209-221, DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi>. v22.4.209-221.
- Weatherill, G., 2015. *OpenQuake ground motion toolkit-User guide, Global Earthquake Model (GEM)*, Technical Report.
- Zhao, J. X., K. Irikura, J. Zhang, Y. Fukushima, P. G. Somerville, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, and H. Ogawa, 2006. *An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio*, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, no. 3, 914–925.