

Pengembangan Peta Percepatan Gerakan Tanah Puncak Kota Semarang berdasarkan Peraturan Gempa Tahun 2019

*Windu Partono¹, Masyhur Irsyam², Ramli Nazir³, Muhammad Asrurifak⁴, Frida Kistiani¹,
Undayani Cita Sari¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia

⁴Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia

*) windupartono@lecturer.undip.ac.id

Received: 14 Agustus 2021 Revised: 20 Desember 2021 Accepted: 23 Desember 2021

Abstract

Surface peak ground acceleration (PGA_M) needs for seismic forces of basement and retaining structures design. The PGA_M value can be calculated using bedrock peak ground acceleration (MCE_G) and multiplied it with site coefficient F_{PGA} . For building design purposes, the MCE_G value can be calculated based on the combination of DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) and PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis). Compared to the previous 2012 website response spectrum design which is displayed the PGA_M value, only MCE_G value at site position can be obtained from the new 2021 response spectrum design website. This paper describes the development of PGA_M distribution of Semarang using Visual Basic programming language software. The distribution of DSHA and PSHA (2500 return periods) combination analysis for developing MCE_G value also describes in this paper. The analysis was performed based on the earthquake record data from 1900 to 2016. The PGA_M analysis was performed at 203 soil boring investigation positions and using F_{PGA} site coefficients of SNI 1726:2019. The minimum and maximum PGA_M distribution values at the study area are in between 0.45 through 0.55 g and the maximum PGA_M is distributed at the northern part of the study area.

Keywords: DSHA, F_{PGA} , MCE_G , PGA_M , PSHA

Abstrak

Percepatan gerakan tanah puncak di permukaan (PGA_M) sering digunakan untuk perhitungan gaya gempa pada dinding basement dan struktur penahan tanah. Nilai PGA_M dapat dihitung dengan mengalikan percepatan puncak di batuan dasar (MCE_G) dengan koefisien situs F_{PGA} . Pada perencanaan bangunan gedung, nilai MCE_G dapat diperoleh dengan menggabungkan hasil analisis DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) dan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis). Berbeda dengan website response spektra tahun 2012 yang dapat menampilkan nilai PGA_M pada satu titik pengamatan, website respons spektra tahun 2021 hanya memberikan nilai MCE_G . Tulisan ini menyajikan hasil perhitungan PGA_M untuk kota Semarang melalui pengembangan program menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic. Data gempa yang digunakan pada DSHA dan PSHA adalah data kejadian gempa dari tahun 1900 sampai 2016. Nilai spektra DSHA kemudian digabungkan dengan spektra PSHA (periode ulang gempa 2500 tahun) dan menghasilkan nilai MCE_G . Nilai PGA_M dihitung berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada 203 titik pengeboran dan menggunakan koefisien situs F_{PGA} dari SNI 1726:2019. Hasil analisis menunjukkan nilai PGA_M untuk kota Semarang berkisar antara 0,45 sampai 0,55 g dengan sebaran nilai terbesar terletak dibagian utara Kota Semarang.

Kata kunci: DSHA, F_{PGA} , MCE_G , PGA_M , PSHA

Pendahuluan

Perhitungan spektra percepatan gempa di permukaan tidak hanya dibutuhkan pada

perencanaan bangunan atas tetapi juga diperlukan untuk perhitungan bangunan bawah seperti perencanaan dinding basement dan bangunan penahan tanah (*Retaining Structure*). Perkiraan

gaya gempa pada dinding *basement* dapat ditentukan dengan menggunakan nilai percepatan puncak di permukaan tanah PGA_M (Muhammad dan Prakoso, 2020). PGA_M adalah percepatan tanah puncak di permukaan dengan mempertimbangkan nilai percepatan puncak di batuan dasar (MCE_G) dan klasifikasi situs atau jenis tanah. Nilai PGA_M juga dapat digunakan untuk analisis potensi likuifaksi pada satu daerah (Jalil *et al.*, 2020; Maulana *et al.*, 2019; Greenfield and Kramer, 2018, Mase, 2021). Menurut SNI 1726:2019, MCE_G adalah nilai tengah geometrik dengan mempertimbangkan nilai maksimum percepatan di batuan dasar. Nilai PGA_M pada satu titik pengamatan dapat ditentukan dari hasil perkalian nilai MCE_G dengan koefisien situs (*Site Factor*) F_{PGA} . Nilai F_{PGA} dapat diperoleh dari SNI 1726:2019. Nilai F_{PGA} untuk perencanaan bangunan tahan gempa pertama kali diperkenalkan pada tahun 2012 (SNI 1726:2012).

Nilai spektra percepatan desain sebagaimana disampaikan pada SNI 1726 tahun 2012 maupun 2019 pada umumnya digunakan pada perhitungan gaya gempa pada struktur bagian atas. Nilai percepatan yang digunakan pada perencanaan bangunan atas adalah nilai percepatan S_{DS} (respon spektra percepatan pada periode pendek atau 0.2 detik), S_{D1} (spektra percepatan pada periode satu detik), periode getar T_0 dan T_s . Dua nilai terakhir dapat dihitung menggunakan nilai S_{DS} dan S_{D1} (SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019). Untuk memudahkan perhitungan spektra permukaan S_{DS} maupun S_{D1} , Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2012 dan tahun 2021 telah mengembangkan *website* yang dapat digunakan untuk menghitung kedua nilai percepatan tersebut di atas. *Website* terakhir yang dikembangkan oleh Kementerian PUPR adalah *website* "rsaciptakarya.pu.go.id". Data yang dapat diperoleh pada *website* tahun 2021 yaitu nilai S_{DS} , S_{D1} , T_0 , T_s dan T_L . Kelima nilai atau data tersebut dapat digunakan untuk perhitungan spektra desain dan perencanaan bangunan tahan gempa bagian atas (*Upper Structure*).

Spektra percepatan yang juga dapat diperoleh dari *website* tahun 2012 dan 2021 adalah nilai MCE_G . Berbeda dengan *website* tahun 2012, nilai PGA_M tidak disampaikan pada *website* tahun 2021. Nilai PGA_M pada *website* tahun 2021 (RSA2021) dihitung dengan menggunakan nilai F_{PGA} yang ada pada SNI 1726:2019. Perubahan informasi yang disampaikan pada *website* tersebut menyebabkan perhitungan F_{PGA} dan PGA_M harus dilakukan secara terpisah dengan perhitungan MCE_G .

Tulisan ini menyajikan hasil penelitian dan pengembangan peta PGA_M untuk Kota Semarang.

Untuk memudahkan perhitungan nilai PGA_M pada beberapa titik pengamatan maka pada tahun 2021 telah dikembangkan satu *software* bantu (S2021) dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic Versi-6*. Tujuan dari pengembangan *software* adalah untuk menghasilkan satu fasilitas bantu yang memudahkan dalam melakukan perhitungan F_{PGA} maupun PGA_M . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan peta distribusi nilai PGA_M Kota Semarang.

Nilai MCE_G yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari hasil analisis dengan menggunakan dua pendekatan yaitu *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) dan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Distribusi nilai MCE_G dan F_{PGA} juga disajikan pada tulisan ini. Hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software* S2021 kemudian dibandingkan dengan hasil analisis yang disampaikan oleh *website* RSA2021.

Nilai F_{PGA} dan PGA_M hasil analisis menggunakan kedua *software* tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai F_{PGA} dan PGA_M hasil analisis menggunakan *website* RSA2012. Tujuan analisis perbandingan ini adalah untuk melihat perubahan nilai F_{PGA} dan PGA_M menurut SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Pengembangan peta PGA_M belum banyak dilakukan di Indonesia. Penelitian dan pengembangan peta PGA_M telah dilakukan untuk Kota Jakarta oleh Setiadi *et al.* pada tahun 2020. Data gempa yang digunakan pada penelitian ini diambil dari tahun 1900-2018. Hasil penelitian menunjukkan nilai PGA_M Kota Jakarta berkisar antara 0,35–0,5 g (g adalah percepatan gravitasi). Nilai PGA_M dihitung dengan menggunakan pendekatan PSHA dengan periode ulang gempa 2500 tahun.

Metode

Pembuatan peta gempa di Indonesia telah dimulai pada tahun 1983. Peta gempa tahun 1983 tidak memberikan gambaran tentang percepatan gerakan tanah di permukaan. Peta tersebut menunjukkan daerah dengan tingkat kerawanan terhadap peristiwa gempa. Penelitian untuk pengembangan peta gempa dilanjutkan pada tahun 2002. Peta gempa yang dikembangkan pada tahun 2002 digunakan secara langsung pada pembuatan SNI 1726:2002. Metode analisis PSHA sudah diperkenalkan pada peta gempa tahun 2002 dengan probabilitas 10% terlampaui selama 50 tahun atau periode ulang gempa 500 tahun. Pengembangan peta gempa dilanjutkan pada tahun 2010 dengan periode ulang gempa 2500 tahun atau probabilitas 2% terlampaui selama 50 tahun. Peta gempa terbaru yang

dikembangkan di Indonesia adalah peta gempa tahun 2017 dengan pendekatan probabilitas 2% terlampaui selama 50 tahun.

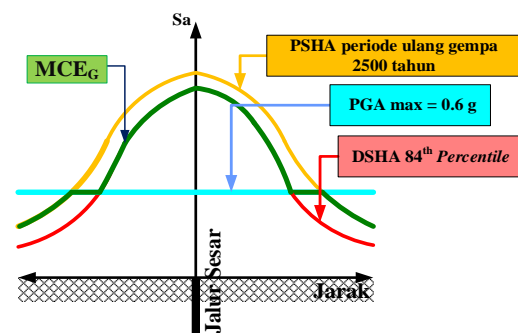
Fungsi atenuasi yang digunakan pada pengembangan peta tahun 2017 untuk sumber gempa *shallow crustal fault* dan *shallow background* terdiri dari tiga fungsi dari Boore-Atkinson, Campbell-Bozorgnia dan Chiou-Youngs (Boore *et al.*, 2013; Campbell & Bozorgnia, 2013; Campbell & Bozorgnia, 2014; Chiou & Youngs, 2013). Untuk sumber gempa subduksi *megathrust*, peta gempa tahun 2017 menggunakan empat fungsi atenuasi dari Youngs, Atkinson-Boore, Zhao dan Abrahamson (Youngs *et al.*, 1997; Atkinson & Boore, 2003; Zhao *et al.*, 2006; Abrahamson *et al.*, 2014; Abrahamson *et al.*, 2016). Untuk sumber gempa *deep intraslab*, peta gempa tahun 2017 menggunakan tiga fungsi atenuasi dari Atkinson-Boore, Youngs dan Abrahamson (Atkinson & Boore 2003; Youngs *et al.*, 1997; Abrahamson *et al.*, 2014).

Data gempa yang digunakan untuk pengembangan peta 2017 adalah data gempa dari tahun 1900 sampai 2016. Jumlah sumber gempa subduksi *megathrust* adalah sebanyak 13 jalur atau zona. Sedangkan untuk sumber gempa sesar aktif sebanyak 251 jalur.

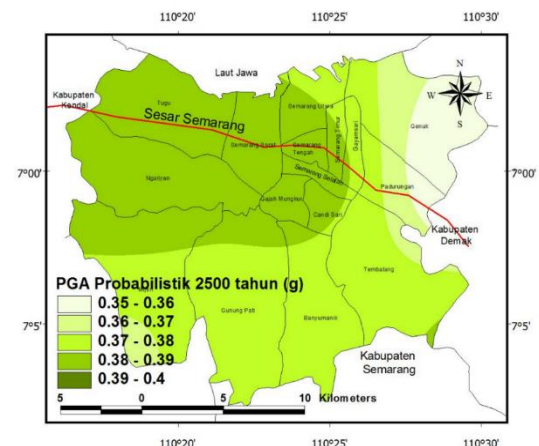
Pengembangan peta *hazard* gempa tidak dapat dipisahkan terhadap pengembangan SNI gempa. Pengembangan SNI gempa tahun 2012 (SNI 1726:2012) memasukkan hasil analisis PSHA (probabilitas 2% terlampaui selama 50 tahun) dari peta *hazard* gempa tahun 2010 dengan mempertimbangkan probabilitas kehancuran bangunan 1% selama 50 tahun. Hasil analisis PSHA ini kemudian dikombinasikan dengan hasil analisis DSHA. Nilai DSHA yang digunakan pada analisis ini adalah 84th *percentile* terhadap nilai *mean*. Perubahan penting yang diterapkan pada SNI 1726:2019 adalah penggunaan nilai logaritma standar deviasi sebesar 0,65. Parameter lain yang juga digunakan pada pengembangan SNI tahun 2019 adalah penggunaan faktor arah atau koefisien arah 1,1 untuk spektra 0,2 detik dan 1,3 untuk spektra 1 detik.

Perubahan metode analisis juga dilakukan pada perhitungan nilai percepatan puncak (*Peak Ground Acceleration/PGA*) gerakan tanah di batuan dasar. Nilai PGA hasil analisis DSHA dengan pendekatan 84th *percentile* terhadap nilai *mean* digabungkan dengan pendekatan PSHA menghasilkan nilai MCE_G . Pada perhitungan MCE_G , nilai PSHA tidak mempertimbangkan probabilitas kehancuran bangunan atau tidak menggunakan nilai logaritma standar deviasi. Gambar 1 menunjukkan model

analisis gabungan DSHA dan PSHA untuk perhitungan MCE_G (Leyendecker *et al.*, 2000). Tabel 1 menunjukkan contoh hasil analisis untuk mendapatkan nilai MCE_G yang dilakukan pada tiga titik koordinat di Kota Semarang. Nilai PGA hasil analisis PSHA dan DSHA pada Tabel 1 diperoleh dari hasil analisis dengan menggunakan data nilai DSHA dan PSHA untuk pembuatan peta gempa tahun 2017. Berdasarkan model analisis sebagaimana terlihat pada Gambar 1, nilai MCE_G pada Tabel 1 diperoleh dari hasil analisis PSHA. Gambar 2 dan 3 menunjukkan peta PSHA dan DSHA untuk Kota Semarang. Dari kedua gambar tersebut terlihat pengaruh dari posisi Sesar Semarang terhadap nilai PSHA dan DSHA Kota Semarang. Nilai spektra maksimum hasil analisis PSHA dan DSHA tersebar di sekitar jalur Sesar Semarang di bagian utara-barat Kota Semarang.

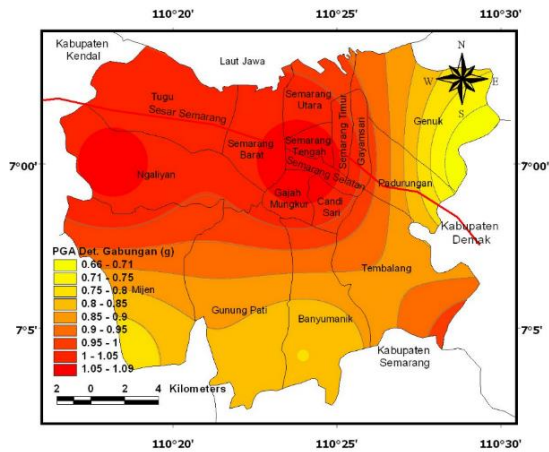


Gambar 1. Model analisis perhitungan MCE_G



Gambar 2. Peta PGA hasil PSHA Kota Semarang

Pengembangan peta MCE_G untuk wilayah Kota Semarang dilakukan pada 203 titik pengamatan / pengeboran. Untuk mendapatkan nilai spektra percepatan (S_a) berdasarkan kedua pendekatan DSHA dan PSHA, nilai spektra percepatan pada setiap titik pengamatan dari 203 titik pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan interpolasi terhadap empat titik terdekat (Partono *et al.*, 2019).

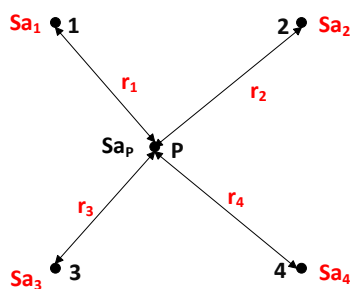


Gambar 3. Peta PGA hasil DSHA Kota Semarang

Persamaan 1 dan 2 menunjukkan model analisis untuk menghitung percepatan S_a pada satu titik pengamatan (Partono *et al.*, 2019). Data yang diperlukan adalah nilai S_a dari 4 titik terdekat yang dihitung dengan DSHA atau PSHA. Pada Persamaan 1 nilai “ r_i ” merupakan jarak titik pengamatan terhadap titik data ke “ i ” dengan $i = 1-4$. Pada Persamaan 1 nilai “ w_i ” merupakan bobot yang digunakan pada titik “ i ” untuk perhitungan S_a . Bobot nilai “ w_i ” ditentukan oleh jarak titik pengamatan (P) ke titik “ i ”. Makin dekat jarak “ r_i ” maka bobotnya makin besar. S_{a_i} adalah data spektra pada titik ke “ i ” yang dihitung dengan pendekatan DSHA atau PSHA. Keempat data spektra DSHA dan PSHA dari empat titik terdekat (S_{a_i}) diperoleh dari hasil penelitian peta gempa tahun 2017. Gambar 4 menunjukkan ilustrasi dari cara perhitungan S_{a_P} pada satu titik pengamatan (P) (Partono *et al.*, 2019).

Tabel 1. Contoh hasil perhitungan MCE_G

Bujur Timur (derajat)	Lintang Selatan (derajat)	PGA PSHA (g)	PGA DSHA (g)	MCE_G (g)
110,3	-7,0	0,419	1,071	0,419
110,4	-7,0	0,406	1,095	0,406
110,4	-7,1	0,402	0,805	0,402

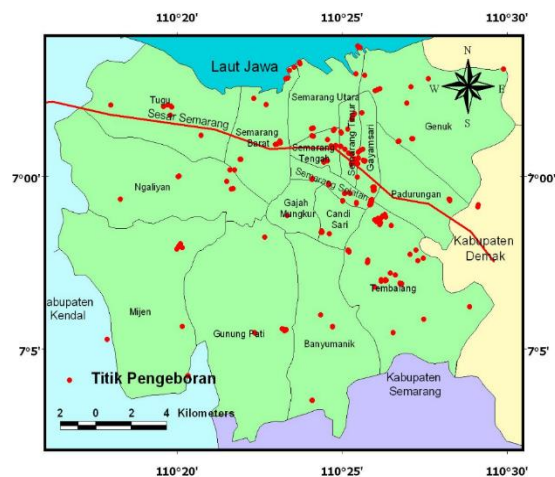


Gambar 4. Model analisis perhitungan spektra percepatan DSHA atau PSHA pada satu titik pengamatan

$$w_i = \frac{1/r_i}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{r_i}} \quad (1)$$

$$S_{a_P} = \sum_{i=1}^4 w_i * S_{a_i} \quad (2)$$

Gambar 5 menunjukkan lokasi titik pengeboran untuk pengembangan peta MCE_G dan PGA_M Kota Semarang. Perhitungan nilai MCE_G pada setiap titik pengamatan menggunakan *website* respon spektra yang telah dikembangkan oleh Kementerian PUPR tahun 2021 (RSA2021). Nilai MCE_G tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan *software* yang dikembangkan pada penelitian ini (S2021).



Gambar 5. Lokasi penelitian

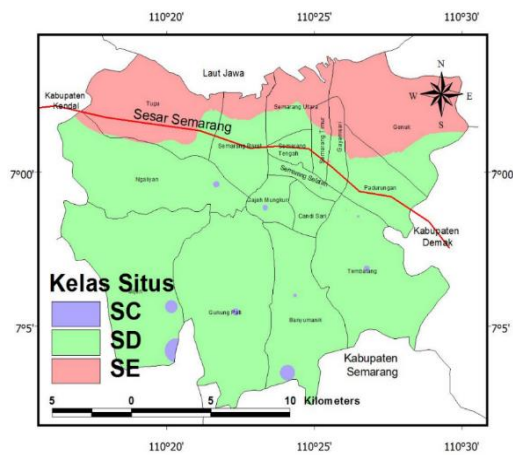
Nilai MCE_G yang diperoleh pada satu titik pengamatan kemudian dikalikan dengan nilai F_{PGA} untuk mendapatkan nilai PGA_M . Nilai F_{PGA} diperoleh dari SNI 1726:2019. Persamaan 3 menunjukkan hubungan antara nilai PGA_M , F_{PGA} dan MCE_G menurut SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Nilai F_{PGA} sangat ditentukan oleh kondisi tanah atau situs tanah pada titik pengamatan. Pada penelitian ini hanya tiga jenis tanah yang digunakan untuk memperkirakan nilai F_{PGA} . Dasar yang digunakan untuk menentukan ketiga jenis tanah (tanah keras, sedang atau lunak) adalah nilai V_{s30} (kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada ketebalan lapisan tanah 30 m).

Persamaan 4 menunjukkan cara perhitungan nilai V_{s30} sesuai SNI 1726:2019. Nilai “ d_i ” pada persamaan 4 adalah ketebalan lapisan ke “ i ”. Nilai “ V_{si} ” adalah nilai kecepatan rambat gelombang geser pada lapisan ke “ i ”. Nilai V_{si} untuk setiap lapisan tanah diperoleh dari nilai N-SPT (*Standard Penetration Test*) lapangan. Pada persamaan tersebut, nilai “ n ” adalah jumlah lapisan tanah pada setiap titik pengamatan sampai kedalaman 30 meter. Tiga model analisis yang digunakan untuk menentukan nilai V_{si} setiap lapisan adalah dari nilai

rata-rata yang dihitung menggunakan tiga persamaan korelasi N-SPT dan V_s (Ohsaki and Iwasaki, 1973; Ohta and Goto, 1978, Imai and Tonouchi, 1982). Ketiga persamaan korelasi ini digunakan secara meluas di Indonesia pada penelitian rambatan gelombang gempa ke permukaan. Gambar 6 menunjukkan peta kondisi tanah Kota Semarang berdasarkan nilai V_{s30} hasil analisis pada 203 titik pengamatan. Pada gambar terlihat notasi SC yang menunjukkan tipe tanah keras ($V_{s30} > 350$ m/detik), SD untuk tipe tanah sedang (nilai V_{s30} antara 175 – 350 m/detik) dan SE untuk tipe tanah lunak (Nilai $V_{s30} < 175$ m/detik).

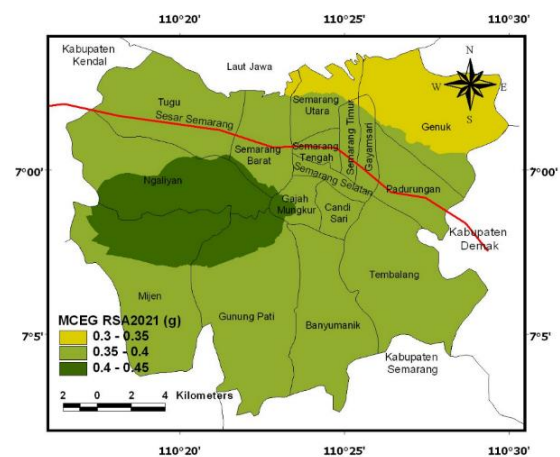
$$PGA_M = F_{PGA} * MCE_G \quad (3)$$

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (4)$$



Gambar 6. Peta distribusi jenis / situs tanah Kota Semarang

Berdasarkan data MCE_G dan sifat tanah pada setiap titik pengamatan kemudian dilakukan perhitungan F_{PGA} . Nilai MCE_G pada setiap titik pengamatan dihitung dengan menggunakan dua software yaitu RSA2021 dan S2021. Gambar 9 menunjukkan peta sebaran F_{PGA} Kota Semarang berdasarkan hasil analisis menggunakan RSA2021. Gambar 10 menunjukkan distribusi nilai F_{PGA} hasil analisis menggunakan software S2021. Berdasarkan hasil analisis sebagaimana terlihat pada kedua gambar tersebut terlihat nilai F_{PGA} yang dihitung dengan menggunakan RSA2021 sedikit lebih kecil dibandingkan dengan nilai F_{PGA} yang dihitung menggunakan software S2021. Pola distribusi nilai F_{PGA} hasil analisis dengan kedua software relatif sama. Nilai F_{PGA} antara 1,6 – 1,7 meskipun didapatkan dari hasil analisis S2021, tetapi distribusinya sangat kecil.

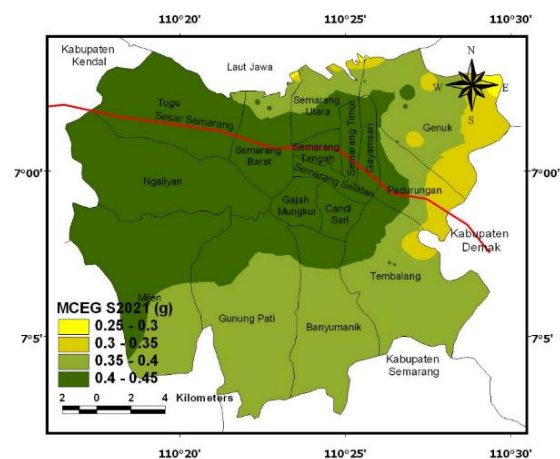


Gambar 7. Peta MCE_G Kota Semarang hasil analisis RSA2021

Hasil dan Pembahasan

Pengembangan peta percepatan gerakan tanah puncak Kota Semarang dilakukan pada 203 titik pengamatan atau titik pengeboran. Untuk menentukan peta distribusi nilai PGA_M maka dilakukan analisis perhitungan MCE_G pada 203 titik pengamatan. Gambar 7 menunjukkan sebaran nilai MCE_G kota Semarang menggunakan RSA2021.

Dari hasil pengamatan sebaran nilai MCE_G Kota Semarang, terlihat nilai MCE_G berkisar antara 0,3 – 0,45 g dengan nilai MCE_G terbesar tersebar dibagian barat Kota Semarang. Hasil analisis menggunakan RSA2021 kemudian dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan S2021. Gambar 8 memperlihatkan peta sebaran nilai MCE_G yang dihitung menggunakan software S2021. Hasil analisis dengan S2021 menunjukkan adanya nilai MCE_G antara 0,25 – 0,3 g yang tersebar di bagian timur Kota Semarang. Perbedaan dengan hasil analisis menggunakan RSA2021 terletak pada luasan sebaran nilai MCE_G antara 0,3 – 0,45 g.

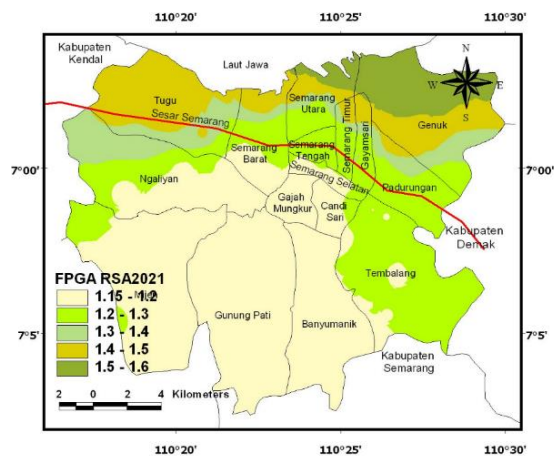


Gambar 8. Peta MCE_G Kota Semarang hasil analisis S2021

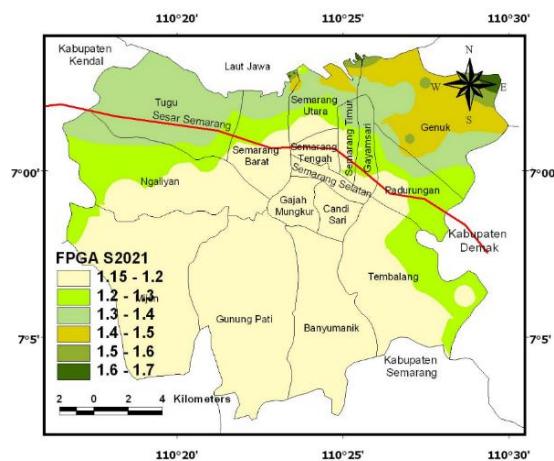
Hasil analisis perhitungan nilai MCE_G pada setiap titik pengamatan kemudian dikalikan dengan nilai F_{PGA} menghasilkan nilai percepatan puncak PGA_M . Dari hasil perhitungan nilai PGA_M pada 203 titik

pengamatan kemudian dikembangkan peta sebaran nilai PG_M Kota Semarang. Gambar 11 menunjukkan peta sebaran PG_M Kota Semarang hasil analisis menggunakan RSA2021. Dari hasil analisis dan penggambaran peta PG_M terlihat bahwa nilai PG_M kota Semarang berkisar antara 0,4–0,6 g. Nilai PG_M terbesar terletak dibagian utara Kota Semarang. Sebagian besar wilayah di sebelah selatan jalur Sesar Semarang mempunyai nilai PG_M antara 0,45–0,5 g. Pada peta PG_M juga terlihat nilai minimum sebesar 0,4–0,45 g yang terletak di sebagian kecil wilayah timur Kota Semarang. Hal yang sama juga dijumpai pada PG_M antara 0,55–0,6 g yang tersebar di sebagian kecil Kota Semarang. Berdasarkan peta ini maka secara umum nilai PG_M Kota Semarang berkisar antara 0,45–0,55 g.

PG_M antara 0,45–0,6 g. Nilai PG_M 0,5–0,6 g hasil perhitungan menggunakan S2021 relatif lebih luas dibandingkan hasil analisis menggunakan RSA2021. Demikian juga yang terjadi pada nilai PG_M antara 0,45–0,55 g. Hasil analisis menggunakan S2021 sedikit lebih luas area penyebarannya dibandingkan hasil analisis menggunakan RSA2021.

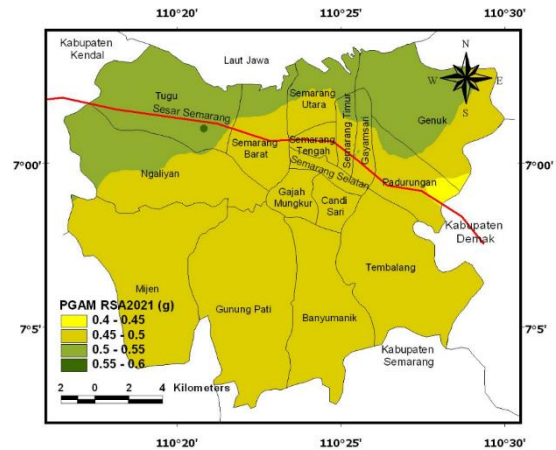


Gambar 9. Peta distribusi nilai F_{PGA} Kota Semarang Hasil Analisis RSA2021

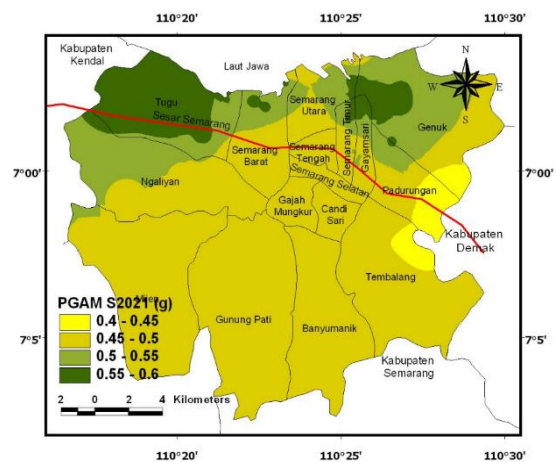


Gambar 10. Peta distribusi nilai F_{PGA} Kota Semarang hasil analisis S2021

Hasil analisis menggunakan RSA2021 kemudian dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan S2021. Gambar 12 menunjukkan distribusi nilai PG_M hasil analisis menggunakan S2021. Perbedaan hasil analisis terletak pada sebaran nilai



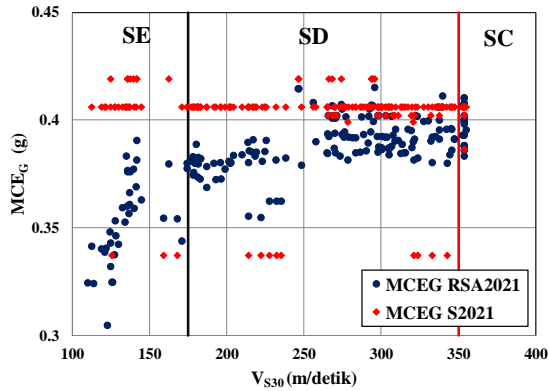
Gambar 11. Peta PG_M Kota Semarang hasil analisis RSA2021



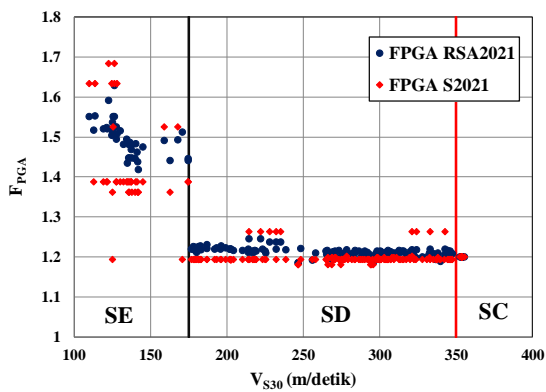
Gambar 12. Peta PG_M Kota Semarang hasil analisis S2021

Hasil perhitungan dengan menggunakan RSA2021 kemudian dibandingkan dengan hasil analisis dengan menggunakan *software* yang dikembangkan pada penelitian ini (S2021). Perbedaan analisis terletak pada cara interpolasi terhadap nilai PGA hasil analisis PSHA dan DSHA yang dikembangkan oleh Kementerian PUPR pada tahun 2017 (Peta Gempa tahun 2017). Gambar 13 menunjukkan perbedaan distribusi nilai MCE_G berdasarkan nilai V_{s30} yang dihitung menggunakan RSA2021 dan S2021. Distribusi nilai F_{PGA} menggunakan S2021 sedikit lebih konstan untuk tiga jenis tanah keras, sedang dan lunak. Hasil analisis dengan menggunakan S2021 menunjukkan nilai MCE_G

Kota Semarang relatif konstan dan berkisar antara 0,4–0,45 g. Nilai MCE_G hasil perhitungan S2021 secara rata-rata lebih besar dibandingkan hasil analisis menggunakan RSA2021.



Gambar 13. Perbedaan hasil perhitungan MCE_G menggunakan RSA2021 dan S2021.



Gambar 14. Perbedaan nilai F_{PGA} hasil perhitungan menggunakan RSA2021 dan S2021

Perbedaan nilai MCE_G akan menyebabkan perbedaan hasil perhitungan F_{PGA} . Karena nilai F_{PGA} ditentukan berdasarkan interpolasi linear terhadap data F_{PGA} dari SNI 1726:2019. Nilai F_{PGA} juga ditentukan berdasarkan jenis tanah. Perbedaan nilai MCE_G dan F_{PGA} akan menyebabkan perbedaan nilai PGA_M . Gambar 14 menunjukkan perbedaan distribusi nilai F_{PGA} berdasarkan nilai V_{S30} . Untuk tanah sedang dan keras atau nilai V_{S30} lebih besar dari 175m/detik, nilai F_{PGA} yang dihitung dengan RSA2021 dan S2021 relatif konstan. Pada lapisan tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC), nilai F_{PGA} yang dihitung dengan RSA2021 relatif lebih besar dibandingkan hasil perhitungan dengan S2021. Pada lapisan tanah lunak, distribusi nilai F_{PGA} relatif cukup bervariasi.

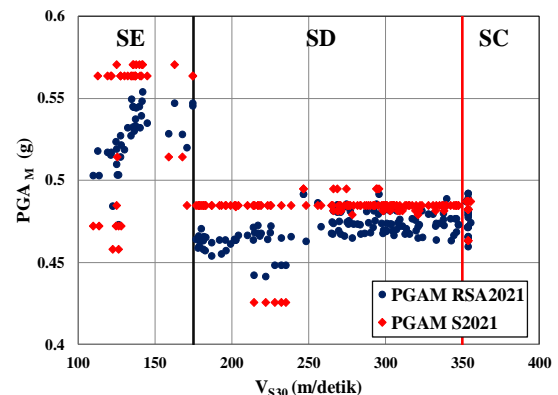
Gambar 15 menunjukkan perbedaan distribusi nilai PGA_M berdasarkan nilai V_{S30} yang dihitung dengan menggunakan RSA2021 dan S2021. Pada gambar terlihat untuk tanah keras (SC) dan tanah sedang

(SD), secara umum nilai PGA_M hasil analisis S2021 lebih besar dibandingkan hasil perhitungan menggunakan RSA2021. Nilai PGA_M yang dihitung menggunakan S2021 relatif konstan dibandingkan hasil analisis RSA2021. Untuk titik-titik pengamatan yang terletak pada tanah lunak (SE) terlihat nilai PGA_M yang dihitung dengan S2021 cukup bervariasi. Kondisi yang sama juga terlihat dari hasil analisis menggunakan RSA2021.

Hasil perhitungan menggunakan RSA2021 dan S2021 kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan pada 203 titik pengamatan dengan menggunakan peraturan SNI 1726:2012. Tujuan dari analisis ini adalah untuk melihat seberapa besar perubahan yang terjadi pada nilai PGA_M berdasarkan peraturan gempa SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Perhitungan nilai F_{PGA} dan PGA_M menurut SNI 1726:2012 menggunakan fasilitas *website* RSA2012 yang dikembangkan oleh Kementerian PUPR. F_{PGA} yang digunakan untuk RSA2012 adalah F_{PGA} yang terdapat pada SNI 1726:2012. Nilai F_{PGA} yang dihitung dengan RSA2021, RSA2012 dan S2021 terlihat pada Tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat perbedaan nilai F_{PGA} antara RSA2021 dan RSA2019 cukup besar yaitu kira-kira sebesar 0,17 – 0,2 untuk tanah SC dan SD dan 0,55 untuk tanah SE.

Tabel 2. Nilai F_{PGA} rata-rata Kota Semarang

Jenis tanah	SNI 2019 (RSA2021) (g)	SNI 2012 (RSA2012) (g)	SNI 2019 (S2021) (g)
SC	1,2000	1,0023	1,2000
SD	1,2110	1,0363	1,1982
SE	1,4954	0,9472	1,4299



Gambar 15. Perbedaan hasil perhitungan PGA_M menggunakan RSA2021 dan S2021

Nilai PGA_M rata-rata untuk tanah SC, SD dan SE dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil perhitungan rata-rata nilai PGA_M pada tiga jenis tanah menunjukkan perbedaan nilai yang tidak signifikan untuk tanah keras (SC) dan tanah sedang (SD). Perbedaan nilai

PGA_M pada tanah keras (SC) antara RSA2021 dan S2021 sebesar 0,006 g. Perbedaan nilai PGA_M antara RSA2021 dan RSA2012 adalah sebesar 0,016 g. Untuk tanah sedang (SD) perbedaan PGA_M antara RS2021 dan S2021 adalah 0,01 g. Sedangkan perbedaan nilai PGA_M rata-rata antara RSA2021 dan RSA2012 untuk tanah sedang adalah sebesar 0,012 g.

Untuk tanah lunak, secara rata-rata perbedaan nilai PGA_M antara RSA2021 dan S2021 adalah sebesar 0,014 g. Pada Gambar 13 terlihat nilai MCE_G yang dihitung menggunakan RSA2021 terdistribusi antara 0,3–0,4 g, sedangkan nilai MCE_G yang dihitung menggunakan S2021 relatif lebih konstan dan terdistribusi antara 0,4–0,42 g. Beberapa titik pengamatan menunjukkan nilai MCE_G yang dihitung menggunakan S2021 berada pada nilai 0,34 g.

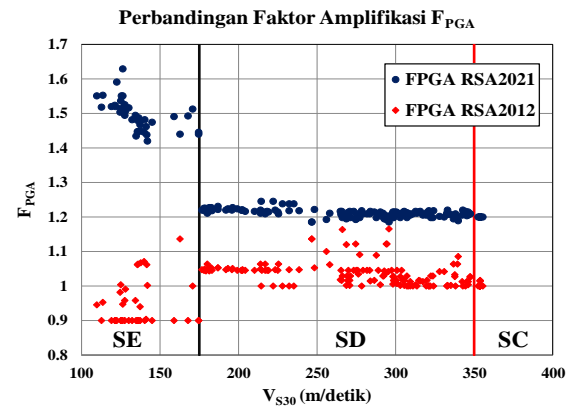
Pada Tabel 3 terlihat perbedaan nilai PGA_M antara RSA2021 dan RSA2012 adalah sebesar 0,142 g. Perbedaan nilai PGA_M untuk tanah lunak antara SNI 2019 dan SNI 2012 cukup tinggi dengan nilai PGA_M tahun 2019 secara rata-rata meningkat sebesar 36,98%. Perbedaan distribusi nilai F_{PGA} dan MCE_G hasil analisis menggunakan RSA2021 dan RSA2012 dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pada Gambar 16 terlihat nilai F_{PGA} hasil analisis menggunakan RSA2021 lebih besar dibandingkan hasil analisis menggunakan RSA2012. Pada Gambar 17 terlihat nilai MCE_G hasil analisis menggunakan RSA2012 lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan RSA2021.

Tabel 3. Nilai PGA_M rata-rata Kota Semarang

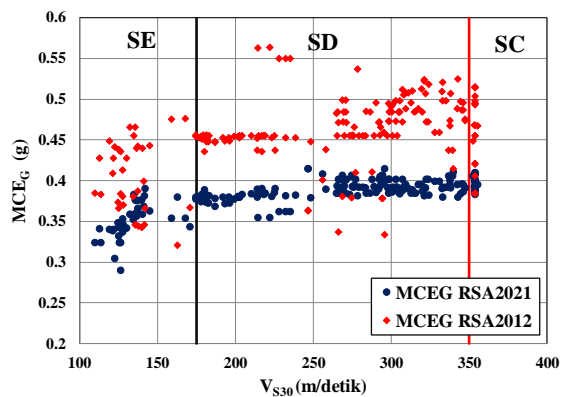
Jenis Tanah	SNI 2019 (RSA2021) (g)	SNI 2012 (RSA2012) (g)	SNI 2019 (S2021) (g)
SC	0,476	0,460	0,482
SD	0,471	0,483	0,481
SE	0,526	0,384	0,540

Perbedaan nilai PGA_M hasil analisis menggunakan RSA2021 dan RSA2012 disebabkan adanya perbedaan nilai MCE_G dan F_{PGA} yang dihitung menggunakan kedua *software* tersebut. Perbedaan tertinggi nilai PGA_M hasil analisis menggunakan RSA2012 dan RSA2021 terletak pada tipe tanah lunak (SE). Gambar 18 menunjukkan perbedaan nilai PGA_M hasil analisis menggunakan kedua *software* tersebut. Nilai PGA_M yang dihitung menggunakan RSA2021 berkisar antara 0,45–0,55 g sedangkan yang dihitung menggunakan RSA2012 berkisar antara 0,35–0,45 g. Untuk tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC) hasil perhitungan nilai

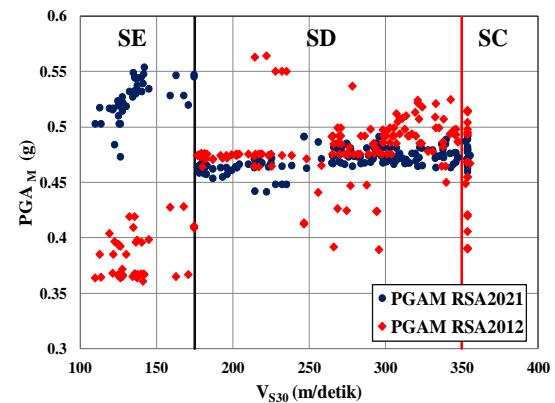
PGA_M dengan menggunakan kedua *software* tersebut relatif tidak berbeda cukup signifikan.



Gambar 16. Perbedaan hasil perhitungan F_{PGA} menggunakan RSA2021 dan RSA2012



Gambar 17. Perbedaan hasil perhitungan MCE_G menggunakan RSA2021 dan RSA2012



Gambar 18. Perbedaan hasil perhitungan PGA_M menggunakan RSA2021 dan RSA2012

Perbedaan nilai PGA_M yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan RSA2021 dan RSA2012 disebabkan adanya perbedaan nilai MCE_G . Nilai MCE_G diperoleh dari hasil analisis kombinasi PSHA dan DSHA. Nilai MCE_G hasil analisis RSA2021 diperoleh dari peta gempa tahun 2017 sedangkan nilai MCE_G hasil analisis RSA2012

diperoleh dari peta gempa tahun 2010. Sebagaimana terlihat pada Gambar 13, nilai MCE_G dari RSA2012 berkisar antara 0,35–0,5 g sedangkan nilai MCE_G dari RSA2021 berkisar antara 0,3–0,4 g. Perbedaan nilai MCE_G hasil analisis dengan menggunakan kedua *software* tidak signifikan. Perbedaan signifikan terletak pada nilai F_{PGA} yang dihitung dengan menggunakan kedua *software* tersebut. Nilai F_{PGA} yang dihitung menggunakan RSA2012 berkisar antara 0,9–1,2 sedangkan yang dihitung menggunakan RSA2021 nilainya berkisar antara 1,4–1,6. Tabel 4 menunjukkan perbedaan nilai F_{PGA} yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 (digunakan pada RSA2012) dan SNI 1726:2019 (digunakan pada RSA2021).

Tabel 4. Nilai F_{PGA} SNI1726:2012 dan SNI 1726:2019 untuk tanah lunak SE.

MCE_G (g)	SNI 2019 (RSA2021) (g)	SNI 2012 (RSA2012) (g)
0,2	1,9	1,7
0,3	1,6	1,2
0,4	1,4	0,9
0,5	1,2	0,9

Perbedaan nilai $PGAM$ yang cukup tinggi pada daerah tanah lunak yang dihitung menggunakan RSA2021 dan RSA2012 disebabkan oleh perbedaan peta gempa dan peraturan SNI 1726 yang digunakan. Perbedaan nilai $PGAM$ yang cukup tinggi yang dijumpai pada daerah lapisan tanah lunak memberikan indikasi perlunya dievaluasi *basement* bangunan dan struktur dinding penahan tanah yang terletak dibagian utara wilayah Kota Semarang. Evaluasi dilakukan pada bangunan yang direncanakan dan dibangun menggunakan peraturan gempa tahun 2012.

Kesimpulan

Hasil perhitungan nilai $PGAM$ untuk Kota Semarang yang dilakukan pada 203 titik pengamatan menunjukkan wilayah utara Kota Semarang mempunyai nilai $PGAM$ lebih besar dibandingkan wilayah tengah dan selatan. Kondisi ini memberikan gambaran bahwa nilai percepatan gerakan tanah puncak pada perencanaan bangunan bawah tanah seperti *basement* dan dinding penahan tanah lebih besar dibandingkan sebagian besar wilayah tengah dan selatan Kota Semarang. Nilai $PGAM$ yang dihitung berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, menggunakan RSA2021, lebih besar dibandingkan nilai $PGAM$ yang dihitung menurut SNI 1726:2012, menggunakan RSA2012, terutama untuk wilayah utara Kota Semarang. Secara rata-rata peningkatan lebih dari 30% dari nilai $PGAM$ yang diamati pada daerah tanah lunak atau wilayah utara Kota Semarang. Perbedaan yang cukup tinggi

ini menunjukkan perlunya evaluasi pada bangunan bawah tanah seperti *basement* dan dinding penahan tanah eksisting yang dibangun menggunakan peraturan SNI 1726:2012.

Perubahan nilai $PGAM$ untuk tanah keras dan tanah sedang (sebagian besar wilayah tengah dan selatan Kota Semarang) berdasarkan hasil analisis menurut SNI 1726:2019 dan SNI 1726:2012 tidak signifikan dan berkisar pada nilai 0,01 g. Bangunan bawah tanah yang direncanakan menurut SNI tahun 2012 tidak mengalami perubahan nilai $PGAM$ secara signifikan pada saat mengalami beban gempa terbaru menurut SNI 1726:2019.

Pengembangan *software* untuk perhitungan nilai MCE_G , F_{PGA} dan $PGAM$ (S2021) yang dilakukan pada penelitian ini juga menunjukkan perbedaan nilai $PGAM$ yang tidak signifikan untuk tanah sedang (SD) dan tanah keras (SC). Untuk tanah lunak, perbedaan nilai $PGAM$ yang dihitung dengan menggunakan *software* RSA2021 dan S2021 baik untuk tanah keras, sedang dan tanah lunak kurang dari 0,02 g.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pembangunan, Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional atas bantuan penelitian pada tahun 2021 melalui skema Penelitian Dasar.

Daftar Pustaka

- Abrahamson, N.A., Addo K.O., Atkinson G., Chiou B., Gregor N.J., Silva W. and Youngs R.R. (2014). Ground motion characterization for BC hydro SSHAC Level 3 Study. *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Frontiers of Earthquake Engineering, IONCEE, July 21-24 2014, Anchorage, Alaska.*
- Abrahamson, N.A., Gregor N. and Addo K.O. (2016). BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes, *Earthquake Spectra*, 32(1), 23-44.
- Atkinson G.M. and Boore D. M. (2003). Empirical ground motion relations for subduction zone earthquakes and their application to cascadia and other regions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(4), 1703-1729.
- Boore, D.M., Stewart J.P., Seyhan E. and Atkinson. (2013). *NGA-West2 equations for predicting response spectral accelerations for shallow crustal*

- earthquakes, PEER Report 2013/05, pp.1-104, May 2013.
- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (2013). *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*, PEER Report 2013/6, pp.xii+75, May 2013.
- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (2014). *Cambell-Bozorgnia NGA-West2 Horizontal ground motion model for active tectonic domains, Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering July 21-25, 2014 10NCEE Anchorage, Alaska*.
- Chiou B.S.J. and Youngs R.R. (2013). *Update of the Chiou and Youngs NGA Ground Motion Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra*, PEER Report 2013/07, pp. 1-77, May 2013.
- Greenfield M.W. and Kramer S.L. (2018). *The effects of long-duration ground motion on soil liquefaction, Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Integrating Science, Engineering & Policy, June 25-29, 2018, Los Angeles, California*.
- Imai, T. and Tonouchi, K. (1982). *Correlation of N-value with S-Wave Velocity and Shear Modulus, Proc. Of second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, The Netherlands, pp. 67-72*.
- Jalil A., Fathani T. F., Satyarno I. dan Wilopo W. (2020). *a study on the liquifaction potential in Banda Aceh City After The 2004 Sumatera Earthquake, International Journal of GEOMATE, 2020, 18(65), 147-155*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, *desain_spektra_indonesia_2011*. 12 – 28 Maret 2021, <http://puskim.pu.go.id>.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Desain-Spektra Indonesia 2021*, 12 – 28 Maret 2021, <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>.
- Leyendecker, E.V., Hunt, E.J., Frankel, A.D. and Rukstales, K.S. (2000). *Development of Maximum Considered Earthquake Ground Motion Maps, Earthquake Spectra, 16(1), 21-40*.
- Mase, L.Z., (2021), *The Use of Ground Motion Parameters to Identify the Liquefaction during a Strong Earthquake in Northern Thailand, Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 27, No. 1, pp 1-8*.
- Maulana A., Ahmad R., dan Fikri F. (2020). *Liquefaction potential analysis on runway construction based on soil engineering properties, E3S Web of Conferences 156, 02003 (2020)*.
- Muhammad F. dan Prakoso W.A. (2020). *Circular lining behavior due to earthquake load in MRT Jakarta underground tunnel area CP-106, 4th International Conference on Civil Engineering Research (ICCER 2020), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 930 (2020)*.
- Ohsaki Y. and Iwasaki R. (1973). *On Dynamics shear moduli and poisson's ratio of soil deposits, soil and foundations, JSSMFE, 13(4),59-73*.
- Ohta Y. and Goto N. (1978). *Empirical shear wave velocity equation in terms of characteristic soil indexes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6, 167-187*.
- Partono W., Irsyam M., Sengara I.W., Asrurifak, Frida Kistiani F. and Sari U. C. (2019). *Development of Design Acceleration Response Spectrum for Building Based on New Indonesian Seismic Hazard Maps 2017, AWAM International Conference on Civil Engineering, Proceeding of AICCE'19, Lecture Notes in Civil Engineering, 53, 91-104*.
- SNI 1726:2012. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk Gedung dan non Gedung, BSN, ICS.91.120.25:91.080.01*
- SNI 1726:2019. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk Gedung dan non Gedung, BSN, ICS.91.120.25:91.080.01*.
- Setiadi T.A.H., Taruna R.M., Susilanto P., Hakim A.R. dan Rohadi S. (2020). *Percepatan Tanah Maksimum di Permukaan Pada Wilayah DKI Jakarta Menggunakan Metode PSHA, Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, 21(2), 81-90*.
- 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(1), 58-73*.
- Zhao, J.X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P.G., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T. and Ogawa, H. (2006). *An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. Bulletin of the Seismological Society of America, 96(3), 914-925*.