

## PENENTUAN FORMULA EMPIRIS PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

### EMPIRICAL FORMULA DETERMINATION FOR PEAK GROUND ACCELERATION OF SPECIAL REGION OF YOGYAKARTA

Imdadu Rohman<sup>1\*</sup>, Denny Darmawan<sup>1</sup>, dan Nugroho Budi Wibowo<sup>2</sup>

Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta<sup>1</sup>  
Stasiun Geofisika, BMKG Yogyakarta<sup>2</sup>

\*Korespondensi Penulis. Email: [imdadurohman.2017@student.uny.ac.id](mailto:imdadurohman.2017@student.uny.ac.id)

**Abstrak-** Telah dilakukan penelitian tentang formula empiris percepatan tanah maksimum (PGA) di Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan formula empiris PGA untuk wilayah Yogyakarta dan membuat peta persebaran nilai PGA dari suatu kejadian gempa bumi menggunakan formula empiris yang telah diperoleh. Pada penelitian ini, penentuan formula empiris PGA dilakukan dengan memodifikasi formula empiris umum Costa (1998) menggunakan data dari *accelerograph* stasiun seismik JUII Yogyakarta. Dari rekaman *accelerograph* tersebut dicari parameter yang sesuai dengan beberapa *event* gempa pada tahun 2019. Melalui analisis regresi linier maka formula empiris PGA untuk wilayah Yogyakarta dapat diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula empiris untuk wilayah Yogyakarta adalah:  $\log(A) = 4,375 + 0,198 Ms - 2,353 \log(R)$ . Dibandingkan dengan beberapa formula empiris yang sudah ada sebelumnya, formula empiris ini relatif lebih baik dan mendekati hasil PGA observasi dengan tingkat korelasi yang kuat sebesar 0,95 dan tingkat *error* yang kecil sebesar 0,32. Pemetaan nilai PGA berdasarkan formula empiris yang telah diperoleh pada penelitian ini untuk *event* gempa bumi 9 Juli 2019 menghasilkan persebaran nilai PGA pada rentang 0,5 – 2,6 gal dengan pola persebaran nilai PGA yang berbanding lurus dengan jarak ke sumber gempa bumi.

**Kata kunci:** PGA, formula empiris, gempa bumi

**Abstract-** A research had been conducted on the empirical formula of peak ground acceleration (PGA) for Special Region of Yogyakarta. The research was aimed to determine an empirical formula of PGA for Yogyakarta region and create a map of PGA distribution value from an earthquake event using the empirical equations obtained. In this research, the determination of PGA empirical formula was conducted by modifying Costa's general empirical formula (1998) using data from Yogyakarta JUII seismic station *accelerograph*. From the *accelerograph* recordings, parameters were then searched according to earthquake events in 2019. By linear regression analysis, the empirical formula of PGA in Yogyakarta can be obtained. The results showed that the empirical formula of PGA for Yogyakarta region is:  $\log(A) = 4,375 + 0,198 Ms - 2,353 \log(R)$ . Compared to several previous empirical formulas, this new empirical formula is relatively better and closer to the observational PGA values with a strong correlation level of 0.95 and a small error rate of 0.32. PGA value mapping based on the new empirical formula obtained in this research for the 9 July 2019 earthquake event has a distribution values of 0.5 – 2.6 gal with PGA values distribution pattern that is directly proportional to the distance from the earthquake source.

**Keywords:** PGA, empirical formula, earthquake

#### PENDAHULUAN

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu daerah yang rawan terjadi gempa bumi. Hal ini dikarenakan Yogyakarta terletak di bagian Selatan Pulau Jawa yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia tempat dimana zona subduksi Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia berada. Percepatan tanah maksimum (PGA) merupakan salah satu parameter yang sangat

berperan dalam meninjau kerusakan yang terjadi di permukaan bumi akibat dari gempa bumi. Dengan mengetahui nilai PGA di suatu daerah, maka akan diketahui daerah yang rawan kerusakan akibat gempa bumi (Daryono, 2010).

Nilai PGA dapat diukur dengan alat *accelerograph* dan perhitungan menggunakan formula empiris pendekatan dari magnitudo dan jarak hiposenter gempa bumi (Sunarjo, 2012). Banyak studi kasus yang telah dilakukan untuk menentukan

formula empiris PGA di suatu daerah (Sungkowo, 2018). Diantaranya yaitu Costa (1998) untuk wilayah Italia, Estava (1970) untuk wilayah Amerika Barat, Putu (2019) untuk wilayah Bali, dan masih banyak lagi (Douglas, 2004).

Ketersediaan jaringan *accelerograph* yang terbatas dan belum adanya formula empiris yang dikembangkan untuk wilayah Yogyakarta serta kekhawatiran akan dampak gempa besar dan merusak, mendorong peneliti untuk mengembangkan suatu formula empiris percepatan tanah maksimum khusus untuk wilayah Yogyakarta.

**METODE PENELITIAN**

Pada peneletian, pembuatan formula empiris PGA dilakukan dengan mengembangkan formula empiris Costa (1998). Nilai PGA pada formula ini, ditentukan berdasarkan parameter jarak hiposenter dan magnitudo gempabumi. Formula empiris ini merupakan pengembangan dari persamaan umum percepatan tanah:

$$\log(A) = a + bMs + c\log(R) \quad (1)$$

dengan *A* merupakan nilai PGA (gal), *R* merupakan jarak hiposenterm, *Ms* merupakan magnitudo gelombang permukaan, *a* merupakan konstanta, *b* merupakan koefisien empiris dari magnitudo permukaan, dan *c* merupakan koefisien empiris dari hiposenter. Nilai R (jarak hiposenter) dapat diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung jarak episenter. Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung jarak episenter dan hiposenter dari sumber gempabumi ke titik koordinat terpasangnya *accelerograph* adalah sebagai berikut:

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (2)$$

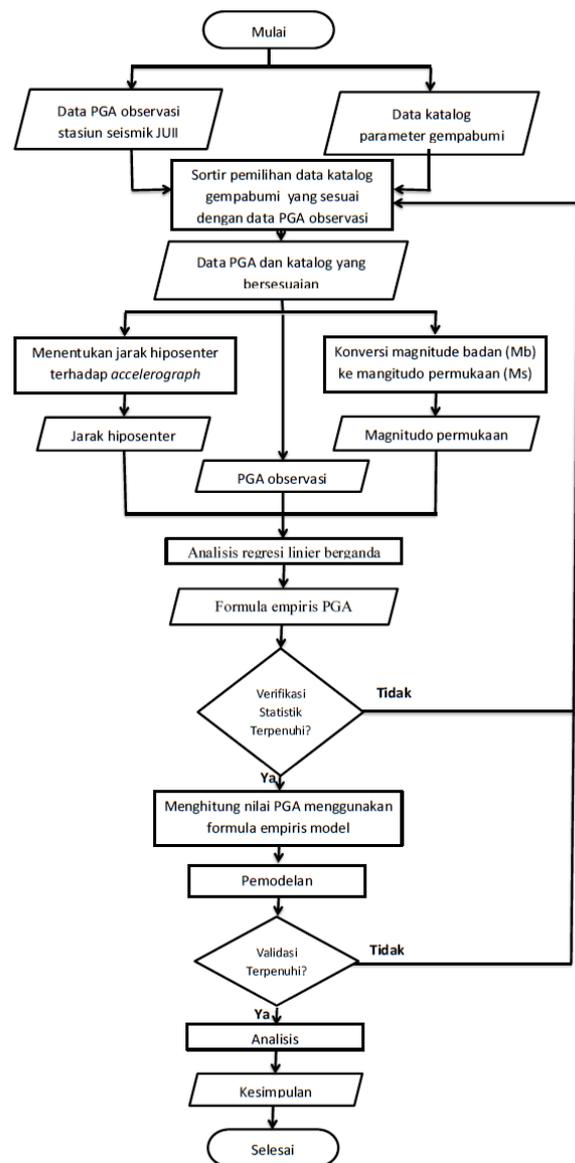
$$R^2 = \Delta^2 + h^2 \quad (3)$$

dengan  $\Delta$  merupakan jarak episenter, *R* merupakan jarak hiposentr,  $x_2$  merupakan titik koordinat lintang stasiun,  $x_1$  merupakan titik koordinat sumber gempa,  $y_2$  merupakan titik koordinat bujur stasiun,  $y_1$  merupakan titik koordinat sumber gempa, dan *h* merupakan kedalaman gempa (Saputri & Pujiastuti, 2020).

Formula empiris percepatan tanah maksimum untuk wilayah Yogyakarta dapat diperoleh dengan mencari koefisien a, b, dan c berdasarkan nilai PGA hasil rekaman *accelerograph* stasiun seismik JUII Yogyakarta dan parameter-parameter lain yang dibutuhkan. Koefisien-koefisien tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan analisis regresi linier. Dari formula empiris yang telah diperoleh akan dilakukan verifikasi statistik untuk mengetahui kelayakan dari model yang telah diperoleh. Adapun

verifikasi dapat dilakukan dengan melalui aji asumsi klasik dan uji regresi linier berganda. Kemudian dari formula empiris tersebut akan dilakukan validasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai PGA dari model pada penelitian ini dengan nilai PGA dari hasil rekaman *accelerograph*, serta membandingkan dengan beberapa formula empiris lainnya. Formula empiris yang didapatkan dari penelitian ini dapat digunakan untuk memodelkan persebaran nilai PGA untuk wilayah Yogyakarta ketika terjadi suatu gempabumi.

Diagram alir pada penelitian ini secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Formula Empiris Percepatan Tanah Maksimum (PGA)**

Dalam pembuatan formula empiris PGA yang diperlukan adalah nilai PGA observasi, magnitudo, dan jarak hiposenter terhadap *accelerograph*. Nilai PGA observasi diperoleh dari hasil rekaman alat *accelerograph* stasiun seismik JUII Yogyakarta pada kurun waktu 2019.

Sedangkan parameter lain yang dibutuhkan dapat diperoleh melalui informasi yang didapatkan dari akun Instagram resmi BMKG Yogyakarta (@stageof.sleman). Dengan melalui analisis regresi linier berganda diperoleh konstanta empiris  $a = 4,375$ , koefisien magnitudo  $b = 0,198$ , dan koefisien *geometrical spreading*  $c = -2,353$ . Sehingga diperoleh formula empiris untuk wilayah Yogyakarta yaitu :

$$\log(A) = (4,375) + (0,198) Ms + (-2,353) \log(R)$$

**B. Verifikasi Statistik Formula Empiris**

Verifikasi statistik dilakukan guna memverifikasi kelayakan dari model formula empiris PGA yang telah diperoleh. Pada penelitian ini verifikasi statistik dilakukan dengan melalui uji asumsi klasik dan uji regresi linier berganda dengan menggunakan *software* SPSS.

**1. Uji asumsi klasik**

Model regresi linier berganda dapat dikatakan sebagai model yang baik jika model tersebut memenuhi kriteria BLUE (*Best Linier Unbiased Estimation*) (Yuliara, 2016). BLUE dapat dicapai jika memenuhi asumsi klasik yaitu uji normalitas, uji multikolinieritas, uji autokorelasi dan uji multikolinieritas. Setelah dilakukan uji asumsi klasik dengan menggunakan *software* SPSS dapat diketahui bahwa model formula empiris PGA pada penelitian ini memenuhi kriteria BLUE.

**2. Uji regresi linier berganda**

Dalam tahapan pembuatan model uji regresi linier berganda, terdapat pengujian hipotesis untuk mengetahui apakah model tersebut layak untuk digunakan dan apakah variabel-variabel bebas signifikan di dalam model. Adapun uji hipotesis yang dapat digunakan adalah Uji t dan Uji F.

Uji t pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam mempengaruhi variabel terikat. Uji parsial ini dilakukan dengan membandingkan nilai  $\alpha$  (alpha) dengan nilai signifikansi. Apabila nilai signifikansi  $< \alpha$  dimana  $\alpha = 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak sehingga dapat dikatakan terdapat pengaruh secara parsial antara variabel bebas dengan variabel terikat dan sebaliknya. Hasil pengujian statistik t dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut, nampak bahwa variabel magnitudo dan Log R memiliki nilai signifikansi 0,011 dan 0,001 dimana nilai probabilitas

ini di bawah 0,050. Dengan demikian, sesuai dengan ketentuan dalam kriteria pengujian, karena nilai signifikansi  $< 0,050$  maka dapat disimpulkan bahwa variabel magnitudo dan jarak hiposenter berpengaruh terhadap nilai PGA.

Tabel 1. Uji t

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.375	1.019		4.294	.004
	Magnitudo	.198	.058	.499	3.414	.011
	LogR	-2.353	.440	-.781	-5.342	.001

a. Dependent Variable: LogPGA

Uji F pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui pengaruh bersama-sama antara variabel bebas terhadap variabel terikat. Uji ini dilakukan dengan membandingkan nilai  $\alpha$  (alpha) dengan nilai signifikansi. Apabila nilai signifikansi  $< \alpha$  dimana  $\alpha = 0,05$ , maka dapat dikatakan terdapat pengaruh secara simultan antara variabel bebas dengan variabel terikat, dan sebaliknya. Jika nilai signifikansi  $> \alpha$ , maka artinya tidak terdapat pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat secara simultan. Hasil pengujian statistik F dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut, nampak bahwa variabel bebas memiliki nilai signifikansi 0,001 dimana nilai ini di bawah 0,05. Sesuai dengan ketentuan dalam kriteria pengujian, karena nilai signifikansi  $< 0,05$  maka dapat disimpulkan bahwa variabel magnitudo dan jarak hiposenter secara bersama-sama berpengaruh terhadap nilai PGA.

Tabel 2. Uji F

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.753	2	.876	19.885	.001 <sup>b</sup>
	Residual	.309	7	.044		
	Total	2.062	9			

a. Dependent Variable: LogPGA  
b. Predictors: (Constant), LogR, Magnitudo

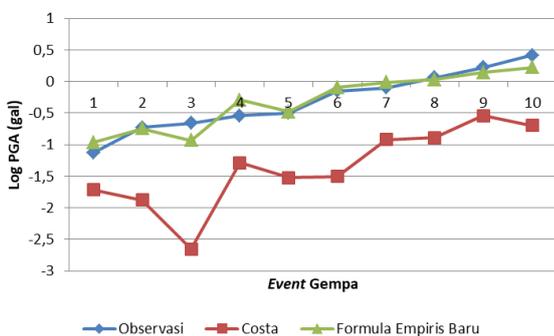
**C. Validasi Formula Empiris**

Dari formula empiris PGA yang telah didapatkan, selanjutnya akan dilakukan validasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai PGA dari formula empiris tersebut dengan nilai PGA observasi hasil rekaman *accelerograph*, serta membandingkan dengan formula empiris lainnya. Adapun formula empiris yang akan dijadikan sebagai pembandingan adalah formula empiris Estava (1970), Donovan (1973), Mc. Guire (1977), dan Costa (1998). Formula empiris tersebut merupakan formula

yang umum digunakan dalam kajian percepatan tanah maksimum.

**1. Perbandingan nilai PGA formula empiris baru dengan PGA observasi**

Validasi dengan membandingkan nilai PGA dari hasil perhitungan formula empiri baru dan nilai PGA hasil rekaman *accelerograph* bertujuan untuk mengetahui ketepatannya. Selain itu juga dibandingkan dengan formula empiris Costa (1998) yang merupakan cikal bakal dari formula empiris yang telah didapatkan. Perbandingan dengan nilai PGA dari formula empiris Costa (1998) bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan hasil dari formula empiris yang telah didapatkan. Hasil perbandingan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.



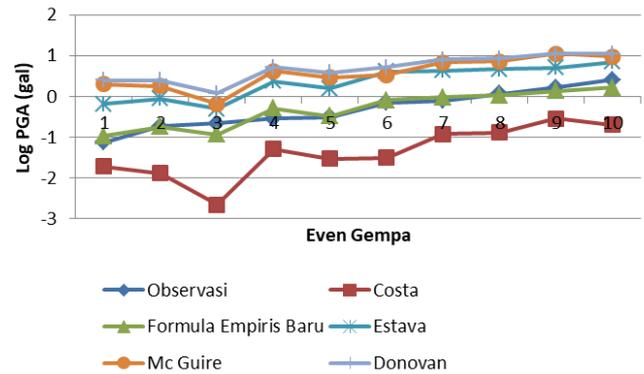
Gambar 2. Perbandingan nilai PGA observasi, Costa, dan formula empiris baru

Grafik pada Gambar 2 merupakan plot nilai percepatan tanah maksimum menggunakan 10 *event* gempabumi yang terekam oleh *accelerograph* stasiun seismik JUII dimana sumbu vertikal menunjukkan nilai log PGA dan sumbu horizontal menunjukkan penomoran *event* gempabumi. Grafik tersebut membandingkan nilai antara PGA hasil observasi, formula empiris Costa, dan formula empiris baru. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa *trend* PGA hasil formula empiris Costa (1998) relatif jauh dari nilai PGA observasi. Hal ini karena dipengaruhi oleh faktor geologi dan tektonik areal penelitian, dimana model yang digunakan oleh Costa (1998) dilakukan di daerah Italia sehingga kurang sesuai untuk wilayah Yogyakarta. Sedangkan *trend* untuk PGA hasil formula empiris baru relatif mendekati nilai PGA observasi. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan dibandingkan formula empiris Costa.

**2. Perbandingan formula empiris PGA baru dengan formula empiris PGA lainnya**

Setelah dilakukan perbandingan antara nilai PGA yang diperoleh dari formula empiris baru dengan nilai PGA observasi, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan formula PGA lainnya. Adapun pada penelitian ini, perbandingan dengan formula PGA lain dilakukan dengan 2 cara, yaitu

perbandingan dari nilai PGA yang dihasilkan serta perbandingan secara statistik.



Gambar 3. Perbandingan nilai PGA formula empiris baru dengan formula empiris lainnya

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa formula empiris baru menunjukkan hasil yang relatif lebih baik, dimana formula empiris baru memiliki trend nilai PGA yang relatif mendekati nilai PGA observasi dibandingkan dengan formula PGA lainnya. Adapun formula PGA dari Estava (1970), Donovan (1973), dan McGuire (1977) memiliki nilai PGA yang relatif lebih besar dari nilai PGA observasi. Sementara formula PGA dari Costa (1998) memiliki nilai PGA yang relatif lebih kecil dari nilai PGA observasi. Hal ini disebabkan oleh faktor geologi dan tektonik areal penelitian yang berbeda-beda untuk setiap model empiris.

Verifikasi formula empiris baru dan formula PGA lainnya dengan nilai PGA observasi dilakukan dengan pendekatan koefisien korelasi dan nilai tengah galat kuadrat (*Root Mean Square Error*). Berdasarkan hasil verifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai koefisien R (korelasi) mempunyai korelasi yang hampir sama untuk semua formula PGA, yaitu sekitar 0,85 - 0,95 (mendekati 1), namun korelasi formula empiris lebih tinggi, yaitu 0,95 sehingga dapat dikatakan bahwa formula empiris memiliki korelasi yang paling kuat. Jika melihat nilai *RMS Error*, formula empiris mempunyai nilai yang paling kecil yaitu 0,323 sehingga secara statistik formula empiris menunjukkan hasil yang relatif baik dibandingkan dengan formula PGA lainnya.

Tabel 3. Verifikasi statistik tiap formula empiris

Formula Empiris	Model	Costa	Estava	Mc. Guire	Donovan	Algermisen
R (korelasi)	0,95	0,852	0,922	0,876	0,896	0,919
RMS Error	0,323	0,988	2,708	4,975	5,853	6,016

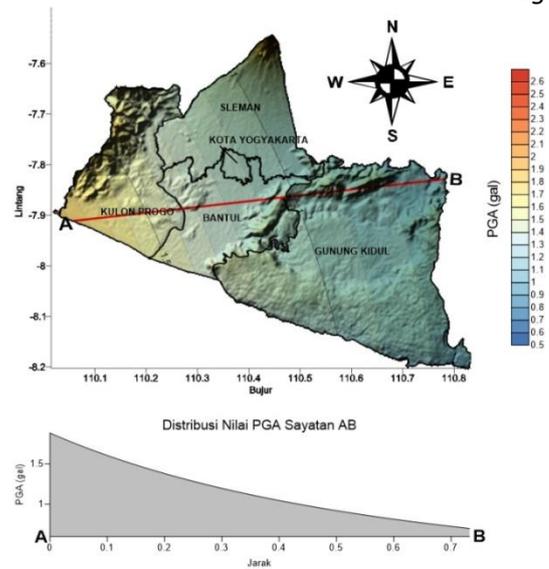
**D. Peta Persebaran Nilai PGA Formula Empiris Baru**

Formula empiris baru yang telah diperoleh dapat digunakan untuk memodelkan persebaran nilai PGA

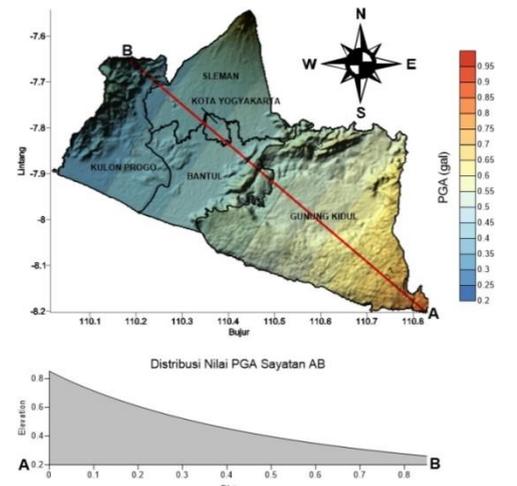
di wilayah Yogyakarta ketika terjadi gempabumi. PGA merupakan nilai terbesar percepatan getaran tanah pada suatu tempat akibat getaran gempabumi. Percepatan getaran tanah terjadi karena adanya gempabumi yang menyebabkan tanah yang pada awalnya diam menjadi bergerak dengan kecepatan tertentu. Semakin besar nilai PGA akan menyebabkan tanah mengalami pergerakan yang cepat ketika terjadi gempabumi. Setiap gempabumi yang terjadi akan memberikan satu nilai PGA pada suatu tempat. Adapun efek primer pada kejadian gempabumi adalah kerusakan struktur bangunan baik gedung bertingkat, fasilitas umum, jembatan, dan infrastruktur lainnya.

Model sebaran nilai PGA dapat dibuat dengan menentukan grid atau titik pada area penelitian. Pada setiap grid tersebut dihitung nilai PGA-nya dengan menggunakan formula empiris baru yang sudah diperoleh. Pada penelitian ini, jarak untuk setiap grid-nya adalah 5 km. Setelah nilai PGA untuk setiap grid-nya diperoleh, selanjutnya dilakukan pemetaan menggunakan software Surfer. Gambar 20 menunjukkan sebaran nilai PGA di wilayah Yogyakarta untuk gempabumi yang terjadi pada tanggal 9 Juli 2019.

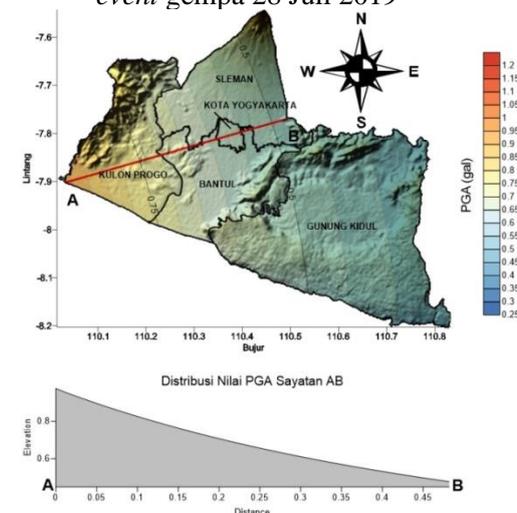
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa formula empiris menghasilkan persebaran nilai PGA akibat gempabumi 9 Juli 2019 yang berkisar antara 0,5 - 2,6 gal, dimana wilayah Kabupaten Kulon Progo memiliki nilai PGA yang paling besar jika dibandingkan dengan kabupaten yang lain, yaitu berada pada rentang 1,4 - 2 gal. Sementara wilayah Gunungkidul memiliki kisaran nilai PGA yang paling rendah dengan nilai PGA berada pada rentang 0,5 - 1,2 gal. Hal ini dikarenakan pusat gempabumi berada di arah barat daya Yogyakarta, tepatnya pada koordinat -8,510 LS, 108,860 BT sementara formula empiris hanya mempunyai dua variabel bebas saja, yaitu magnitudo dan jarak, sehingga semakin dekat suatu wilayah dengan sumber gempa akan menghasilkan nilai PGA yang lebih besar dan begitu juga sebaliknya, sebagaimana yang digambarkan oleh persebaran nilai PGA pada sayatan AB. Penerapan formula empiris dalam memodelkan pola persebaran nilai PGA di wilayah Yogyakarta pada beberapa event gempabumi lainnya ditunjukkan pada Gambar 5 hingga Gambar 6.



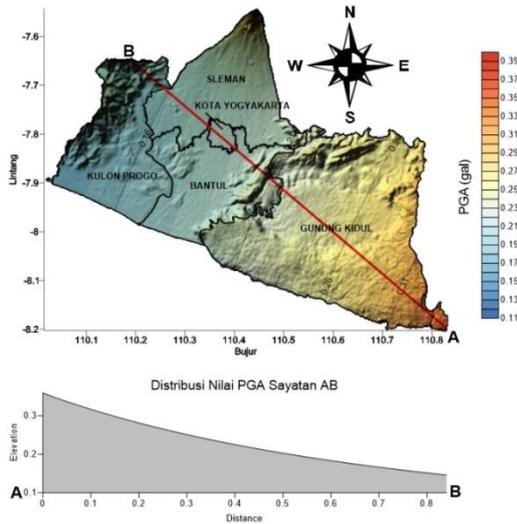
Gambar 4. Sebaran nilai PGA di Yogyakarta untuk event gempa 9 Juni 2019



Gambar 5. Sebaran nilai PGA di Yogyakarta untuk event gempa 28 Juli 2019



Gambar 6. Sebaran nilai PGA di Yogyakarta untuk event gempa 25 Agustus 2019



Gambar 7. Sebaran nilai PGA di Yogyakarta untuk event gempa 30 November 2019

Gambar 4 sampai 7 merupakan pemetaan nilai PGA untuk beberapa event gempa bumi berdasarkan formula empiris baru. Karena pemetaan didasarkan pada satu formula empiris yang kemudian digunakan untuk daerah yang cukup luas, maka perlukan pengujian untuk melihat sejauh mana efektivitas formula empiris dalam melakukan pemetaan. Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan membandingkan PGA hasil perhitungan formula empiris baru dengan nilai PGA observasi *accelerograph* stasiun seismik yang ada di sekitar Yogyakarta, yaitu stasiun seismik WOJI Wonogiri.

Stasiun WOJI Wonogiri merupakan stasiun seismik yang paling dekat dengan wilayah Yogyakarta. Stasiun WOJI berada pada koordinat 7,8372° LS, 110,9236° BT yaitu di Desa Wuryorejo, Kecamatan Wonogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Letak stasiun seismik WOJI terhadap stasiun seismik JUII ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Posisi stasiun seismik WOJI

Tabel 4. Data PGA observasi dari stasiun seismik JUII dan WOJI

No	Waktu	Parameter Gempabumi				Stasiun JUII		Stasiun WOJI	
		Lon	Lat	Depth (km)	Mb	R (Km)	PGA (gal)	R (Km)	PGA (gal)
1	09/06/2019	108,86	-8,51	10	5,7	195,545	1,666	241,134	1,085
2	28/7/2019	111,90	-8,93	10	4,5	215,191	0,316	162,973	1,047
3	10/8/2019	110,08	-8,81	10	5,1	130,465	2,587	143,277	1,930
4	25/8/2019	108,87	-8,30	49	4,7	190,896	0,286	238,749	0,128
5	9/11/2019	113,40	-9,34	10	4,8	378,878	0,075	321,691	0,109
6	14/10/2019	109,28	-8,45	10	5,0	152,135	1,150	194,964	1,023
7	30/10/2019	110,66	-8,56	10	3,8	101,142	0,709	85,983	3,167
8	9/12/2019	110,92	-9,05	40	5,0	159,441	0,796	140,438	2,174

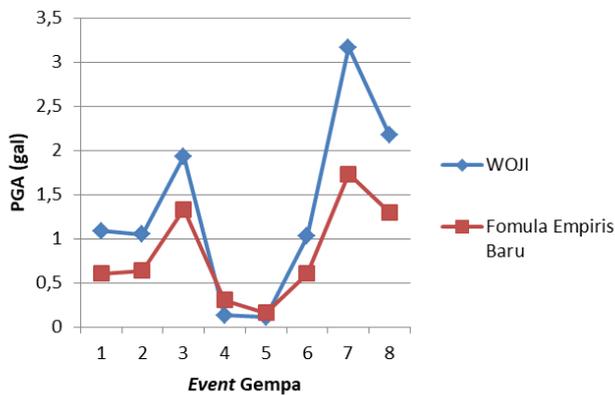
Tabel 4 menunjukkan data PGA observasi dari *accelerograph* stasiun seismik JUII dan WOJI untuk beberapa event gempa bumi yang terekam oleh kedua stasiun tersebut. Dari tabel tersebut nampak bahwa semakin dekat suatu wilayah dari sumber gempa bumi maka akan dihasilkan nilai PGA yang semakin besar, dan begitu juga sebaliknya. Hal ini sesuai dengan formula empiris baru yang telah didapatkan pada penelitian ini, dimana pada suatu event gempa bumi (magnitudo sama) semakin dekat suatu daerah dengan sumber gempa bumi maka akan dihasilkan nilai PGA yang semakin besar.

Tabel 5. Nilai PGA dari formula empiris baru di daerah stasiun WOJI

No	Waktu	PGA WOJI (gal)	PGA Formula Empiris (gal)
1	09/06/2019	0,605	1,085
2	28/07/2019	0,638	1,047
3	10/8/2019	1,334	1,930
4	25/08/2019	0,300	0,128
5	9/11/2019	0,160	0,109
6	14/10/2019	0,601	1,023
7	30/10/2019	1,730	3,167
8	9/12/2019	1,300	2,174
RMS			0,688

Tabel 5 menunjukkan nilai PGA yang dihasilkan dari formula empiris baru ketika digunakan untuk menghitung nilai PGA di daerah stasiun WOJI dan data PGA observasi dari stasiun seismik WOJI. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa formula empiris baru ketika digunakan di daerah stasiun WOJI Wonogiri menghasilkan nilai RMS error sebesar 0,688. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan nilai error, dimana formula empiris baru ketika digunakan di stasiun JUII menghasilkan nilai RMS error sebesar 0,323 sehingga terdapat kemungkinan bahwa semakin jauh suatu daerah dari stasiun seismik JUII maka tingkat ketepatan formula empiris baru dalam menghitung nilai PGA akan berkurang. Meskipun demikian, berdasarkan Tabel 5 formula empiris baru masih dikatakan baik saat digunakan di daerah stasiun WOJI Wonogiri. Hal ini dapat juga dilihat pada Gambar 9, sehingga formula empiris baru dapat digunakan untuk membuat pemetaan nilai PGA di wilayah Yogyakarta yang secara jarak masih lebih dekat dengan stasiun seismik JUII. Meskipun formula empiris baru tidak dapat menghitung nilai

PGA secara akurat, akan tetapi formula empiris baru dirasa dapat digunakan sebagai pendekatan secara empiris guna memberikan gambaran umum nilai PGA sesuai titik yang dibutuhkan di wilayah Yogyakarta ketika terjadi gempa bumi.



Gambar 9. Grafik perbandingan nilai PGA formula empiris baru dan PGA observasi stasiun WOJI

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Formula empiris percepatan tanah maksimum (PGA) untuk wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta adalah:  $\log(A) = 4,375 + 0,198 Ms - 2,353 \log(R)$ . Dengan A adalah nilai percepatan tanah maksimum dalam satuan gal, Ms adalah magnitudo gelombang permukaan, dan R adalah jarak hiposenter (Km). Formula empiris dari penelitian ini memiliki tingkat kecocokan yang cukup tinggi dengan hasil PGA observasi berdasarkan verifikasi statistik dan grafik perbandingan. Dibandingkan dengan beberapa formula empiris yang sudah ada sebelumnya, formula empiris dari penelitian ini relatif lebih baik dan mendekati hasil PGA observasi dengan tingkat korelasi yang kuat sebesar 0,95 dan tingkat error yang kecil sebesar 0,32.
2. Pemetaan nilai PGA berdasarkan formula empiris yang telah diperoleh pada penelitian ini untuk event gempa bumi 9 Juli 2019 yang berpusat di sebelah barat daya Yogyakarta menghasilkan persebaran nilai PGA yang berada pada rentang

0,5 – 2,6 gal, dimana wilayah Kabupaten Kulon Progo memiliki persebaran nilai PGA yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan kabupaten yang lain, yaitu berada pada rentang 1,4 – 2,0 gal. Sementara wilayah Kabupaten Gunungkidul memiliki sebaran nilai PGA yang lebih rendah, yaitu berada pada rentang 0,5 – 1,2 gal. Hal ini menunjukkan bahwa formula empiris tersebut menghasilkan nilai PGA yang berbanding lurus dengan jarak dari sumber gempa bumi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan beberapa pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada: Denny Darmawan, M.Sc. selaku ketua pengujian sekaligus pembimbing, Khafidh Nur Aziz, M.Sc. selaku pengujian utama, dan Nugroho Budi Wibowo, M.Si. selaku pengujian pendamping sekaligus pembimbing, serta seluruh pihak yang berperan dalam penyelesaian penelitian ini yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Daryono. (2010). *Zona rawan "Local Site Effect" Gempabumi di Yogyakarta*. Yogyakarta : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Douglas. (2004). *Ground Motion Estimation Equations 1964-2003*. London: Departemen of Civil & Environmental Engineering Imperial Collage London.
- Saputri, D. & Pujiastuti, D. (2020). Analisis Kecocokan Nilai Empiris Percepatan Tanah Pulau Lombok Berdasarkan Perhitungan Empiris dengan Data Percepatan Tanah dari Akselerograf di Stasiun Mataram. *Jurnal Fisika Unand*, 9 (1), 79-84.
- Sunarjo, Gunawan, M.T., Pribadi, S. (2012). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta: BMKG.
- Sungkowo, A. (2018). Perhitungan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Rekaman Sinyal Accelerograph di Stasiun Pengukuran UNSO Surakarta. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8 (1), 43-51.
- Yuliara, I.M. (2016). *Modul: Regresi Linier Berganda*. Bali: Universitas Udayana.