

Perbandingan Perhitungan Percepatan Tanah Antara Metode Empiris dengan Hasil yang Terbaca Pada *Accelerograph* untuk Daerah Jayapura dan Sekitarnya

Hartanto

Universitas Negeri Makassar
Email: hhart.anto@gmail.com

Abstrak – Percepatan tanah adalah perubahan kecepatan dari keadaan mula-mula sampai ke keadaan tertentu suatu gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi. Nilai percepatan tanah dapat diperoleh dengan 4 cara, yaitu dengan Pengukuran, Metode Empiris, Metode Semi Empiris dan Observasi. Dalam penelitian ini akan dibandingkan antara Pengukuran (*accelerograph*) dengan Rumus Empiris. Nilai percepatan tanah dengan Metode Empiris diperoleh dengan menggunakan rumus empiris, dalam penelitian ini terdapat 22 rumus empiris, yaitu Mc Guire (1978), Cornell (1979), Petrovski dan Marcellini (1988), Campbell (1981), Bommer (1996), Free (1996 & 1998), Schmidt (1997), Esteva (1970), Esteva (1974), Donovan (1973), Musson (1994), Ambraseys (1975b), Schenk (1982), Fukushima & Tanaka (1990), Gaul (1988), Taylor Castillo (1992), Costa (1998) komponen vertikal, Costa (1998) komponen horizontal, Smit (1998), Wang (1999), Alchalbi (2003) dan Mc Guire (1963). Sedangkan nilai percepatan tanah dengan Metode Pengukuran diperoleh dengan menggunakan alat berupa *accelerograph*. Data *Accelerograph* yang digunakan adalah sensor JBPI di BBMKG Wilayah V Jayapura. Rumus empiris yang paling baik dari hasil perbandingan dapat dicari dengan menggunakan RMS Error. Dari hasil perbandingan pada penelitian ini diperoleh rumus empiris dengan RMS error terkecil yaitu Wang (1999) dengan nilai 2.49. Berdasarkan hasil tersebut, rumus empiris Wang (1999) lebih tepat digunakan untuk menghitung percepatan tanah di wilayah Jayapura dan sekitarnya.

Kata kunci: *Accelerograph*, Rumus Empiris, RMS error

Abstract – Ground acceleration is a change in velocity from the initial state to a certain state of an earthquake wave that reaches the earth's surface. Ground acceleration values can be obtained in 4 ways, by Measurement, Empirical Methods, Semi-Empirical Methods and Observation. In this study will be compared between measurements (*accelerograph*) method and Empirical Formulas method. The value of ground acceleration using the Empirical Method is obtained using empirical formulas, in this study there are 22 empirical formulas, i.e. Mc Guire (1978), Cornell (1979), Petrovski and Marcellini (1988), Campbell (1981), Bommer (1996), Free (1996 & 1998), Schmidt (1997), Esteva (1970), Esteva (1974), Donovan (1973), Musson (1994), Ambraseys (1975b), Schenk (1982), Fukushima & Tanaka (1990), Gaul (1988), Taylor Castillo (1992), Costa (1998) vertical components, Costa (1998) horizontal components, Smit (1998), Wang (1999), Alchalbi (2003) and Mc Guire (1963). While the ground acceleration value by the Measurement Method is obtained using an *Accelerograph*. The *Accelerograph* data used from JBPI sensor in BBMKG Region V Jayapura. The best empirical formula from the comparison results can be searched using RMS Error. From the results of the comparison in this study, obtained an empirical formula with the smallest RMS error, namely Wang (1999) with a value of 2.49. Based on these results, Wang's (1999) empirical formula is more appropriate for calculating ground acceleration in the Jayapura region.

Keywords: *Accelerograph*, Empirical Formula, RMS error

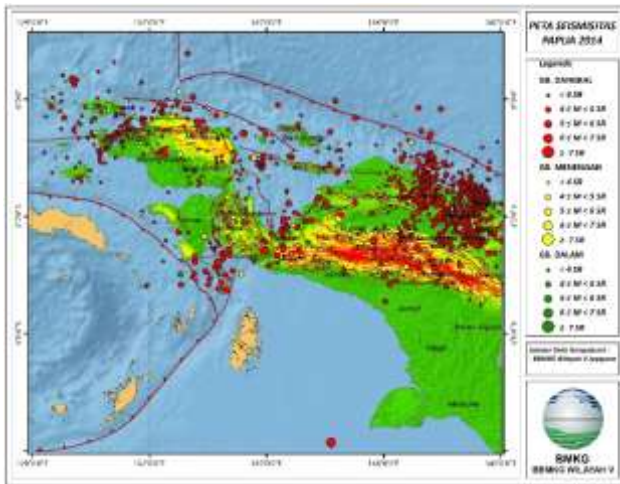
I. PENDAHULUAN

Jayapura merupakan salah satu daerah di Papua-Indonesia dengan frekuensi gempa bumi yang cukup tinggi (Gambar 1 dan 2). Alat untuk mengukur percepatan tanah disebut juga *accelerograph* dan telah terpasang di kantor BBMKG Wilayah V Jayapura sejak tahun 2013. Alat ini berfungsi untuk merekam kejadian gempa bumi kuat dalam bentuk signal gempa bumi yang dapat dianalisa untuk diperoleh nilai percepatan tanahnya.

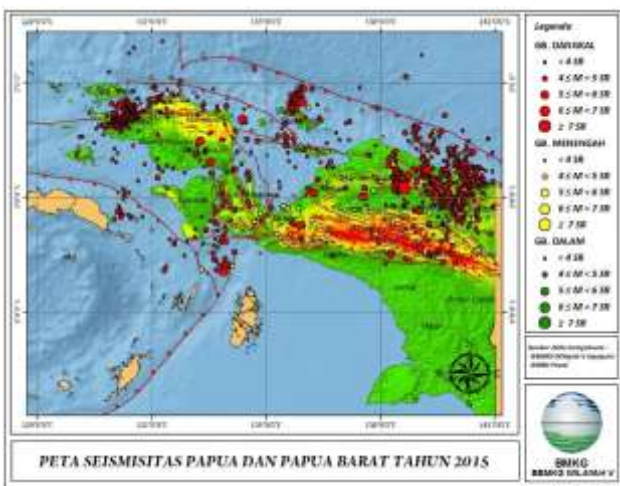
Selain *accelerograph*, nilai percepatan tanah juga dapat diperoleh dengan menghitung menggunakan metode empiris. Metode empiris jumlahnya sangat banyak, hal ini terjadi karena setiap daerah di seluruh dunia memiliki karakteristik kegempaan dan geologi yang berbeda-beda. Inilah yang menuntun para ahli seismologi untuk

menghasilkan metode empiris untuk menghitung nilai percepatan tanah berdasarkan perbedaan tersebut.

Dalam hal pembangunan, kota Jayapura dalam kurun beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan IPM (Indeks Pembangunan Manusia). Tingkat pencapaian pembangunan manusia di suatu wilayah dapat diukur dengan Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Secara berturut-turut dari tahun 2015, 2016 hingga 2017, nilai IPM kota Jayapura adalah 78.05, 78.56 dan 79.23 [4]. IPM merupakan indikator penting untuk mengukur keberhasilan dalam upaya membangun kualitas hidup manusia (masyarakat/penduduk), serta dapat menentukan peringkat atau level pembangunan suatu wilayah/negara [11].



Gambar 1. Peta Seismisitas Papua 2014 (BBMKG Wilayah V Jayapura)



Gambar 2. Peta Seismisitas Papua 2015 (BBMKG Wilayah V Jayapura)

II. LANDASAN TEORI

Beberapa cara untuk menentukan percepatan tanah akibat gempa bumi adalah :

a. Pengukuran

Pengukuran nilai percepatan tanah dengan menggunakan alat yaitu *Accelerograph*.

b. Metoda empiris

Metode empiris adalah metode yang dilakukan untuk menghitung percepatan tanah dengan rumus sederhana. Dimana perhitungan percepatan tanah metode empiris ini membutuhkan parameter gempa bumi yaitu magnitude dan jarak. Dalam penelitian ini penulis membatasi pemilihan metode empiris dengan beberapa kategori pemilihan, yaitu :

1. Hanya memerlukan data magnitude dan jarak dalam perhitungannya.
2. Menggunakan data gempa bumi dengan karakteristik seperti yang ada di kota Jayapura.
3. Menggunakan data gempa bumi lokal dan bukan dari data gempa bumi tele.
4. Lebih banyak menggunakan data gempa bumi dangkal/menengah.
5. Data skala magnitude yang digunakan adalah data gempa bumi signifikan.

Berdasarkan kategori diatas, metode empiris yang digunakan dalam perhitungan percepatan tanah pada artikel ini adalah:

1. Rumus Empiris McGuire (1978) [5]

$$\ln x = b_1 + b_2 M + b_3 \ln R + b_4 Y_s \quad (1)$$

Dimana x adalah percepatan tanah (cm/s^2),
 $b_1 = 3.40$, $b_2 = 0.89$, $b_3 = -1.17$, $b_4 = -0.20$

2. Rumus Empiris Cornell et al. (1979) [5]

$$\ln A_p = a + b M_L + c \ln (R + 25) \quad (2)$$

Dimana A_p dalam cms^{-2} , $a = 6.74$, $b = 0.859$,
 $c = -1.80$

3. Rumus Empiris Petrovski & Marcellini (1988) [5]

$$\ln(a) = b'_1 + b_2 M + b_3 \ln(R + c) \quad (3)$$

Dimana a dalam cms^{-2} , $b'_1 = 6.4830$, $b_2 = 0.5438$, $b_3 = -1.3330$, $c = 20$ km.

4. Rumus Empiris Campbell (1981) [5]

$$PGA = a \exp(bM)[R + c_1 \exp(c_2 M)]^{-d} \quad (4)$$

Dimana PGA dalam gal , $a = 0.0159$, $b = 0.868$, $c_1 = 0.0606$, $c_2 = 0.700$ dan $d = 1.09$

5. Rumus Empiris Bommer et al. (1996) [5]

$$\ln(A) = a + bM + d \ln(R) + qh \quad (5)$$

Dimana h adalah kedalaman *focal* gempa bumi, A dalam gal , $a = -1.47$, $b = 0.608$, $d = -1.181$, $q = 0.0089$

6. Rumus Empiris Free (1996) & Free et al. (1998) [5]

$$\log(Y) = C_1 + C_2 M + C_3 M^2 + C_4 \log(R) + C_5(R) + C_6(S) \quad (6)$$

Dimana Y dalam gal , $C_1 = -4.1800$, $C_2 = 1.0189$, $C_3 = -0.00404$, $C_4 = -1$, $C_5 = -0.0019$, $C_6 = 0.163$, $h_0 = 2.7$.

7. Rumus Empiris Schmidt et al. (1997) [5]

$$\ln(A) = c_1 + c_2 M + c_3 \ln r + c_4 r + c_5 S_1 + c_6 S_2 \quad (7)$$

Dimana A dalam ms^{-2} , untuk gempa bumi dangkal $c_1 = -1.725$, $c_2 = 0.687$, $c_3 = -0.742$, $c_4 = -0.003$, $c_5 = 0.173$, $c_6 = 0.279$.

8. Rumus Empiris Esteva (1970) [5]

$$a = c_1 e^{c_2 M} (R + c_3)^{-c_4} \quad (8)$$

Dimana a dalam cms^{-2} , $c_1 = 1230$, $c_2 = 0.8$, $c_3 = 25$, $c_4 = 2$.

9. Rumus Empiris Esteva & Villaverde (1973) & Esteva (1974) [5]

$$Y_c = b_1 e^{b_2 M} (R + b_4)^{-b_3} \quad (9)$$

Dimana Y_c dalam cms^{-2} , $b_1 = 5600$, $b_2 = 0.8$, $b_3 = 2$, $b_4 = 40$.

10. Rumus Empiris Donovan (1973) [5]

$$y = b_1 e^{b_2 M} (R + 25)^{-b_3} \quad (10)$$

Dimana y dalam gal , $b_1 = 1080$, $b_2 = 0.5$, $b_3 = 1.32$

11. Rumus Empiris Musson et al. (1994) [5]

$$\ln A = a + bM - \ln(R) + dR \quad (11)$$

Dimana A dalam cms^{-2} , $a = 2.11$, $b = 1.23$ dan $d = -0.014$

12. Rumus Empiris Ambraseys (1975b) [5]

$$\log Y = b_1 + b_2 M_L + b_3 \log R \quad (12)$$

Dimana Y dalam cms^{-2} , $b_1 = 0.46$, $b_2 = 0.63$, $b_3 = -1.10$.

13. Rumus Empiris Schenk (1982) [5]

$$\log A_{mean} = aM - b \log R + c \quad (15)$$
 Dimana A_{mean} dalam cms^{-2} , $a = 1.1143$, $b = 1.576$ dan $c = 2.371$.
14. Rumus Empiris Fukushima et al. (1988) & Fukushima & Tanaka (1990) [5]

$$\log A = aM - \log(R + c10^{aM}) - bR + d \quad (16)$$
 Dimana A dalam cms^{-2} , $a = 0.41$, $b = 0.0034$, $c = 0.032$ dan $d = 1.30$
15. Rumus Empiris Gaull (1988) [5]

$$\log PGA = [(a_1 \log R + a_2)/a_3](M_L - a_4) - a_5 \log R - a_6 R + a_7 \quad (17)$$
 Dimana PGA dalam ms^{-2} , $a_1 = 5$, $a_2 = 3$, $a_3 = 20$, $a_4 = 6$, $a_5 = 0.77$, $a_6 = 0.0045$ dan $a_7 = 1.2$,
16. Rumus Empiris Taylor Castillo et al. (1992) [5]

$$\ln A = a_1 + a_2 M_s + a_3 \ln(R) + a_4 R \quad (18)$$
 Dimana A dalam ms^{-2} , $a_1 = 0.339$, $a_2 = 0.455$, $a_3 = -0.67$, $a_4 = -0.00207$.
17. Rumus Empiris Costa et al. (1998) [5]

$$\log A = a + bM + c \log(r) \quad (19)$$
 Dimana A dalam gal , untuk component vertical, maka nilai $a = -1.879$, $b = 0.431$, dan $c = -1.908$, sedangkan untuk komponen horizontal nilai $a = -2.114$, $b = 0.480$, dan $c = -1.693$.
18. Rumus Empiris Smit (1998) [5]

$$\log Y = a + bM - \log R + dR \quad (20)$$
 Dimana Y dalam nm/s^2 , $b = 0.868$, $d = -0.001059$, untuk PGA pada komponen horizontal maka nilai $a = 5.230$.
19. Rumus Empiris Wang et al. (1999) [5]

$$\log A = a + bM_s + c \log R + dR \quad (21)$$
 Dimana A dalam cms^{-2} , $a = 0.430$, $b = 0.428$, $c = -0.764$ dan $d = -0.00480$,
20. Rumus Empiris Alchalbi et al. (2003) [5]

$$\log A = b_0 + b_1 M_c + b_2 \log r \quad (22)$$
 Dimana A dalam gal , untuk PGA pada komponen Horizontal, $b_0 = -1.939$, $b_1 = 0.278$, $b_2 = -0.858$
21. Rumus Empiris Mc Guirre (1963) [5]

$$E[v] = a10^{bM}(R + 25)^{-c} \quad (23)$$
 Dimana $E[v]$ dalam gal , $a = 472$, $b = 0.278$, $c = 1.301$.

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Terdapat dua jenis data yang akan diolah yaitu data parameter gempabumi dan data *accelerograph*. Data yang digunakan dalam artikel ini adalah data gempabumi dari Pusat Gempa Regional V Jayapura dan data *accelerograph* stasiun JBPI BBMKG Wilayah V Jayapura.

Untuk membandingkan nilai percepatan tanah, diperlukan hasil dari perhitungan metode empiris dan hasil dari pengukuran *accelerograph*. Untuk menghasilkan nilai percepatan tanah, metode empiris membutuhkan data magnitude dan jarak yang dapat diperoleh dari data parameter gempa. Sedangkan nilai percepatan tanah dari *accelerograph* dapat langsung dianalisa menggunakan program Dadisp.

Nilai percepatan tanah yang telah dihitung tadi, baik menggunakan metode empiris maupun pengukuran *accelerograph* kemudian dicocokkan satu sama lain dengan memperhatikan *Origin Time* (waktu terjadi gempabumi) dan

waktu tiba gelombang *primer* (P). Dari hasil pencocokan waktu tersebut, lalu dibandingkan antara metode empiris dengan hasil yang terbaca pada *accelerograph*.

Metode perbandingan yang digunakan dalam artikel ini menggunakan RMS (*Root Mean Square*) error [2] seperti pada persamaan (24). Semakin besar nilai RMS error, maka semakin tinggi penyimpangan perhitungan percepatan tanah menggunakan metode empiris tersebut. Sebaliknya, semakin kecil nilai RMS error, maka semakin kecil penyimpangan perhitungan percepatan tanah metode empiris tersebut.

$$r = \sqrt{\frac{\sum (Y_1 - Y_2)^2}{n}} \quad (24)$$

dimana, r = RMS error, Y_1 = Harga acuan, Y_2 = Harga yang dibandingkan, n = Banyaknya data.

Hasil dari RMS error terkecil menjadi acuan dalam menentukan metode empiris mana yang paling baik digunakan dalam menghitung percepatan tanah pada daerah penelitian dalam hal ini Jayapura dan sekitarnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan dan pencocokan, terdapat 75 data parameter gempa yang bersesuaian waktu kejadiannya dengan yang terekam pada *accelerograph*. Data tersebut diperoleh pada rentang waktu oktober 2014 sampai oktober 2016. Sejumlah 75 data parameter gempabumi tersebut kemudian dihitung nilai percepatan tanahnya.

Tabel 1. Nilai RMS error metode empiris

No	Metode Empiris	RMS Error
1	Mc Guire (1978)	5.41
2	Cornell (1979)	4.14
3	Petrovski & marcellini (1988)	9.85
4	Campbell (1981)	3.83
5	Bommer (1996)	3.82
6	Free (1996) & (1998)	3.82
7	Schmidt (1997)	3.79
8	Esteva (1970)	2.51
9	Esteva (1974)	6.73
10	Donovan (1973)	13.86
11	Musson (1994)	3.67
12	Ambraseys (1975 b)	38.57
13	Schenk (1982)	8.41
14	Fukushima & Tanaka (1990)	4.23
15	Gaull (1988)	3.81
16	Taylor Castillo (1992)	3.62
17	Costa (1998) komponen vertical	3.83
18	Costa (1998) komponen horizontal	3.83
19	Smit (1998)	12.71
20	Wang (1999)	2.49
21	Alchalbi (2003)	3.83
22	Mc Guirre (1963)	10.34

Nilai percepatan tanah berdasarkan pengukuran *accelerograph* berkisar 0.003 – 23.5 gal. Sedangkan nilai percepatan tanah menggunakan metode empiris berkisar 1.45×10^{-6} gal (Costa 1998 komponen vertikal) sampai 338.37 gal (Ambraseys 1975b).

Setelah membandingkan nilai percepatan tanah antara metode empiris dan hasil pengukuran *accelerograph*, diperoleh nilai RMS error yang cukup variatif. Nilai RMS error terbesar diperoleh *Ambraseys* (1975b) yaitu 38,57 gal dan nilai RMS error terkecil diperoleh *Wang* (1999) yaitu 2.49 gal lihat Tabel 1.

Berdasarkan hasil tersebut, metode empiris untuk melakukan perhitungan percepatan tanah yang akan mendekati nilai hasil pengukuran *accelerograph* pada daerah Jayapura dan sekitarnya adalah metode *Wang* (1999). Hasil pada Tabel 1 juga terlihat bahwa metode empiris *Esteve* (1970) memiliki nilai error berselisih 0.02 gal. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dapat digunakan rentang data yang lebih banyak dari segi kuantitas dan lebar dari segi variasi nilai percepatan tanah.

Selain itu, perhitungan nilai percepatan tanah untuk daerah tertentu harus melalui kajian terlebih dahulu untuk menentukan metode apa yang akan digunakan. Ini terlihat dari hasil RMS Error yang cukup bervariasi, bahkan pada beberapa metode empiris, nilai RMS Errornya cukup tinggi. Jika salah menggunakan metode empiris dalam perhitungan percepatan tanah, akan berdampak pada pembuatan peta percepatan tanah/gempa. Dan ini akan menuntun pada kesalahan perencanaan pembangunan suatu wilayah. Karena peta gempa ini seharusnya menjadi acuan dalam membangun suatu bangunan karena menyangkut beban rencana yang digunakan dalam merancang struktur bangunan [1].

V. KESIMPULAN

RMS error metode empiris berkisar antara 2.49 – 38.57. Metode empiris *Wang* (1999) memiliki nilai RMS error terkecil dengan nilai 2.49. Hasil ini menjadi dasar bahwa perhitungan percepatan tanah menggunakan metode empiris di wilayah Jayapura dan sekitarnya sebaiknya menggunakan Metode empiris *Wang* (1999). Pengembangan lebih lanjut masih diperlukan dalam penelitian ini, seperti jumlah data dan variasi nilai percepatan tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan dan atasan di kantor BBMKG wilayah V Jayapura dan BBMKG Wilayah IV Makassar serta teman-teman di Jurusan Fisika Pasca Sarjana Universitas Negeri Makassar 2018 atas dukungan dan kerjasamanya selama proses penulisan makalah ini.

PUSTAKA

- [1] Achmad Syaiful Makmur, Peta Gempa, Website : <https://achmadsya.wordpress.com/2010/04/23/apa-itu-peta-gempa/> diakses tanggal 20 September 2019
- [2] Agung Sabtaji, "Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Rumus Empiris Atenuasi Berdasarkan Data Accelerograph Di Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar, Bali", Tugas Akhir, Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta, 2005
- [3] Bagus Haryo Wibowo Kusumo, "Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum Pada Struktur Di Daerah Pulau Jawa dan Sekitarnya", Skripsi, Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta., 1997
- [4] BPS Kota Jayapura. Kota Jayapura Dalam Angka 2018. Jayapura : CV. Sekarwangi, 2018
- [5] Douglas John, *Ground Motion Estimation Equation 1964-2003*, Department of Civil and Environmental Engineering Soil Mechanics, Imperial College London., 2004
- [6] Fauzi M.Sc, Ph.D, dkk, *Pemetaan Gempa Bumi Di Indonesia*, BMG., 2001
- [7] Hamilton.W., *Tectonics Of The Indonesian Region*, United States Geological Survey Professional Paper, p.1078., 1979
- [8] Hartanto, *Perbandingan Perhitungan Percepatan Tanah Antara Metode Empiris dengan Hasil Yang Terbaca Pada Accelerograph*, Skripsi, Universitas Negeri Makassar, Makassar. 2008
- [9] Hasanudin, "Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum Pada Struktur Permukaan di Daerah Jawa Barat dan Sekitarnya" Karya tulis, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia, Depok., 1994
- [10] Ibrahim Gunawan dan Subardjo, "Pengetahuan Seismologi" Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta. 2004
- [11] Indeks Pembangunan Manusia. Website : <https://www.bps.go.id/subject/26/indeks-pembangunan-manusia.html> diakses tanggal 20 September 2019
- [12] Ismail sulaiman, "Pendahuluan Seismologi I", Balai Diklat Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, Jakarta., 1989.