

**PERKIRAAN NILAI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM AKIBAT GEMPA
BUMI 28 FEBRUARI 1989 DAN 27 FEBRUARI 1998 DI WILAYAH KOTA
JAYAPURA**

STEVEN Y.Y. MANTIRI¹ DAN KHAERIAH DAHLAN²

¹ Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih

² Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih

¹ email: svenlly@gmail.com

² email: khaeriahd@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian tentang perkiraan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi 28 Februari 1989 dan 27 Februari 1998 di wilayah Kota Jayapura. Tujuan penelitian ini yaitu memperkirakan dan memetakan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi tanggal 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT dan 27 Februari 1998, 20:23:12.38 GMT sebagai akibat efek guncangan akibat gempa bumi tersebut di wilayah Kota Jayapura. Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengukuran langsung di lapangan dan analisis perhitungan di laboratorium komputasi. Sinyal mikrotremor diukur langsung di lapangan dengan menggunakan alat perekam seismograf. Data mikrotremor dianalisis dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk periode dominan tanah, dimana nilai ini digunakan untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum. Wilayah kajian meliputi wilayah Kota Jayapura dengan batas koordinat 2,0 – 4,0 LS dan 139,0 – 141,5 BT. Pengukuran mikrotremor dilakukan pada 50 titik pengukuran. Gempa bumi kontrol yang digunakan sebanyak 2 kejadian yaitu gempa bumi tanggal 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT dan tanggal 27 Februari 1998, 20:23:12.38 GMT.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa percepatan tanah maksimum setiap metode atenuasi memberikan nilai, variasi, dan pola yang berbeda-beda. Ketiga metode atenuasi Kanai (1966), Tong dan Katayama (1988), dan Sun dan Peng (1993) memberikan nilai percepatan tanah maksimum terbesar pada kejadian gempa bumi 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT yaitu masing-masing 90.4318 gal, 67.4362 gal, dan 179.2262 gal. Nilai percepatan tanah maksimum terbesar untuk gempa bumi tanggal 27 Februari 1998, 20:23:12.38 GMT yaitu masing-masing 128.8423 gal untuk Kanai (1966), 94.2593 gal untuk Tong dan Katayama (1988) dan 201.4881 gal untuk Sun dan Peng (1993).

Kata Kunci: percepatan tanah maksimum, gempa bumi, mikrotremor, Kota Jayapura

PENDAHULUAN

Kota Jayapura terletak di daerah paling timur wilayah Indonesia dengan batas-batas koordinat yaitu 1°28'17,26" LS - 3°58'082" LS dan 137°34'10,6" BT - 141°0'8'22" BT. Kota Jayapura termasuk kategori kota yang sedang berkembang, dimana Pemerintah Kota masih terus mengembangkan dan membangun infrastruktur untuk mendukung proses

kehidupan yang berlangsung di kota tersebut.

Dalam hal seismisitas, wilayah Kota Jayapura seirama dan dipengaruhi kuat oleh sistem tatanan tektonik regional yang terjadi atas wilayah Papua dan Papua Barat. Papua dan Papua Barat terletak pada daerah pertemuan 3 lempeng kerak bumi yaitu lempeng Pasifik (lempeng Caroline) yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia, dimana lempeng Hindia-

Australia bergerak relatif ke arah utara dan lempeng Hindia-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia di sebelah barat Papua dan Papua Barat. Akibat kondisi ini, wilayah Papua dan Papua Barat mengalami gaya pemampatan berarah barat daya-timur laut yang menyebabkan di wilayah ini terjadi banyak patahan, lipatan, dan pegunungan. Kondisi-kondisi ini menyebabkan wilayah Papua dan Papua Barat banyak di guncang gempa bumi. Kondisi ini menyebabkan wilayah Jayapura rawan dan telah dilanda oleh beberapa gempa bumi dengan skala magnitudo yang relatif besar.

Percepatan tanah maksimum dipakai pada kajian dasar pembangunan infrastruktur di suatu wilayah pembangunan. Variabel ini dapat ditentukan dengan beberapa proses yaitu dengan melibatkan data mikrotremor, kajian geologi tempat, dan tanpa melibatkan data mikrotremor dan geologi tempat. Menurut Kanai (1966) bila periode alami tanah sama dengan periode gempa bumi maka akan terjadi resonansi sehingga terjadi amplifikasi (perbesaran) getaran maksimum. Kondisi ini akan memberikan dampak yang maksimum akibat gempa bumi tersebut yaitu percepatan getaran tanah pada permukaan akan menjadi maksimum. Jika percepatan tanah menjadi maksimum maka ukuran intensitas gempa bumi yaitu ukuran visual kerusakan akibat gempa bumi akan maksimum (Wald *et al.*, 1999).

Wilayah Jayapura telah dilanda oleh banyak gempa bumi dengan skala magnitudo yang relatif besar. Setiap gempa bumi memberikan efek guncangan yang berbeda-beda. Berdasarkan kondisi-kondisi ini, maka perlu dilakukan suatu kajian tentang perkiraan bahaya seismik untuk pengkajian sistem gempa bumi berupa percepatan tanah maksimum secara deterministik di wilayah Kota Jayapura. Kajian ini dilakukan untuk memperkirakan dan memetakan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi tanggal 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT dan 27 Februari 1998, 20:23:12.38

GMT. Perkiraan ini menggambarkan efek guncangan akibat gempa bumi tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang bersifat merusak dan menimbulkan bencana. Ukuran sebuah gempa bumi adalah parameter yang sangat penting dan dapat dijelaskan dengan cara-cara yang berbeda (Kramer, 1996). Istilah yang sering dipakai untuk ukuran sebuah gempa bumi adalah intensitas gempa bumi, magnitudo gempa bumi dan energi yang dilepaskan (Kramer, 1996). Dari ketiga ukuran gempa bumi, istilah yang paling terkenal di kalangan masyarakat umum adalah magnitudo gempa bumi. Mantiri (2016) membagi gempa bumi berdasarkan magnitudo yaitu:

- 1) Gempa bumi sangat besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo lebih besar 8,0 SR.
- 2) Gempa bumi besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 7,0 hingga 8,0 SR.
- 3) Gempa bumi kuat yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 6,0 hingga 7,0 SR.
- 4) Gempa bumi sedang yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 5,0 hingga 6,0 SR.
- 5) Gempa bumi ringan yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 4,0 hingga 5,0 SR.
- 6) Gempa bumi kecil yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 3,0 hingga 4,0 SR.
- 7) Gempa bumi mikro yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 0,0 hingga 3,0 SR.

2. Percepatan Tanah Maksimum

Parameter percepatan gelombang seismik atau sering disebut percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik. Setiap gempa yang terjadi di suatu wilayah akan menimbulkan suatu nilai percepatan tanah pada wilayah tersebut.

Nilai percepatan tanah yang diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi adalah percepatan tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik pada posisi tertentu dalam suatu kawasan yang dihitung dari akibat semua gempa bumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitude dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah dimana titik tersebut berada. Satuan yang digunakan dalam pengukuran percepatan tanah maksimum adalah centimeter per detik² atau disebut *gal*. Penentuan nilai percepatan tanah maksimum di suatu tempat dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan alat pengukur yaitu accelerograf dan dengan cara perhitungan pendekatan secara empiris. Metode empiris merupakan cara alternatif jika jaringan accelerograf kurang mendukung. Pendekatan metode empiris, tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum (Ibrahim dan Subardjo, 2003). Penentuan nilai percepatan tanah dengan melibatkan periode alami tanah (mikrotremor) dapat dihitung berdasarkan beberapa persamaan yaitu:

1) Kanai (1966)

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0.61M - \left(1.66 + \frac{3.6}{R}\right) \log R + 0.167 - \frac{1.83}{R}}$$

dengan T_0 adalah periode dominan tanah, M adalah magnitudo gempa bumi dan R adalah jarak hiposenter.

2) Tong dan Katayama (1988)

$$\log \bar{A} = \alpha M - \beta \log(\Delta + 10) + \gamma T + \delta$$

dengan T adalah periode dominan tanah, M adalah magnitudo gempa bumi, Δ adalah jarak episenter dan $\alpha = 0.509$, $\beta = 2.32$, $\gamma = 0.039$, $\delta = 2,33$.

3) Sun dan Peng (1993)

$$\ln A = a + bM - c \ln(R + h) + dT_s$$

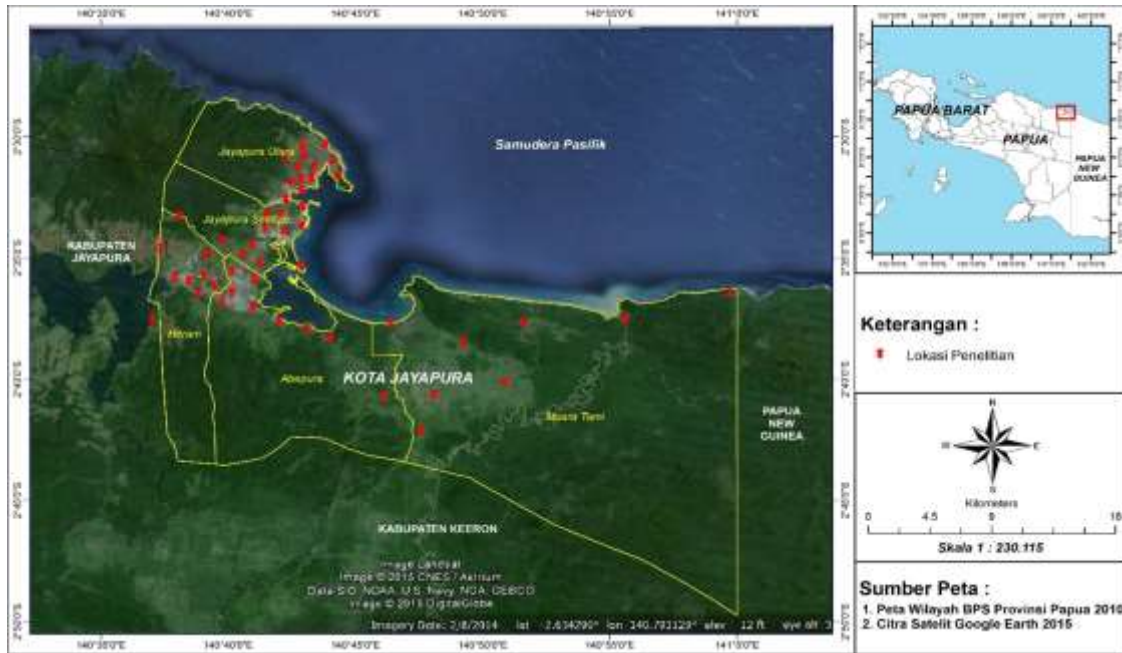
dengan T_s adalah periode dominan tanah, $a = 7.7$, $b = 0.49$, $c = 1.45$, $d = 0,19$, $h = 25.0$ dan $\sigma = 0.46$.

3. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan vibrasi lemah di permukaan bumi. Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Analisis mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominan dan faktor penguat gelombang (amplifikasi). Data yang diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor berupa data gelombang tiga komponen (EW, NS, V). Hingga saat ini ada beberapa teknik yang banyak digunakan untuk menganalisa data vibrasi, salah satunya adalah *Single Station Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio on noise* (NHVSR) yang kemudian dikembangkan oleh Lermo dan Chavez Garcia (1993). Pada saat ini metode NHVSR lebih dikenal dengan nama metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Nakamura (1989) menyatakan bahwa perbandingan spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi berhubungan erat dengan fungsi *site transfer* untuk gelombang S. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah perbandingan kedua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Periode dominan suatu lokasi secara dasar dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V mikrotremor. Analisis HVSR pada spektrum mikrotremor akan memberikan frekuensi dominan tanah. Dalam Young dan Freedman (2008), nilai periode dominan tanah di tempat itu dihitung berdasarkan hubungan :

$$T = \frac{1}{f}$$

dengan T adalah periode (s), dan f adalah frekuensi (Hz).



Gambar 1. Titik lokasi penelitian

Tabel 1. Daftar lokasi pengukuran mikrotrremor **METODE PENELITIAN**

No	Nama Lokasi	Kode
1	Depan Rumah Direktur RSUD Dok II, Pasir II	JPR 01
2	Lapangan Sepakbola SPN, Base G	JPR 02
3	Perumahan Tanjung Ria, samping gerjea	JPR 03
4	Dok VII atas Dekat SMAN 2 Jayapura	JPR 04
5	Dok V atas, belakang SPBU	JPR 05
6	Halaman kantor STAGEOF Angkasapura	JPR 06
7	Sekitar SD Inpres Pasir II	JPR 07
8	Dok VIII atas, lapangan masyarakat Wamcan	JPR 08
9	Batas Kelurahan Trikora, Jln. Nirwana	JPR 09
10	Halaman kantor STAMET Klas III Bayangkara	JPR 10
11	Halaman kantor STAMET Klas II Dok II	JPR 11
12	Sekitar RSUD Dok II, samping gereja GPK Betlehem	JPR 12
13	Belakang Ampera - Bank Papua	JPR 13
14	Kodam, dekat pos penjagaan	JPR 14
15	Dekat kantor Walikota, pertigaan jln alternatif	JPR 15
16	Jalan Polimak	JPR 16
17	Argapura, belokan hotel Anging Mamiri	JPR 17
18	Lapangan Sepakbola Hamadi	JPR 18
19	Pantai Hamadi Tanjung	JPR 19
20	TK 45 Entrop	JPR 20
21	Sekitar Kolam Buaya Entrop	JPR 21
22	Lapangan Kampung Buton, Skyline	JPR 22
23	Jln Alternatif, Jembatan dekat pos jaga UNDA	JPR 23
24	Halaman Gedung Fisika	JPR 24
25	Sekitar kantor BPBD Papua	JPR 25
26	Lapangan Bola Volley, Perbatasan RI-PNG	JPR 26
27	Pos KOSTRAD Yonif 323	JPR 27
28	Halaman SLTP N Skouw	JPR 28
29	Lapangan Sepakbola Koya Timur	JPR 29
30	Sekitar Perbatasan Jayapura - Keerom	JPR 30
31	Jln Enggros - Holtekamp, Pantai Holtekamp	JPR 31
32	Halaman PAUD Koya Tengah	JPR 32
33	Koya Barat	JPR 33
34	KM 9, Kampung Koya Koso	JPR 34

Tabel 2. Sejarah gempa bumi besar sebagai gempa bumi kontrol

No.	Waktu Kejadian (Tanggal, Jam, GMT)	Posisi (Lintang dan Bujur)	Kedalaman (km)	Magnitudo (SR)	Tipe Magnitudo
1	1989-02-28, 18:33:47.70	2.5330 LS dan 140.8590 BT	54.80	4.90	Mb
2	1998-02-27, 20:23:12.38	2.7820 LS dan 140.8740 BT	15.50	5.40	Mw

terjadi di wilayah Jayapura dan sekitarnya dari beberapa sumber seperti BMKG Indonesia, ANSS California Utara dan USGS. Data gempa bumi besar yang digunakan adalah gempa bumi tanggal 28 Februari 1989 Dan 27 Februari 1998. Wilayah kajian meliputi wilayah Kota Jayapura dengan batas koordinat 2,0 – 4,0 LS dan 139,0 – 141,5 BT. Lokasi pengukuran mikrotremor ditunjukkan pada gambar 1 dan tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Seismisitas

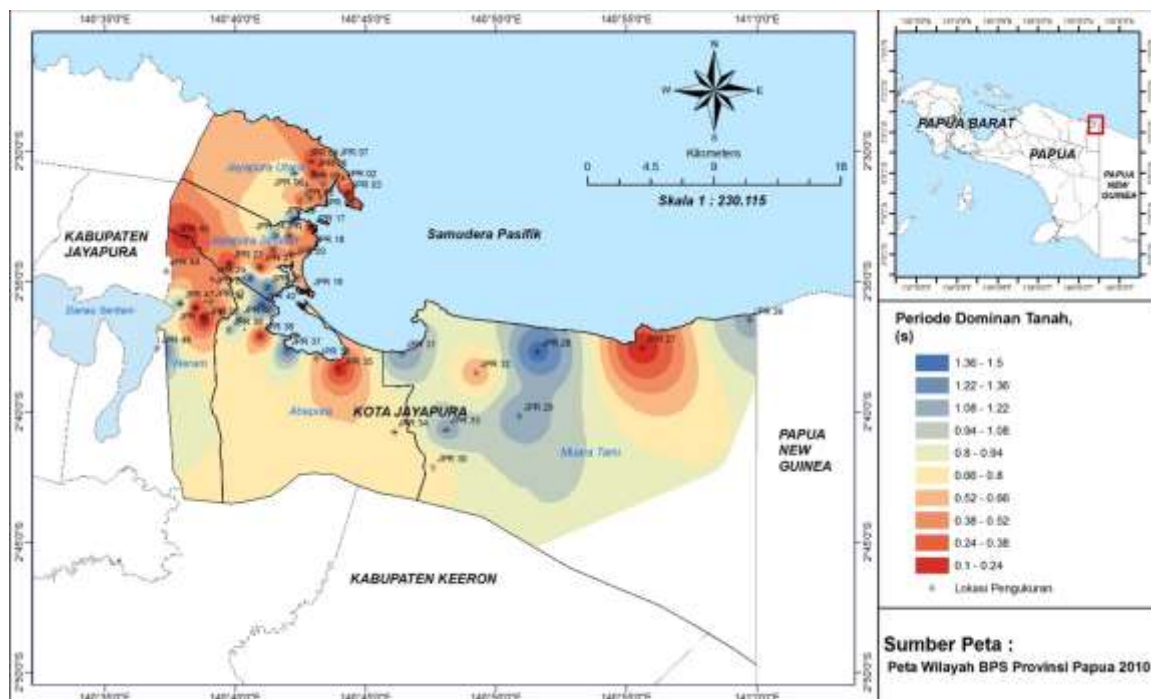
Wilayah Jayapura tergolong sebagai wilayah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Wilayah Jayapura dan sekitarnya dengan batas wilayah kajian 2° – 4° LS dan 139 – 141,5° BT mengalami kejadian gempa bumi sebanyak 1910 kejadian selama kurun waktu 1965 – 2017 atau kurang lebih 52 tahun (ANSS Catalog). Jumlah rata-rata kasar kejadian gempa bumi untuk kurun waktu tersebut sekitar 37 kejadian per tahun. Jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitudo $\geq 5,0$ SR sekitar 474 kejadian. Jumlah kejadian gempa bumi $< 5,0$ SR sekitar 1436 kejadian. Perhitungan percepatan tanah maksimum secara deterministik menggunakan data sejarah gempa bumi besar yang pernah terjadi

sebagai gempa bumi kontrol, seperti ditunjukkan pada tabel 2.

2. Periode Dominan Tanah

Nilai periode dominan tanah dihitung dari formulasi hubungan frekuensi dan periode. Nilai periode berbanding terbalik dengan nilai frekuensi, semakin besar nilai frekuensi maka nilai periode dominan semakin kecil dan sebaliknya. Nilai periode dominan tanah untuk Kota Jayapura bervariasi dari 0,0792 – 1,5725 detik yang dibulatkan untuk pemetaan sekitar 0,1 – 1,5 detik, dimana seluruh distrik memiliki interval nilai yang sama. Sebaran nilai periode dominan wilayah Kota Jayapura, untuk pengukuran 50 titik, ditunjukkan pada gambar 2. Nilai periode dominan tanah terendah adalah 0,0792 detik pada titik JPR 50 di kompleks gereja GPdI Ekklesia Padang Bulan Distrik Heram pada koordinat 2°36'30,96" LS dan 140°38'49,71" BT. Nilai periode dominan tanah tertinggi yaitu 1,5725 detik pada titik JPR 48 berada di perbatasan Kampung Yoka dan Puai, Distrik Heram pada koordinat 2°37'35,84" LS dan 140°36'59,62" BT. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekerasan tanah pada daerah di sekitar titik JPR 50 relatif lebih besar dibandingkan daerah di sekitar titik JPR 48.

3. Percepatan Tanah Maksimum



Gambar 2. Peta periode dominan tanah

Tabel 3. Nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah dengan metode Kanai (1966)

Tanggal Gempa	Kanai (1966)			
	Maksimum (gal)	lokasi	Minimum (gal)	lokasi
1989-02-28, 18:33:47.70	90.4318	JPR27	12.1951	JPR48
1998-02-27, 20:23:12.38	128.8423	JPR27	20.5357	JPR49

Tabel 4. Nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah dengan metode Tong dan Katayama (1988)

Tanggal Gempa	Tong dan Katayama (1988)			
	Maksimum (gal)	lokasi	Minimum (gal)	lokasi
1989-02-28, 18:33:47.70	67.4362	JPR28	15.7256	JPR48
1998-02-27, 20:23:12.38	94.2593	JPR29	16.2613	JPR45

Tabel 5. Nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah dengan metode Sun dan Peng (1993)

Tanggal Gempa	Sun dan Peng (1993)			
	Maksimum (gal)	lokasi	Minimum (gal)	lokasi
1989-02-28, 18:33:47.70	179.2262	JPR28	85.0353	JPR50
1998-02-27, 20:23:12.38	201.4881	JPR29	80.6764	JPR45

Tabel 6. Perbandingan selisih nilai percepatan tanah maksimum

No.	Metode	1989-02-28, 18:33:47.70	1998-02-27, 20:23:12.38
1	Kanai (1966)	78,2367 gal	108,3066 gal
2	Tong dan Katayama (1988)	51,7106 gal	77,9980 gal
3	Sun dan Peng (1993)	94,1909 gal	120,8117 gal

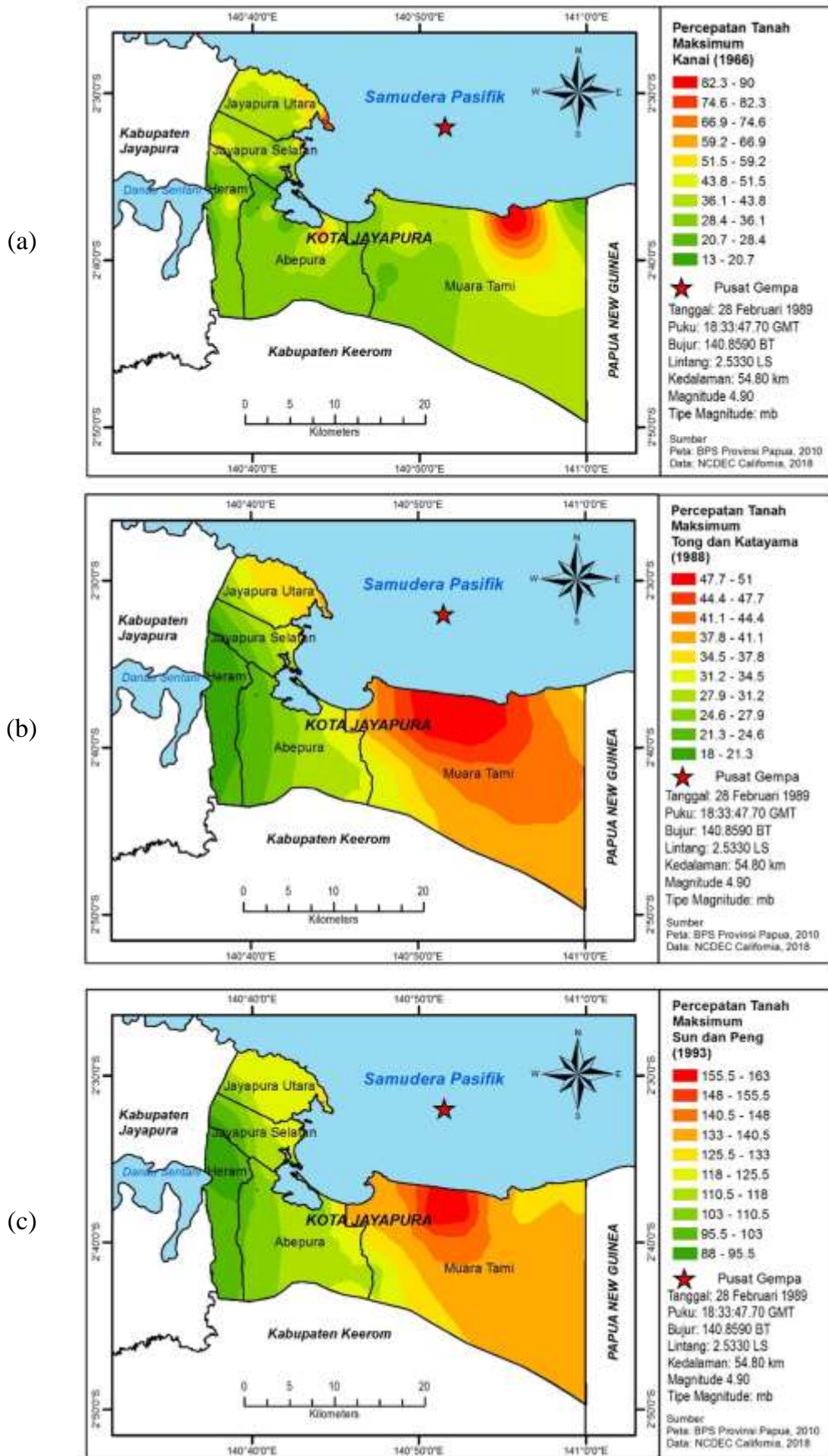
Percepatan tanah maksimum dihitung menggunakan 3 persamaan atenuasi yaitu persamaan atenuasi oleh Kanai (1966), Tong dan Katayama (1988) dan Sun dan Peng (1993). Ketiga persamaan atenuasi tersebut melibatkan data mikrotremor dan atribut gempa bumi kontrol dalam perhitungan nilai percepatan tanah maksimum. Nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah setiap gempa bumi kontrol untuk setiap metode disajikan pada tabel 3, 4, dan 5. Pada tabel 3 menunjukkan bahwa guncangan maksimum terjadi di lokasi JPR27. Pada tabel 4 dan 5 terlihat bahwa guncangan terbesar terjadi di lokasi yang sama yaitu sekitar lokasi JPR28 dan JPR29. Selisih nilai percepatan tanah maksimum setiap metode, baik untuk

gempa bumi tanggal 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT dan tanggal 27 Februari 1998, 20:23:12.38 GMT berbeda-beda. Selisih nilai percepatan tanah maksimum disajikan pada tabel 6.

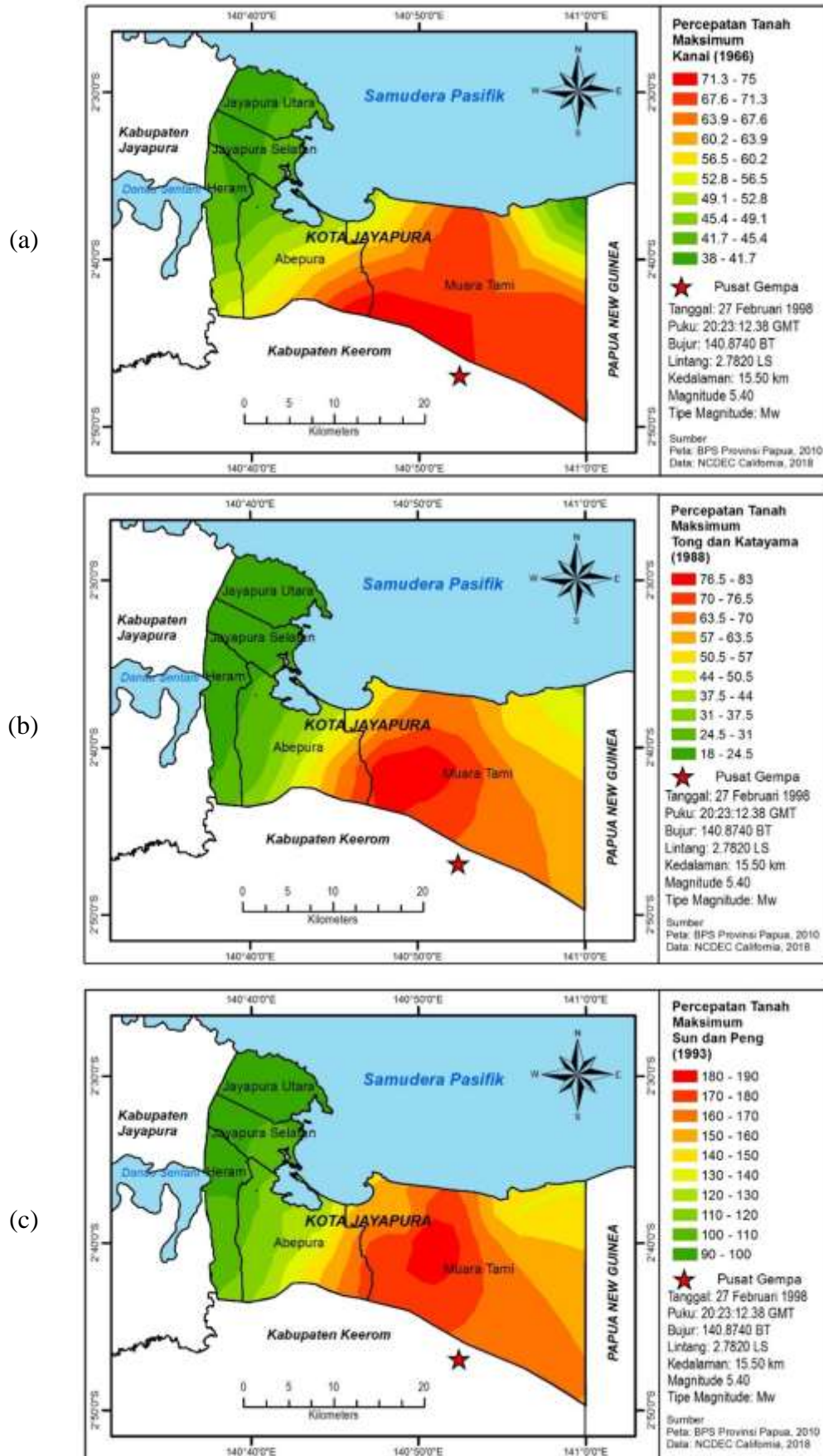
Distribusi nilai percepatan tanah maksimum disajikan dalam bentuk peta distribusi. Distribusi nilai percepatan tanah maksimum disajikan dalam gambar 3 dan 4. Distribusi nilai menggambarkan guncangan yang dialami tanah di wilayah Kota Jayapura untuk setiap kejadian gempa bumi, dalam hal ini gempa bumi kontrol, untuk semua metode percepatan tanah yang melibatkan data mikrotremor. Nilai percepatan tanah maksimum untuk setiap metode terdistribusi secara tidak sama namun memiliki pola penyebaran yang sama yaitu terpusat radius menyebar.

Nilai percepatan tanah maksimum untuk setiap metode terdistribusi dengan bentuk yang tidak sama karena dipengaruhi oleh perbedaan nilai periode dominan tanah yang berbeda-beda. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai percepatan

tanah dan sebarannya sangat dipengaruhi oleh besarnya magnitude gempa bumi, jarak lokasi terhadap pusat gempa bumi, dan karakteristik alami tanah.



Gambar 3. Peta sebaran nilai percepatan tanah maksimum untuk gempa bumi 28 Februari 1989 berdasarkan atenuasi (a) Kanai (1966), (b) Tong dan Katayama (1988) dan (c) Sun dan Peng (1993)



Gambar 4. Peta sebaran nilai percepatan tanah maksimum untuk gempa bumi 27 Februari 1998 berdasarkan atenuasi (a) Kanai (1966), (b) Tong dan Katayama (1988) dan (c) Sun dan Peng (1993)

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:

1. Ketiga metode atenuasi Kanai (1966), Tong dan Katayama (1988), dan Sun dan Peng (1993) memberikan nilai percepatan tanah maksimum terbesar pada kejadian gempa bumi 28 Februari 1989, 18:33:47.70 GMT yaitu masing-masing 90.4318 gal, 67.4362 gal, dan 179.2262 gal dan untuk gempa bumi tanggal 27 Februari 1998, 20:23:12.38 GMT yaitu masing-masing 128.8423 gal, 94.2593 gal dan 201.4881 gal.
2. Nilai percepatan tanah maksimum untuk setiap metode terdistribusi secara tidak sama namun memiliki pola penyebaran yang sama yaitu terpusat radius menyebar.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSS (Advanced National Seismic System), Berkeley Seismological Laboratory, University of California,
www.quake.geo.berkeley.edu.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG),
www.bmkg.go.id.
- Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003. *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado.
- Kanai, K., 1966. *Improved Empirical Formula for Characteristics of Stray Earthquake Motion*, Prociding Japan Earthquake Symposium, pp. 1 – 4 (in Japanese).
- Kanai, K., 1983. *Engineering seismology*, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, 251.
- Katz, L.J. 1976, *Microtremor assesment of local geological conditions*, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, pp. 45-60.
- Kramer, S.L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Lermo, J., and Chavez-Garcia, F.J., 1993. *Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 83, No. 5, pp. 1574 – 1594.
- Nakamura, Y., 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of RTRI, vol. 30, No. 1, Page No. 25 to 33.
- Nakamura, Y., 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*, 12th WCEE (World Conference on Earthquake Engineering), Auckland, New Zealand.
- SESAME, 2004. *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations - Measurements, Processing and Interpretation*, SESAME European research project, European Commission – Research General Directorate.
- Sun, F., and Peng, K. 1993. Attenuation of strong ground motion in western U.S.A. *Earthquake Research in China*, 7(1), 119–131.
- Tong and Katayama., 1988. Peak Acceleration Attenuation By Eliminating The Ill-Effect Of The Correlation Between Magnitude And Epicentral Distance, *Proceedings Of Ninth World Conference On Eartquake Engineering*, Vol. II, pages 349-354.
- United States Geological Survey (USGS), www.usgs.gov.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, H., 1999. *Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground*

Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra, Volume 15, No. 3, pp, 557 – 564.

Wood, H.O. and Neumann, F., 1931. *Modified Mercalli Intensity Scale of 1931*, Buletin of the Seismological Society of America, 21, 277-283.

Young, H.D. and Freedman, R.A., 2008. *Sears and Zemansky's university physics: with modern physics*, 12th edition, page: 487-491, Pearson Education, Inc., San Fransisco.