

ESTIMASI MAGNITUDO GEMPA BUMI ALOR 4 NOVEMBER 2015 DENGAN DATA GNSS CORS 1 HZ

(4th November 2015 Alor Earthquake Magnitude Estimation using GNSS CORS 1 Hz Data)

Muhammad Al Kautsar¹, Oktadi Prayoga¹, Sidik Tri Wibowo¹, Ajat Sudrajat²

¹Badan Informasi Geospasial (BIG), Indonesia

²Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia

Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46 Cibinong 16911 Jawa Barat

Email: muhammad.al@big.go.id

Diterima: 30 September 2023; Direvisi: 9 Oktober 2023; Ditetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2023

ABSTRAK

Parameter estimasi magnitudo gempa bumi berfungsi sebagai peringatan bahaya bagi masyarakat yang terkena dampak dan sebagai parameter respon terhadap bahaya bencana bagi pemerintah. Instansi yang berwenang mengumumkan parameter gempa bumi di Indonesia adalah Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Akan tetapi, terdapat perbedaan rilis saat gempa Alor 4 November 2015 terjadi. BMKG merilis gempa berkekuatan Mw6,2, sedangkan United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), dan Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) merilis Mw6,5. Perbedaan hasil analisis magnitudo gempa bumi dapat menyebabkan perbedaan respon saat terjadi bencana. Pada sistem peringatan gempa di BMKG, sensor yang digunakan adalah seismometer dan akselerometer. Sensor seismometer jika terjadi gempa besar akan mengalami saturasi karena amplitudonya melebihi rentang dinamis alat. Pada berbagai penelitian terkini, sensor *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) digunakan untuk memperkirakan besaran gempa bumi, karena mempunyai perkiraan slip yang akurat jika terjadi gempa besar. Penelitian ini menggunakan data GNSS CORS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan interval 1 Hz. Stasiun GNSS CORS yang digunakan adalah CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), dan CORS Kupang (CKUP) dengan jarak ke episenter gempa bumi masing-masing 47,04 km, 169,74 km, dan 264,82 km. Metode perhitungan pergeseran GNSS CORS memakai metode *Precise Point Positioning* (PPP) dan perhitungan estimasi magnitudo gempa bumi menggunakan metode *Peak Ground Displacement* (PGD) *Scaling*. Dari metode tersebut menghasilkan estimasi magnitudo gempa bumi Alor sebesar Mw6,58. *Root Mean Square Error* (RMSE) penelitian ini terhadap hasil rilis BMKG adalah 0,38 sedangkan RMSE terhadap hasil rilis USGS, GFZ dan Global CMT adalah 0,08.

Kata kunci: Gempa bumi, GNSS CORS, PPP

ABSTRACT

Earthquake magnitude parameter functions as a danger warning for affected communities and as a response parameter to disaster hazards for the government. The agency authorized to announce earthquake parameters in Indonesia is the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG). There were differences in earthquake releases when the November 4 2015 Alor Earthquake occurred. BMKG released an earthquake magnitude Mw6.2. Meanwhile United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), and Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) released Mw6.5, differences in the results of earthquake magnitude can cause differences in responses when a disaster occurs. In the earthquake warning system at BMKG, the sensors used are seismometers and accelerometers. If a large earthquake occurs, the seismometer sensor will experience saturation because the amplitude exceeds the dynamic range of the instrument. In various recent studies, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) sensors are used to estimate the magnitude of earthquakes because they have accurate slip estimates if a large earthquake occurs. This research uses GNSS CORS data from the Geospatial Information Agency (BIG) with 1 Hz intervals. The GNSS CORS stations used are CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), and CORS Kupang (CKUP) with distances to the earthquake epicenter of 47.04 km, 169.74 km, and 264.82 km, respectively. The GNSS CORS displacement calculation method uses the Precise Point Positioning (PPP) method and the estimated earthquake magnitude calculation uses the Peak Ground Displacement (PGD) Scaling. From that methods, estimated earthquake magnitude of Alor Earthquake was Mw6.58. The Root Mean Square Error (RMSE) of this research with BMKG release is 0.38, while the RMSE with USGS, GFZ and Global CMT release is 0.08.

Keywords: Earthquake, GNSS CORS, PPP

PENDAHULUAN

Tren global dalam penanganan suatu bencana menunjukkan bahwa terjadi tren: bertambahnya penduduk terdampak, bertambahnya kematian, dan bertambahnya kerugian ekonomi yang terjadi (Wallemacq & Below, 2018). Sedangkan bencana paling merugikan, yaitu akibat bencana geofisik (gempa bumi dan tsunami), jika dibandingkan dengan jenis-jenis bencana yang lain, seperti: bencana hidrologi, meteorologi, maupun klimatologi (UNDRR & CRED, 2020). Dalam beberapa tahun terakhir bencana gempa bumi dan tsunami terjadi di wilayah perkotaan yang menyebabkan korban jiwa dan kerugian fisik. Bencana tersebut seperti gempa bumi Mw7,5 yang terjadi di Palu tahun 2018, menyebabkan 2045 orang meninggal dan 68,451 rumah rusak, kemudian gempa bumi Mw6,5 di Alor tahun 2015 yang menyebabkan 1098 rumah rusak dan tidak ada korban jiwa, dan gempa bumi Mw5,6 yang terjadi di Cianjur tahun 2021 menyebabkan 602 orang meninggal dan 56,311 rumah rusak (BNPB, 2015).

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) membuat sebuah resolusi yang disebut sebagai *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian fisik. Salah satu isi dalam piagam tersebut yaitu dorongan untuk membangun *Early Warning System* di setiap negara untuk setiap tipe bencana. Mitigasi bahaya gempa bumi melalui kehadiran *Early Warning System* gempa bumi sangat penting untuk melindungi infrastruktur, kepentingan ekonomi, dan kehidupan manusia di daerah yang aktif secara seismik, karena Indonesia dikelilingi oleh zona subduksi yang menjadi penyebab intensnya kegempaan dan aktivitas vulkanik.

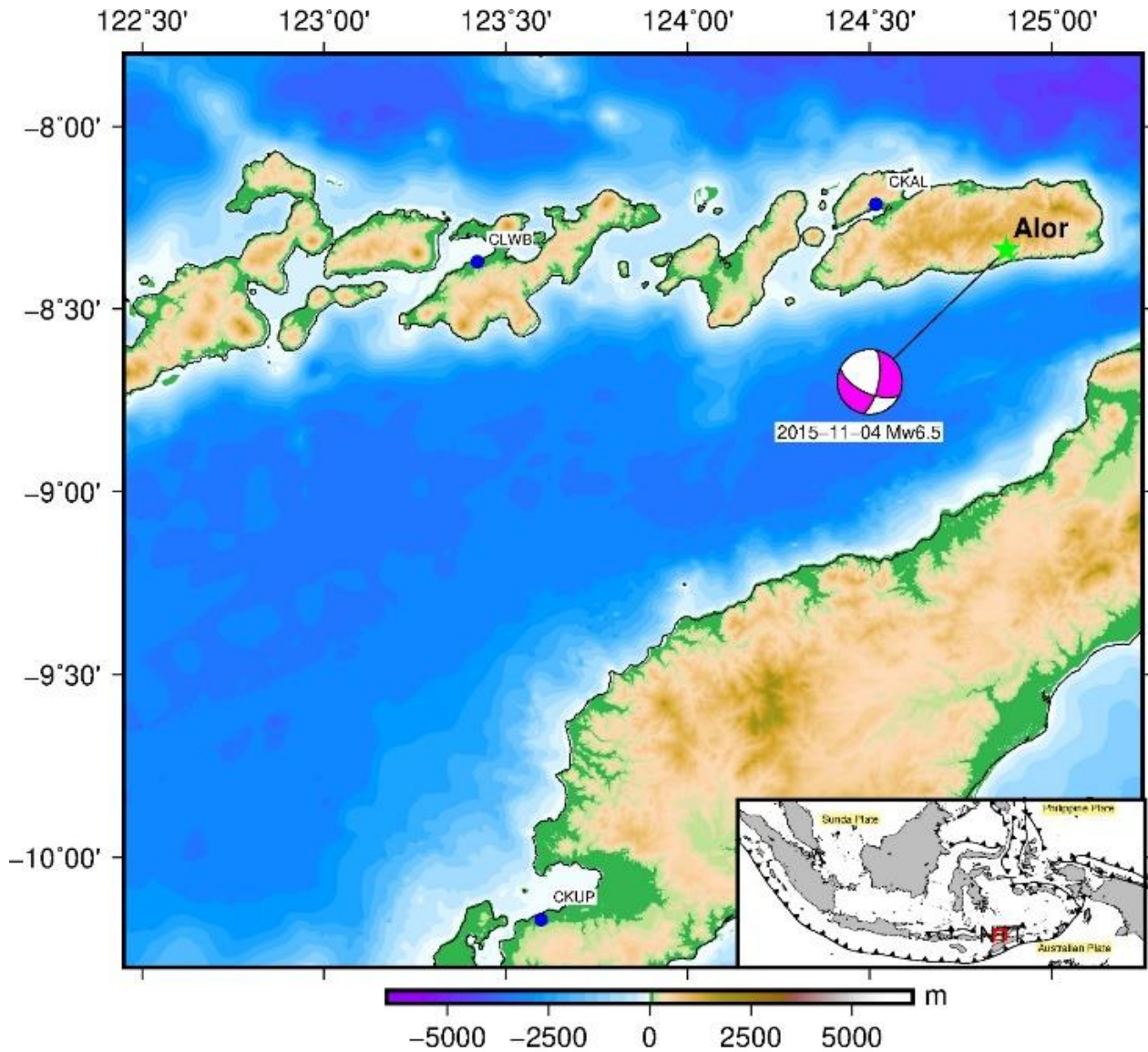
Menurut Lauterjung & Letz (2017), Indonesia sudah memiliki *Indonesia Tsunami Early Warning System* (InaTEWS) sejak tahun 2008 untuk bencana gempa bumi dan tsunami. InaTEWS dalam operasionalisasinya belum terdapat sensor *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), untuk mengkarakterisasi suatu gempa bumi. Sedangkan saat ini sensor utama dalam sistem InaTEWS adalah sensor seismometer dan akselerometer. Sensor stasiun pasang surut digunakan sebagai pemantau tinggi air laut untuk monitoring tsunami.

Seismometer mampu untuk mendeteksi kedatangan gelombang seismik awal yang kecil, memberikan kontribusi *timeline* peringatan gempa bumi, dan memungkinkan identifikasi gempa bumi kecil atau jauh sekalipun. Namun, seismometer

mengalami tantangan dalam mengkarakterisasi gempa besar dengan jarak yang dekat. Seismometer memiliki jangkauan dinamis yang terbatas, membuatnya tidak dapat sepenuhnya merekam guncangan tanah dengan amplitudo besar (Bock & Melgar, 2016; Melgar et al., 2015). Hal tersebut terjadi karena amplitudo getaran melebihi *dynamic range* dari seismometer, sehingga magnitudo gempa bumi yang dihasilkan tidak akurat. Sedangkan sensor GNSS menghasilkan estimasi slip yang akurat saat terjadi gempa bumi sehingga dapat menghasilkan estimasi magnitudo yang akurat (Blewitt et al., 2009; Bock et al., 2011; Crowell et al., 2013; Hardy et al., 2023; Meilano et al., 2022; Melgar et al., 2013, Melgar et al., 2015).

Magnitudo gempa bumi merupakan parameter terpenting untuk mengantisipasi tingkat keparahan dampak gempa bumi terhadap keselamatan publik. Untuk gempa bumi lepas pantai, magnitudo merupakan variabel prediktor utama untuk memperkirakan potensi tsunamigenik dari suatu gempa bumi (Tatehata, 1997). Gempa bumi zona subduksi *megathrust* berkekuatan besar dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan manusia yang signifikan melalui kejadian tsunami. Jika gempa terjadi di darat, pengetahuan besarnya magnitudo ditambah dengan pemahaman rinci tentang geologi regional, akan memberikan perkiraan intensitas guncangan tanah. Sebagai akibat dari keterbatasan instrumentasi seismometer, magnitudo gempa besar biasanya *underestimate* secara *real-time* (Hoshiba & Ozaki, 2014).

Gempa bumi Alor, Nusa Tenggara Timur terjadi pada tanggal 4 November 2015 dengan pusat gempa bumi 8,20 LS 124,94 BT dan kedalaman 89 km yang terjadi pada pukul 03:44:19 UTC memiliki perbedaan magnitudo gempa bumi saat rilis. BMKG merilis kekuatan gempa sebesar Mw6,2 sedangkan United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), dan Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) merilis kekuatan gempa sebesar Mw6,5. Perbedaan estimasi magnitudo gempa bumi tersebut dapat menyebabkan respon negatif terhadap masyarakat dan pemerintah, terkait dengan bahaya. Perbedaan rilis magnitudo gempa bumi Alor 2015 menarik untuk dianalisis lebih lanjut, karena terjadi perbedaan selisih yang begitu signifikan. Kekuatan gempa bumi tercermin dari dampak yang terjadi, akibat gempa tersebut terjadi kerugian fisik yaitu 1.098 unit rumah rusak berat dan 64 bangunan fasilitas publik rusak ringan (BNPB, 2015).



Gambar 1. Mekanisme gempa bumi Alor dan lokasi GNSS CORS.

METODE

Pada penelitian ini metode penentuan posisi GNSS menggunakan *Precise Point Positioning* (PPP) melalui *software PRIDE Precise Point Positioning - Ambiguity Resolution* (PPP-AR) (Geng et al., 2019). PPP pertama kali diperkenalkan pada tahun 1997, yang sejatinya tidak berbeda dengan pengamatan *pseudorange* dan pengamatan data fase (Zumberge et al., 1997). Tidak seperti teknik penentuan posisi secara relatif pada umumnya, PPP tidak membutuhkan pengukuran atau observasi simultan pada dua *receiver*. PPP adalah pengembangan teknik penentuan posisi satu titik memakai data *pseudorange*, yang mengganti *broadcast satellite clock* dan orbit dengan estimasi yang presisi (Héroux & Kouba, 2001). Penggunaan pengamatan data fase, memperkenalkan fase awal ambiguitas yang tidak diketahui, menyebabkan beberapa puluh menit waktu konvergensi untuk solusi PPP. Konvergensi awal tergantung dari beberapa faktor, seperti geometri satelit, jumlah satelit terlihat,

kualitas pengamatan, dan lingkungan titik pengamatan. PPP dipertimbangkan sebagai teknik penentuan posisi GNSS yang efisien secara biaya yang memiliki akurasi horisontal dalam sub-sentimeter dengan hanya memakai satu *receiver* GNSS. Sedangkan kelemahan PPP dalam pengaplikasian secara *real time* yaitu membutuhkan waktu ~15 menit untuk mencapai *convergence time* (Alcay & Turgut, 2021), sehingga performa aliran data melalui sistem komunikasi data yang handal, mutlak diperlukan dalam pengaplikasian sistem *real time* PPP. Aplikasi penggunaan PPP sudah diaplikasikan pada sektor komersil, seperti: industri pertanian untuk pertanian yang presisi, kendaraan tanpa awak, dan aplikasi pemetaan (Bisnath & Gao, 2009).

Data GNSS CORS 1 Hz diolah secara *post processing* PPP dengan menyertakan *data satellite orbit*, *data satellite clock*, *data Earth Rotation Parameter* (ERP), *data Signal Bias*, dan *data Attitude Quaternions* (ORBEX). Data-data tersebut

dapat diperoleh dari GNSS *analysis center*. Daftar *analysis center* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Penyedia data *post processing* PPP.

Institusi	Singkatan	Negara
Natural Resources Canada	EMR	Kanada
Wuhan University	WHU	China
Geodetic Observatory Pecny	GOP-RIGTC	Ceko
Space geodesy team of the CNES	GRG	Perancis
European Space Agency	ESA/ESOC	Jerman
Geo Forschungs Zentrum	GFZ	Jerman
Center for Orbit Determination in Europe	CODE	Swiss
Jet Propulsion Laboratory	JPL	Amerika Serikat
Massachusetts Institute of Technology	MIT	Amerika Serikat
National Geodetic Survey	NGS	Amerika Serikat
Scripps Institution of Oceanography	SIO	Amerika Serikat
U.S. Naval Observatory	USNO	Amerika Serikat

Untuk menghitung magnitudo gempa bumi menggunakan metode *Peak Ground Displacement* (PGD) yang diperoleh dari nilai pergeseran dinamis maksimum dari GNSS pada saat terjadi gempa bumi (*coseismic*). Nilai PGD didapatkan dari nilai pergeseran dari tiga komponen GNSS menggunakan **Persamaan 1**.

$$PGD = \max \sqrt{N_d(t)^2 + E_d(t)^2 + U_d(t)^2} \dots\dots\dots(1)$$

di mana $N_d(t)$, $E_d(t)$, dan $U_d(t)$ adalah pergeseran komponen utara-selatan, timur-barat, dan naik-turun dari GNSS. Pada penelitian ini menggunakan koefisien regresi dari Ruhl et al. (2019) untuk menghitung magnitudo gempa bumi karena penelitian dari Ruhl et al. (2019) menggunakan data gempa bumi lebih banyak jika dibandingkan dengan penelitian dari Melgar et al. (2015) dan penelitian Crowell et al. (2016).

$$\log(PGD) = A + B \times Mw + C \times Mw \times \log(R) \dots\dots(2)$$

Persamaan 2 yaitu: persamaan untuk menghitung magnitudo gempa bumi. R merupakan jarak dari stasiun ke *epicenter* gempa bumi, sedangkan A , B , dan C adalah koefisien regresi. Terdapat tiga koefisien regresi untuk menghitung nilai Mw , ketiga koefisien regresi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

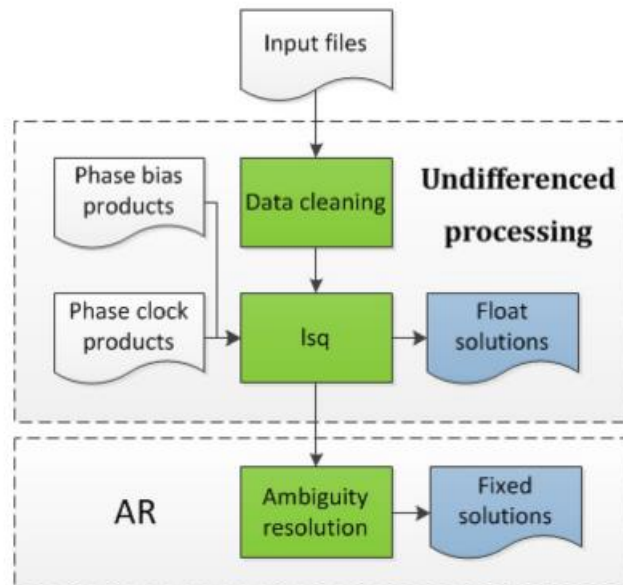
Gempa bumi di Pulau Alor menyebabkan guncangan dengan variasi skala guncangan V-VI MMI. Daerah yang mengalami guncangan paling besar berada di Pulau Alor bagian timur dengan skala guncangan VI MMI. Skala MMI tersebut dapat menggambarkan wilayah yang paling terdampak akibat gempa bumi dan sangat berguna untuk keperluan tahapan *response* dalam manajemen kebencanaan.

Berdasarkan laporan Tim Reaksi Cepat Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada 5 November 2015, satu orang mengalami luka ringan di Desa Maritang, Kecamatan Alor dan 2 luka berat masing-masing di Desa Maritang dan Subo. Sementara itu, data rumah rusak ringan antara lain 612 unit di Kecamatan Alor Timur, 3 unit di Alor Selatan, 33 unit di Alor Timur Laut, 1 unit di Lembur, 10 unit di Teluk Mutiara, dan 8 unit di Alor Tengah Utara. Rumah rusak berat mencakup 259 unit di Kecamatan Alor Timur, 1 unit di Alor Selatan, 20 unit di Alor Timur Laut, dan 3 unit di Lembur. Selain rumah rusak, 10 unit bangunan fasilitas pendidikan di Kecamatan Alor Timur rusak berat dan 1 unit di Alor Selatan rusak ringan. Demikian juga fasilitas kesehatan tercatat 10 unit bangunan di Alor Timur rusak berat. Pemerintah setempat mencatat fasilitas ibadah 19 unit di Alor Timur dan 1 unit di Alor Timur Laut rusak berat. Fasilitas ibadah yang mengalami rusak ringan antara lain 1 unit di Alor Timur, 4 di Alor Timur Laut, dan 2 di Alor Tengah Utara (BNPB, 2015).

Stasiun GNSS CORS yang digunakan adalah CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), dan CORS Kupang (CKUP) dengan jarak ke *epicenter* gempa bumi masing-masing 47,04 km, 169,74 km, dan 264,82 km. Pergeseran dari ketiga stasiun GNSS CORS tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4**. Setelah mendapatkan nilai pergeseran, maka estimasi magnitudo gempa bumi dapat dihitung dengan metode PGD *Scaling*. Hasil perhitungan magnitudo gempa bumi dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 2. Stasiun GNSS CORS CKAL (A), CLWB (B), dan CKUP (C).

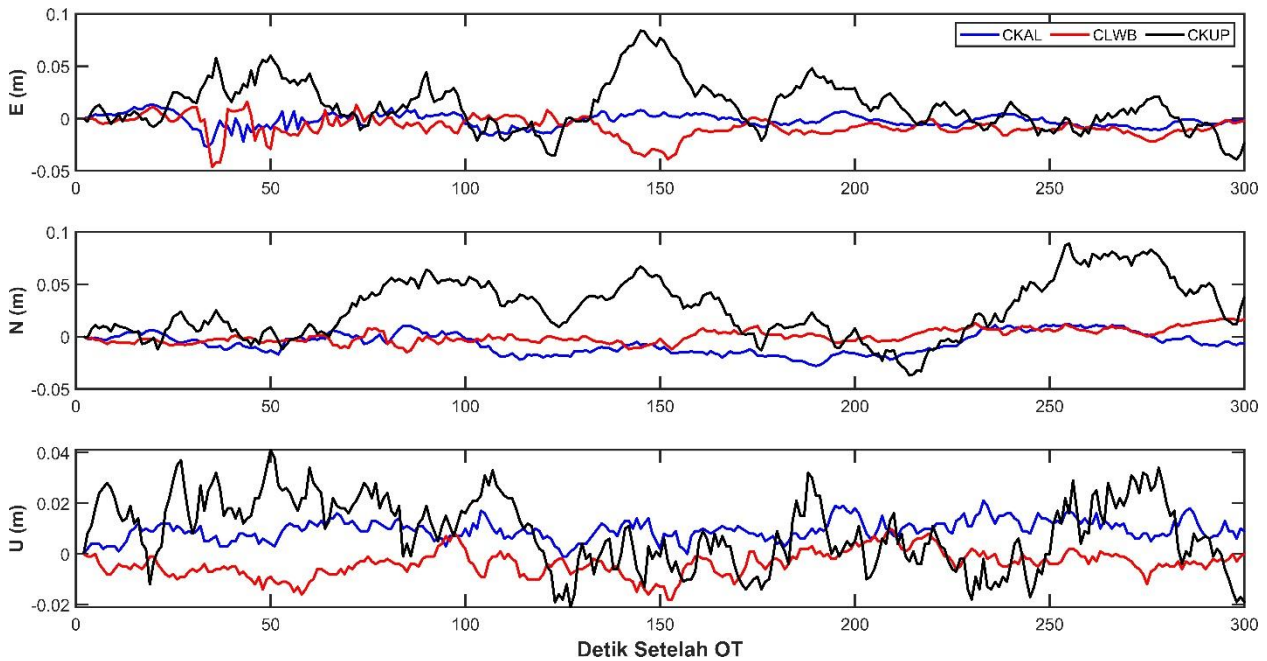


Sumber: Geng et al., (2019)

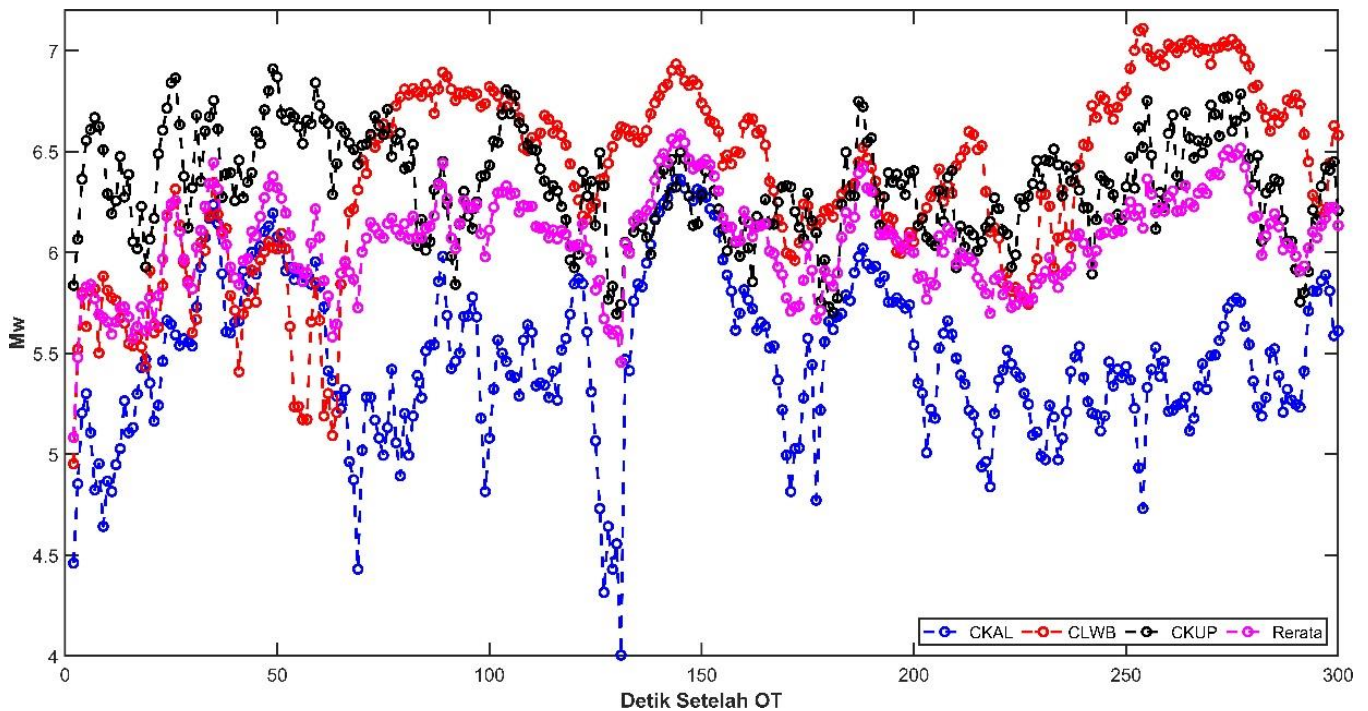
Gambar 3. Struktur PRIDE PPP-AR.

Tabel 2. Nilai koefisien regresi.

A	B	C	Penelitian	Satuan PGD
-5,919	1,009	-0,145	Ruhl et al. (2019)	m
-4,434	1,047	-0,138	Melgar et al. (2015)	cm
-6,687	1,500	-0,214	Crowell et al. (2016)	cm



Gambar 4. Pergeseran ketiga stasiun GNSS CORS.



Gambar 5. Nilai magnitudo gempa bumi.

Tabel 3. Perbandingan nilai magnitudo gempa bumi Alor (Mw).

BMKG	USGS	GFZ	Global CMT	Penelitian Ini
6,2	6,5	6,5	6,5	6,58

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa magnitudo gempa bumi rerata maksimal yaitu sebesar Mw6,58 pada detik ke-145 setelah gempa bumi terjadi. Tabel perbandingan rilis magnitudo gempa bumi Alor dari berbagai *analysis center* dapat dilihat pada **Tabel 3**. *Root Mean Square Error* (RMSE) penelitian ini terhadap hasil BMKG adalah 0,38. Sedangkan RMSE terhadap hasil USGS, GFZ dan Global CMT adalah 0,08. Sensor seismik yang

berada di dekat episenter gempa bumi kemungkinan terjadi saturasi akibat guncangan gempa bumi yang kuat, sehingga menyebabkan *underestimate* nilai magnitudo gempa bumi yang dirilis oleh BMKG.

KESIMPULAN

Perhitungan magnitudo gempa bumi Alor yang terjadi pada tanggal 4 November 2015 berdasarkan data GNSS CORS 1 Hz menghasilkan magnitudo gempa bumi sebesar Mw6,58. Hasil magnitudo gempa bumi tersebut dihasilkan pada detik ke-145 dari waktu gempa bumi. Dengan hasil tersebut dapat menunjukkan bahwa data GNSS CORS 1 Hz

dapat meningkatkan akurasi estimasi magnitudo gempa bumi. Pemanfaatan data pergeseran akibat gempa bumi melalui data GNSS CORS 1 Hz secara *real time* harus segera diintegrasikan ke sistem peringatan dini gempa bumi BMKG untuk menghasilkan magnitudo gempa bumi yang akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG yang telah memberikan data GNSS CORS 1 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcay, S., & Turgut, M. (2021). Evaluation of the positioning performance of multi-GNSS RT-PPP method. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06534-4>
- Bisnath, S., & Gao, Y. (2009). Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations. *International Association of Geodesy Symposia*, 133. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5_71
- BNPB. (2015). Data Bencana Indonesia. *Jakarta: BNPB*.
- Bock, Y., & Melgar, D. (2016). Physical applications of GPS geodesy: A review. In *Reports on Progress in Physics* (Vol. 79, Issue 10). <https://doi.org/10.1088/0034-4885/79/10/106801>
- Crowell, B. W., Schmidt, D. A., Bodin, P., Vidale, J. E., Gomberg, J., Hartog, J. R., Kress, V. C., Melbourne, T. I., Santillan, M., Minson, S. E., & Jamison, D. G. (2016). Demonstration of the cascadia G-FAST geodetic earthquake early warning system for the Nisqually, Washington, Earthquake. *Seismological Research Letters*, 87(4). <https://doi.org/10.1785/0220150255>
- Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., & Zhang, K. (2019). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 23(4). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0888-1>
- Hardy, T., Susilo, Meilano, I., Abidin, H. Z., Rohadi, S., Sudrajat, A., Agung, R. K., Manurung, A. S., Susilanto, P., & Karnawati, D. (2023). Detection of Surface Displacement of Mentawai Earthquake Mw7.8, October 25, 2010, using High Rate (HR) 1Hz GNSS Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1127(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012015>
- Héroux, P., & Kouba, J. (2001). GPS precise point positioning using IGS orbit products. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6–8). [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(01\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(01)00103-X)
- Hoshiaba, M., & Ozaki, T. (2014). *Earthquake Early Warning and Tsunami Warning of the Japan Meteorological Agency, and Their Performance in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12233-0_1
- Lauterjung, J., & Letz, H. (2017). 10 Years Indonesian Tsunami Early Warning System: Experiences, Lessons Learned and Outlook. *Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences*.
- Melgar, D., Crowell, B. W., Geng, J., Allen, R. M., Bock, Y., Riquelme, S., Hill, E. M., Protti, M., & Ganas, A. (2015). Earthquake magnitude calculation without saturation from the scaling of peak ground displacement. *Geophysical Research Letters*, 42(13). <https://doi.org/10.1002/2015GL064278>
- Ruhl, C. J., Melgar, D., Allen, R. M., Geng, J., Goldberg, D. E., Bock, Y., Crowell, B. W., Barrientos, S., Riquelme, S., Baez, J. C., Cabral-Cano, E., Pérez-Campos, X., Hill, E. M., Protti, M., Ganas, A., Ruiz, M., Mothes, P., Jarrin, P., Nocquet, J. M., ... D'Anastasio, E. (2019). A global database of strong-motion displacement GNSS recordings and an example application to PGD scaling. *Seismological Research Letters*, 90(1). <https://doi.org/10.1785/0220180177>
- Tatehata, H. (1997). *The New Tsunami Warning System of the Japan Meteorological Agency*. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8859-1_12
- UNDRR and CRED. (2020). Human cost of disasters (2000-2019). *Human Cost of Disasters*, 61.
- Wallemacq, P., & Below, R. (2018). Natural disasters in 2017: Lower mortality, higher cost. *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, 50.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B3). <https://doi.org/10.1029/96jb03860>

Halaman ini sengaja kami kosongkan