



Research Articles

**Konversi Empiris Summary Magnitude, Local Magnitude,
Body-Wave Magnitude, Surface Magnitude, dan
Moment Magnitude Menggunakan Data Gempabumi 1922-2020
di Nusa Tenggara Barat**

*Empirical Conversions Summary Magnitude, Local Magnitude,
Body Magnitude, Surface Magnitude, dan Moment Magnitude
Using 1922-2020 Earthquake Data in West Nusa Tenggara*

Rian Mahendra Taruna^{1*}, Anggitya Pratiwi²

1) Stasiun Geofisika Mataram, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

2) Stasiun Klimatologi Lombok Barat, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

**corresponding author, email: reemyan@gmail.com*

Manuscript received: 27-11-2020. Accepted: 21-03-2021

ABSTRAK

Adanya variasi jenis magnitudo dari sumber katalog gempabumi yang ada menunjukkan perlunya suatu proses penyeragaman. Selain itu tipe magnitudo tersebut akan mengalami saturasi pada nilai tertentu, berbeda dengan moment magnitude (M_w) yang tidak mengalami saturasi dan mampu menggambarkan proses gempa dengan baik. Penelitian ini diawali dengan melakukan uji kesesuaian antara summary magnitude yang banyak digunakan oleh BMKG dengan jenis magnitudo lain. Selain itu tujuan dari penelitian ini adalah menentukan persamaan empiris antara tipe magnitudo summary magnitude (M), local magnitude (ML , ML_v), body-wave magnitude (mb), dan surface magnitude (M_s) yang banyak digunakan pada katalog gempa ke M_w . Metode yang digunakan adalah regresi linear dengan basis data dari katalog BMKG, ISC-EHB, USGS, dan Global CMT dengan batas wilayah di Nusa Tenggara Barat dan sekitarnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 24.703 kejadian gempa pada periode 9 Mei 1922 hingga 27 Juni 2020. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya hubungan baik antara tipe magnitudo M dengan tipe magnitudo lainnya. Penelitian ini juga mampu menghasilkan suatu persamaan konversi tipe magnitudo M , ML , ML_v , mb , dan M_s ke M_w dengan korelasi relatif baik.

Kata kunci: summary magnitude; local magnitude; body-wave magnitude; surface magnitude; moment magnitude

ABSTRACT

The existence of magnitude type variation from existing earthquake catalogue sources show that uniforming process is necessary. Beside that these type of magnitude will saturates in certain value, which are different with moment magnitude (M_w) which is not saturated and can describe earthquake process better. Our research initially did compatibility test between summary magnitude which is largely used by BMKG with other magnitude type. Furthermore, the purpose of our research is determination of empirical relation between magnitude type summary magnitude (M), local magnitude (M_L), body-wave magnitude (m_b), dan surface magnitude (M_s) which are usually used by earthquake catalogues to M_w . Method used in this research is linear regression using data set from BMKG, ISC-EHB, USGS, and Global CMT catalogues with are limited in West Nusa Tenggara and surrounding area. Data used in this research contains of 24.703 earthquake events during period May 9th 1922 until June 27th 2020. The result of this research shows there was good relation between M magnitude type with others magnitude type. Our research also found a conversion formula of M , M_L , M_Lv , m_b , and M_s to M_w with well-defined correlation.

Key words: summary magnitude; local magnitude; body-wave magnitude; surface magnitude; moment magnitude

PENDAHULUAN

Magnitudo merupakan suatu skala yang digunakan untuk menggambarkan energi yang dilepaskan saat gempa bumi terjadi. Magnitudo lokal (M_L) oleh (Richter, 1935) merupakan jenis magnitudo yang pertama kali dibuat untuk mengukur kekuatan gempa. M_L dihitung berdasarkan nilai amplitudo gempa bumi lokal dan menjadi salah satu jenis magnitudo yang banyak digunakan di seluruh dunia. Terdapat juga tipe magnitudo M_Lv yang merupakan magnitudo lokal yang dihitung pada komponen vertikal. Tipe M_L biasanya tidak digunakan untuk nilai $M_L \geq 7,0$ atau jarak episenter ≥ 1000 km di wilayah China, sehingga lebih dipilih tipe M_s dan m_b (Tang et al., 2016). Tipe magnitudo body (m_b) ditemukan oleh Gutenberg dan Richter (2010) yang dihitung menggunakan rekaman gelombang badan pada periode pendek. Selain itu juga terdapat magnitudo m_B yang berdasarkan rekaman gelombang badan pada range periode broadband. Magnitudo surface (M_s) yang umumnya digunakan oleh ISC dan NEIC diestimasi menggunakan amplitudo gelombang permukaan yaitu gelombang Rayleigh dengan periode 10-60 sekon dan jarak episenter $20^\circ - 160^\circ$ (Vanek, J. et al., 1962).

Namun masih ada tipe magnitudo lain yang biasa digunakan di Indonesia, ya itu magnitudo summary (M) dari katalog BMKG. Summary magnitude dihitung dari nilai rata-rata semua tipe magnitudo lain dengan bobot tertentu, sehingga dianggap sebagai kompromisasi terbaik dari semua tipe magnitudo yang ada (Potsdam, 2020). Rumus magnitudo summary disajikan pada persamaan berikut:

$$M = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i}$$

$$w_i = a_i \text{stacount}(M_i) + b_i$$

dengan a dan b merupakan suatu koefisien yang bisa disesuaikan untuk setiap jenis magnitudo.

Kemudian terdapat tipe magnitudo momen (M_w) yang dianggap paling bisa dipercaya karena sangat dipengaruhi oleh ukuran patahan. M_w dikembangkan oleh Hanks and Kanamori (1979) yang dihitung berdasarkan nilai momen seismik kejadian gempa. Karakteristik lain dari tipe M_w adalah tidak mengalami saturasi sehingga mampu menggambarkan ukuran gempa pada semua range magnitudo. Di sisi lain keseragaman tipe magnitudo menjadi tipe M_w sangat penting dalam perhitungan bahaya gempa dan deformasi crustal (Scordilis, 2006).

Sebelumnya telah banyak studi di beberapa wilayah untuk merumuskan persamaan konversi tipe magnitudo lain ke magnitudo momen seperti Idriss (1985), Papazachos et al. (2004), Scordilis (2006). Di Indonesia penyeragaman tipe magnitudo ke M_w juga dilakukan dalam pembuatan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 (Pusgen, 2017). Sebuah katalog yang homogen merupakan hal paling penting dalam studi pola kejadian gempa secara spasial dan temporal, selain itu juga banyak diaplikasikan ke bidang teknik seperti seismic hazard assessment, estimasi peak ground acceleration, dan penentuan tingkat strain seismik. Pusgen (2017) membuat persamaan konversi yang menghubungkan beragam tipe magnitudo seperti M_s , m_b , dan M_L ke dalam magnitudo momen menggunakan data gempa di seluruh Indonesia.

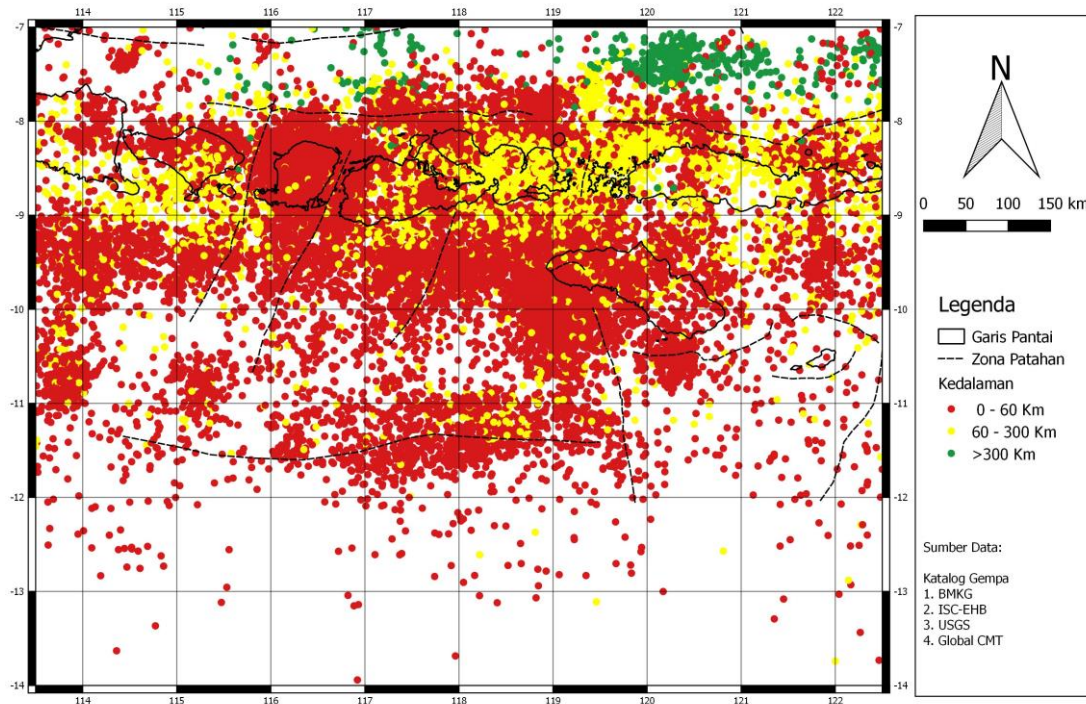
Wilayah Nusa Tenggara Barat merupakan suatu kawasan rawan gempabumi karena memiliki beberapa zona sumber gempa, seperti Back Arc Thrust dan Subduksi. Sehingga analisis bahaya seismik sangat diperlukan dalam upaya mitigasi di Nusa Tenggara Barat. Namun analisis bahaya seismik memerlukan masukan berupa magnitudo M_w dalam salah satu tahapannya (Taruna et al., 2018).

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan suatu proses perumusan konversi tipe magnitudo M_L , M_Lv , m_b , dan M_s ke M_w . Perumusan dilakukan menggunakan data gempa pada skala regional untuk memperoleh hasil yang lebih relevan di wilayah Nusa Tenggara Barat. Selain itu penelitian ini juga diawali dengan pengembangan persamaan konversi magnitudo summary (M) ke tipe magnitudo M_L , M_Lv , m_b , m_B , M_s , dan M_w untuk mengetahui hubungan antara tipe magnitudo M dengan tipe magnitudo lainnya, karena sebagian besar data kegempaan di Indonesia menggunakan magnitudo M .

BAHAN DAN METODE

Data dan Batas Wilayah Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data katalog gempabumi di wilayah Nusa Tenggara Barat atau berada di -7°LS hingga -14°LS dan $113,5^\circ\text{BT}$ hingga $122,5^\circ\text{BT}$ pada periode 9 Mei 1922 hingga 27 Juni 2020. Katalog gempabumi yang digunakan berisi waktu kejadian, koordinat episenter, kedalaman, dan magnitudo gempa. Katalog yang digunakan bersumber dari USGS (USGS, 2020), Global CMT (Global CMT, 2020), ISC-EHB (ISC, 2020), dan BMKG (BMKG, 2020) dengan tipe magnitudo yang beragam. Dari katalog tersebut diperoleh 24,703 kejadian gempa dengan kedalaman gempa <750 km. Sebaran data gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran data gempabumi di wilayah Nusa Tenggara Barat pada periode 09/05/1922 hingga 27/06/2020.

Metode

Pada penelitian ini diawali dengan membuat database gempa dari gabungan beberapa sumber katalog yang ada. Sehingga setiap event gempa memiliki beberapa tipe magnitudo, seperti M_L , M_{LV} , m_b , M_s , M , dan M_w . Perhitungan pertama dilakukan pada database gempa yang memiliki tipe magnitudo M (magnitudo *summary*) yang dalam hal ini bersumber dari BMKG. Selanjutnya data akan dikelompokkan untuk melihat hubungan antara M dengan M_L , M dengan M_{LV} , M dengan m_b , M dengan M_s , dan M dengan M_w . Analisa hubungan dilakukan dengan membuat suatu persamaan regresi linear satu variabel serta perhitungan koefisien determinasi (R^2). Persamaan regresi linier sederhana secara matematik diekspresikan oleh :

$$Y = a + bx$$

dengan Y adalah garis regresi/ variable response, a merupakan konstanta (intersep), b adalah konstanta regresi (slope), dan x adalah variabel bebas/ predictor (Yuliara, 2016). Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{(\sum Yi)(\sum Xi^2) - (\sum Xi)(\sum XiYi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum XiYi) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}$$

dengan n adalah jumlah data. Sedangkan koefisien determinasi (R^2) ditentukan dengan rumus:

$$R^2 = \left\{ \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \right\}^2$$

nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang baik antara 2 variabel yang ada di persamaan.

Analisis serupa juga dilakukan untuk mengetahui persamaan konversi dari M_L ke M_w , M_{L_v} ke M_w , m_b ke M_w , dan M_s ke M_w . Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan persamaan konversi yang dibuat Pusgen (2017). Pusgen (2017) membuat persamaan konversi m_b ke M_w dan M_s ke M_w seperti pada persamaan berikut:

$$M_w = 1,0107m_b + 0,0801$$

untuk rentang magnitudo $3,7 \leq m_b \leq 8,2$ dengan $R^2=0,6975$

$$M_w = 0,6016M_s + 2,476$$

untuk rentang magnitudo $2,8 \leq M_s \leq 6,1$ dengan $R^2=0,8013$

$$M_w = 0,9239M_s + 0,5671$$

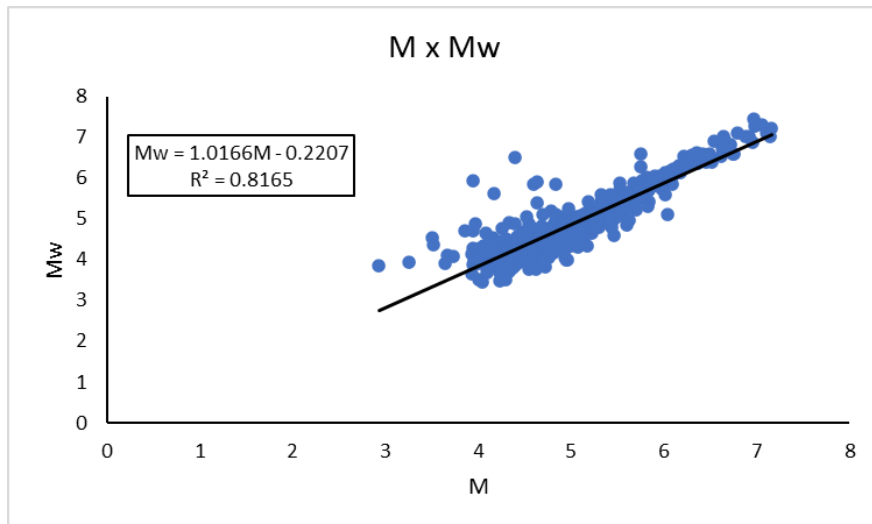
untuk rentang magnitudo $6,2 \leq M_s \leq 8,7$ dengan $R^2=0,8183$

Konversi M_L ke M_w tidak dilakukan oleh Pusgen (2017) karena M_L dan M_w dianggap sebanding di antara keduanya dan dianggap magnitudo lokal (M_L) dapat merepresentasikan magnitudo momen. Selanjutnya perbandingan dilakukan dengan melihat histogram nilai residual magnitudo hasil perhitungan dengan data magnitudo yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi M ke M_w

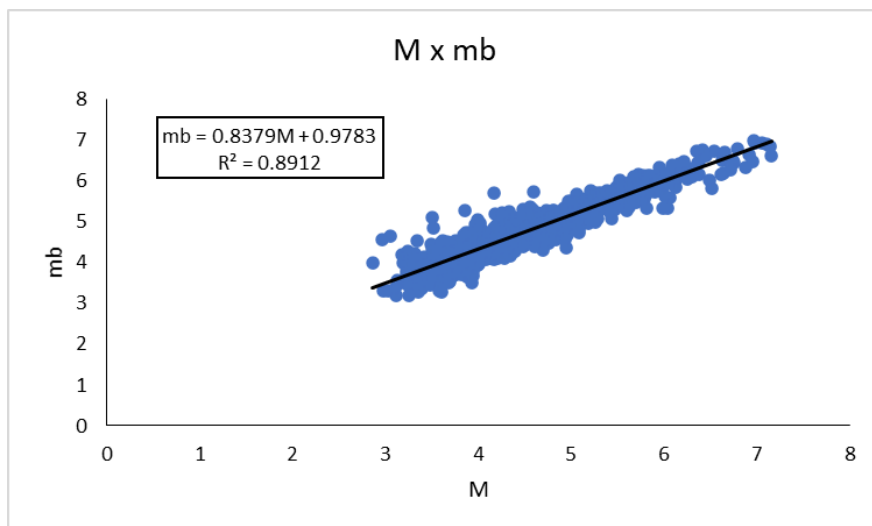
Data yang digunakan dalam analisis hubungan M ke M_w berjumlah 713 kejadian pada rentang magnitudo $2,93 \leq M \leq 7,16$. Analisis persamaan konversi dan nilai koefisien determinasi (R^2) dari magnitudo *summary* (M) ke M_w ditampilkan pada Gambar 2. Nilai $R^2=0,8165$ menunjukkan adanya relasi yang relatif baik antara M dengan M_w . Namun dapat terlihat juga pada Gambar 2 bahwa untuk nilai $M < 4,0$ terdapat penyimpangan relatif besar serta jumlah data yang lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa dalam katalog yang digunakan jumlah data magnitudo $M_w < 4,0$ relatif sedikit.



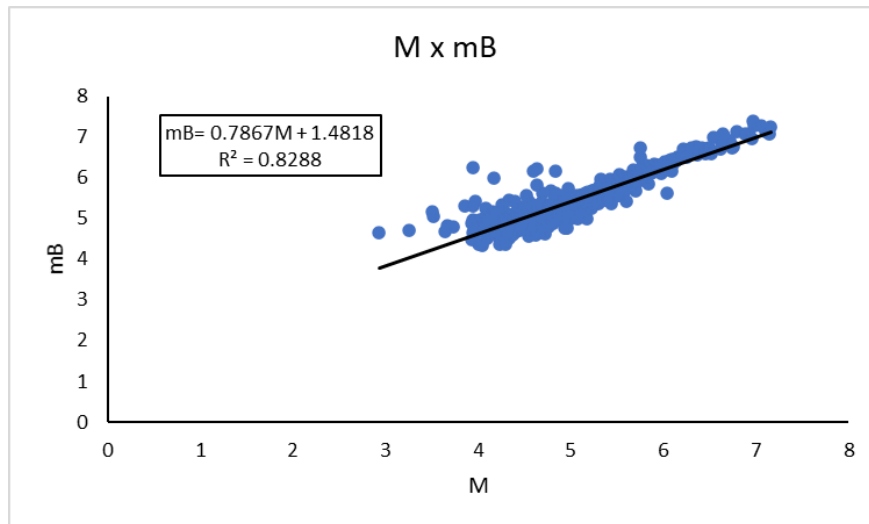
Gambar 2. Grafik dan persamaan konversi dari M ke Mw.

Konversi M ke mb dan mB

Konversi magnitudo *summary* M ke mb dibuat berdasarkan 1082 event sedangkan konversi M ke mB menggunakan 685 event. Magnitudo M dalam konversi ke mb bervariasi antara 2,86 hingga 7,16 sementara dalam konversi ke mB bervariasi antara 2,93 hingga 7,16. Grafik regresi dan persamaan konversi M ke mb dan M ke mB ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Berdasarkan nilai koefisien determinasi juga diketahui bahwa persamaan M ke mb memiliki hubungan lebih baik dibanding M ke mB, yaitu 0,8912 dan 0,8288. Selain itu juga dapat terlihat bahwa pada konversi M ke mB, jumlah data gempa dengan $M < 4,0$ relatif sedikit.



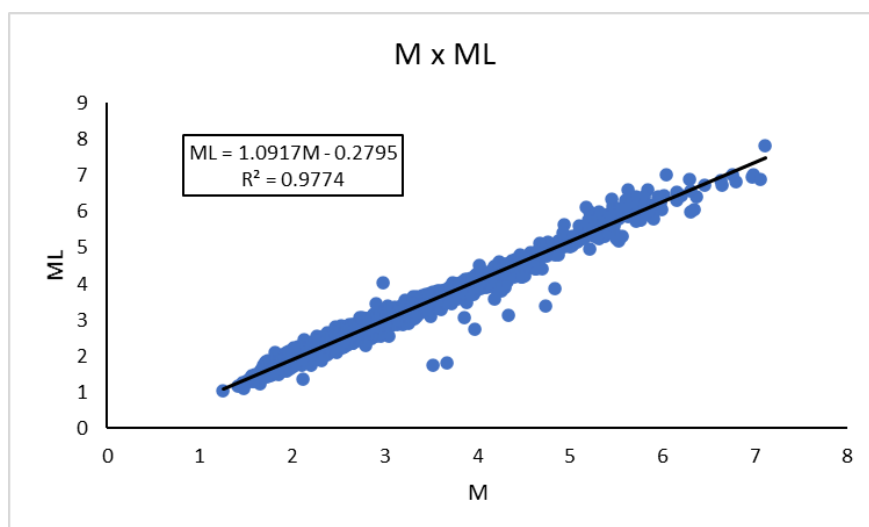
Gambar 3. Grafik dan persamaan konversi dari M ke mb.



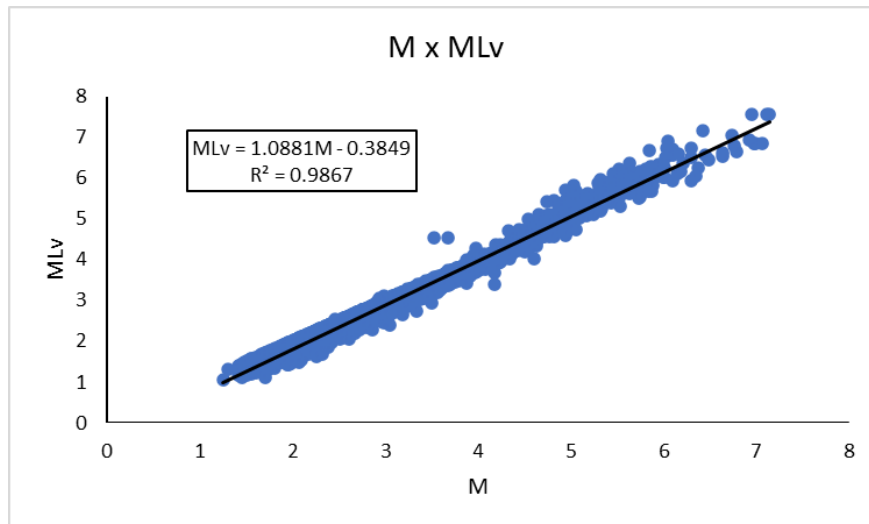
Gambar 4. Grafik dan persamaan konversi dari M ke mB.

Konversi M ke M_L dan M_{LV}

Data yang digunakan dalam konversi magnitudo *summary* M ke M_L adalah 6901 kejadian gempa dengan magnitudo $1,25 \leq M \leq 7,11$, sedangkan M ke M_{LV} menggunakan data 8064 kejadian gempa dengan magnitudo $1,25 \leq M \leq 7,14$. Jumlah data pada konversi magnitudo lokal relatif lebih banyak, karena data dari katalog BMKG didominasi oleh tipe magnitudo lokal. Grafik regresi dan persamaan dari kedua konversi tersebut ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Berdasarkan nilai koefisien determinasi yang diperoleh terlihat bahwa kedua persamaan tersebut memiliki nilai korelasi sangat baik, yaitu 0,9774 untuk M ke M_L dan 0,9867 untuk M ke M_{LV} . Hasil ini menggambarkan bahwa magnitudo *summary* (M) relatif lebih relevan dengan magnitudo lokal. Hal ini dapat terjadi karena sebagian besar gempa di wilayah Indonesia merupakan gempa lokal yang sering diukur menggunakan magnitudo lokal, sehingga dalam perhitungan magnitudo *summary* bobot magnitudo lokal lebih tinggi. Di sisi lain juga dapat terlihat bahwa M_L dan M_{LV} mengalami saturasi pada magnitudo lebih dari 6,5.



Gambar 5. Grafik dan persamaan konversi dari M ke M_L .



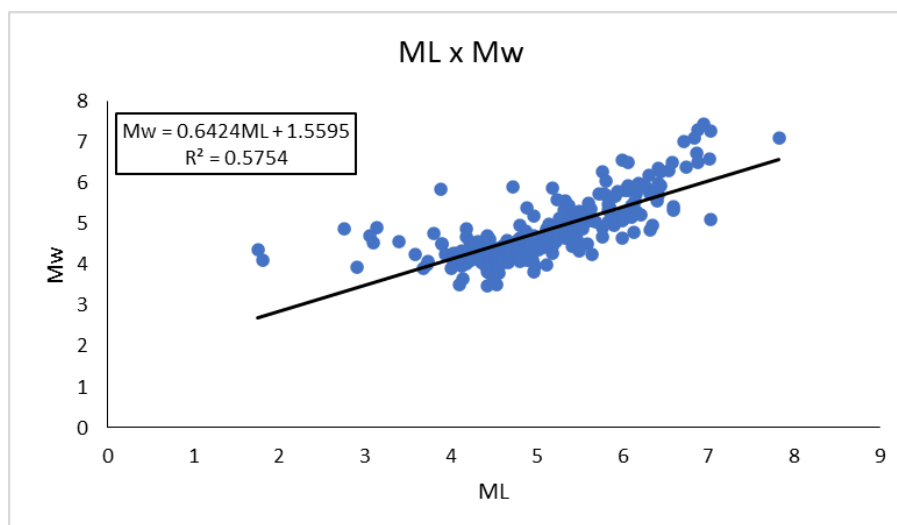
Gambar 5. Grafik dan persamaan konversi dari M ke M_{L_V} .

Konversi M ke Ms

Konversi magnitudo M ke Ms tidak dapat dilakukan karena kurangnya data katalog Ms yang sesuai.

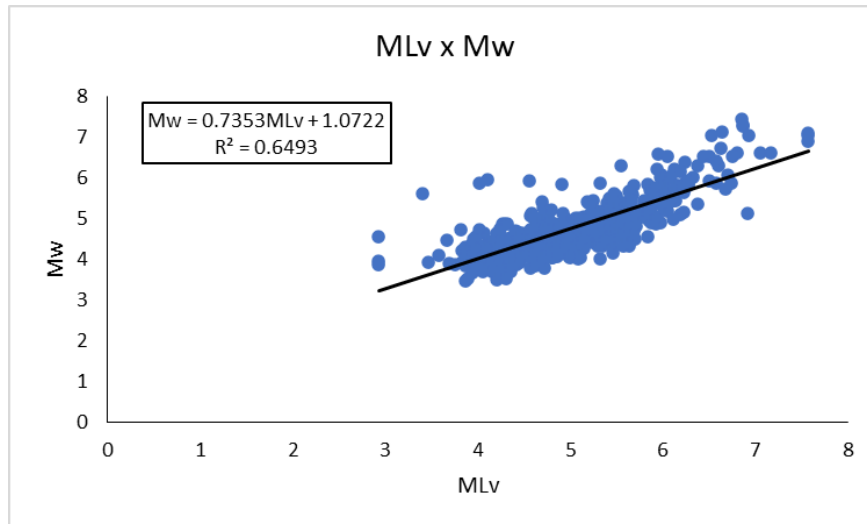
Konversi M_L dan M_{L_V} ke M_w

Analisis regresi magnitudo lokal M_L ke M_w dilakukan menggunakan 270 kejadian, sedangkan regresi M_{L_V} ke M_w menggunakan 519 kejadian. Sedangkan rentang magnitudo yang digunakan dalam analisis M_L ke M_w adalah $1,75 \leq M_L \leq 7,82$, dan $2,93 \leq M_{L_V} \leq 7,57$ untuk M_{L_V} ke M_w . Gambar 6 menunjukkan hasil regresi M_L dan M_w , dimana koefisien determinasi yang diperoleh yaitu 0,5754. Nilai ini menunjukkan bahwa masih ada beberapa bias atau penyimpangan dalam perhitungan M_w dari M_L . Selain itu dapat terlihat bahwa sebagian besar data berada pada rentang $4,0 \leq M_L \leq 6,5$ dan tidak menyimpang jauh dari garis regresi. Namun nilai M_L di luar rentang tersebut relatif sedikit dan mengalami penyimpangan relatif besar.



Gambar 6. Grafik dan persamaan konversi dari ML ke M_w .

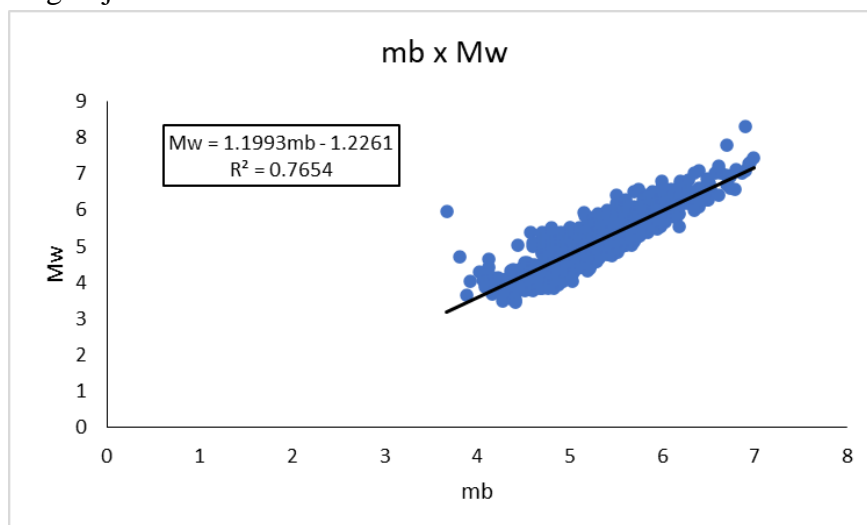
Gambar 7 menunjukkan hasil regresi untuk konversi M_{Lv} ke M_w . Nilai koefisien determinasi persamaan M_{Lv} ke M_w sedikit lebih tinggi dibandingkan M_L ke M_w . Namun, dalam Gambar 7 juga terlihat adanya penyimpangan relatif besar untuk data $M_{Lv} \leq 3,5$. Selain itu dari Gambar 6 dan Gambar 7 juga dapat disimpulkan bahwa nilai M_L dan M_{Lv} relatif lebih kecil dibanding M_w .



Gambar 7. Grafik dan persamaan konversi dari M_{Lv} ke M_w .

Konversi mb ke Mw

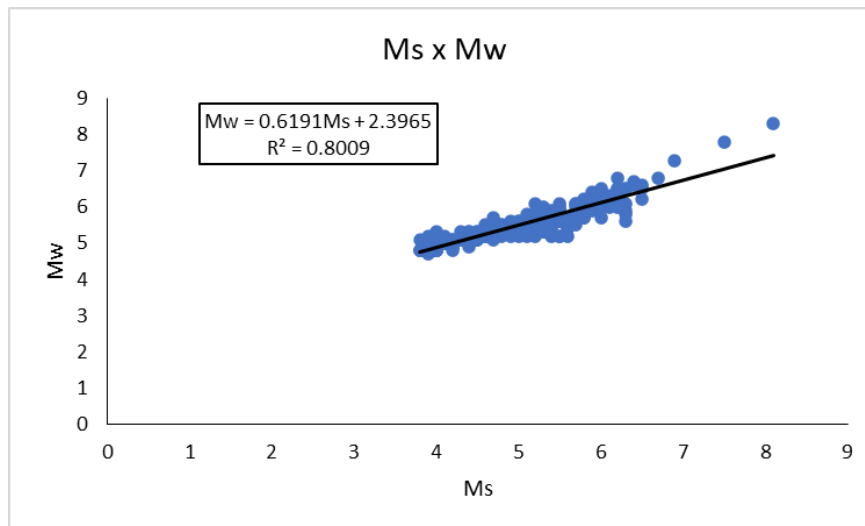
Analisis regresi magnitudo gelombang badan mb ke M_w dilakukan menggunakan 1046 data gempa dengan magnitudo $3,67 \leq mb \leq 6,99$. Hasil regresi beserta persamaan konversi ditampilkan pada Gambar 8. Nilai koefisien determinasi 0,7654 menunjukkan bahwa konversi ini relatif baik dibandingkan persamaan Pusgen (2017) dengan $R^2 = 0,6975$. Berdasarkan garis regresi juga terlihat bahwa nilai mb cenderung lebih kecil dibandingkan M_w . Hal ini menunjukkan bahwa dalam katalog wilayah Nusa Tenggara Barat yang digunakan sering terjadi underestimated nilai mb.



Gambar 8. Grafik dan persamaan konversi dari mb ke M_w .

Konversi Ms ke Mw

Konversi magnitudo gelombang permukaan Ms ke Mw dilakukan menggunakan 221 data gempa dengan magnitudo $3,8 \leq m_b \leq 8,1$. Persamaan konversi dan grafik regresi ditampilkan pada Gambar 9. Persamaan konversi Ms ke Mw cenderung lebih baik dibandingkan konversi dari tipe magnitudo mb, hal ini digambarkan oleh nilai koefisien determinasi 0,8009. Berdasarkan garis regresi juga terlihat bahwa nilai Mw cenderung jauh lebih besar dibandingkan Ms. Garis regresi mampu menunjukkan relasi cukup baik untuk sebagian besar rentang Ms, namun untuk $M_s > 6,9$ terlihat bahwa garis regresi lebih rendah atau underestimated. Oleh karena itu perlu dibuat persamaan regresi yang berbeda pada $M_s > 6,9$. Hal ini juga terlihat pada persamaan konversi Pusgen 2017 untuk Ms ke Mw yang dibagi atas 2 rentang magnitudo yaitu $2,8 \leq M_s \leq 6,1$ dan $6,2 \leq M_s \leq 8,7$. Pada rentang magnitudo lebih tinggi garis regresi cenderung lebih tinggi, karena nilai Ms dan Mw hampir sama. Pada penelitian ini tidak dapat dilakukan pengelompokan rentang magnitudo $M_s > 6,9$ karena kurangnya jumlah data.



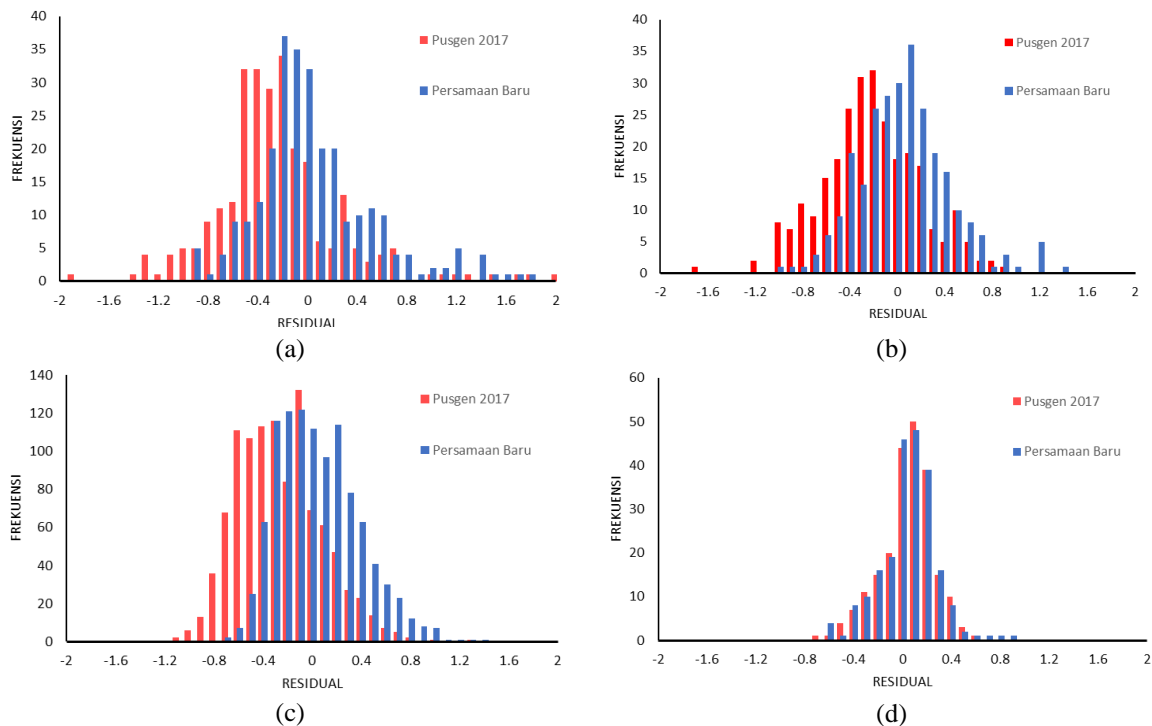
Gambar 9. Grafik dan persamaan konversi dari Ms ke Mw.

Analisis dan Perbandingan

Pada analisis sebelumnya mengenai konversi mb, Ms, M_L , dan M_{L_v} ke Mw, perbandingan hanya berdasarkan nilai koefisien determinasi. Namun perbandingan hasil regresi penelitian ini dengan persamaan Pusgen (2017) juga dilakukan melalui analisis histogram nilai residual antaran Mw hasil persamaan dengan data Mw yang ada. Hasil analisis histogram untuk ketiga persamaan ditampilkan pada Gambar 10.

Gambar 10 menunjukkan bahwa residual persamaan dari penelitian ini dan Pusgen 2017 relatif baik karena nilai residual sebagian besar mendekati 0. Pada histogram persamaan M_L ke Mw dan M_{L_v} ke Mw terlihat bahwa persamaan regresi hasil penelitian ini cenderung lebih baik dibandingkan Pusgen 2017. Hal yang sama juga terlihat pada persamaan konversi mb ke Mw dimana residual persamaan hasil penelitian memiliki nilai mendekati 0 lebih banyak dibandingkan Pusgen 2017. Kondisi berbeda terlihat pada persamaan Ms ke Mw yang menunjukkan bahwa persamaan baru dengan Pusgen cenderung memiliki residual yang sama. Berdasarkan Gambar 10 juga dapat disimpulkan bahwa histogram residual yang paling

optimal ditunjukkan oleh persamaan konversi M_L ke M_w dan M_{LV} ke M_w dimana dengan jumlah data relatif banyak, distribusi residual cenderung baik.



Gambar 10. Histogram residual persamaan konversi hasil penelitian dengan Pusgen 2017 untuk (a) M_L ke M_w , (b) M_{LV} ke M_w , (c) mb ke M_w , dan (d) M_s ke M_w .

KESIMPULAN

Hasil penelitian mengenai konversi magnitudo *summary* (M) ke tipe magnitudo M_L , M_{LV} , mb , mB , M_s , dan M_w menunjukkan bahwa melalui analisis regresi linear sederhana diperoleh persamaan dengan korelasi relatif baik. Nilai magnitudo *summary* memiliki kemiripan atau korelasi terbaik dengan magnitudo lokal.

Pada penelitian ini juga diperoleh persamaan konversi untuk magnitudo lokal M_L dan M_{LV} , magnitudo gelombang badan mb , dan magnitudo gelombang permukaan M_s ke magnitudo momen M_w . Persamaan yang diperoleh cenderung akurat dalam mengkonversi tipe magnitudo M_L , M_{LV} , mb dan M_s ke M_w dibandingkan penelitian sebelumnya.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika terutama Stasiun Geofisika Mataram atas ketersediaan data katalog gempabumi di wilayah Nusa Tenggara Barat.

DAFTAR PUSTAKA

BMKG, 2020. BMKG Data Repository. <http://repogempa.bmkg.go.id/query.php> [11 November 2020].
 Global CMT, 2020. Global CMT Earthquake Catalog. <https://www.globalcmt.org/>

- CMTsearch.html [11 November 2020].
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 2010. Magnitude and energy of earthquakes. *Ann. Geophys.* 53, 7–12. <https://doi.org/10.4401/ag-4588>
- Hanks, T.C., Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res. B Solid Earth* 84, 2348–2350. <https://doi.org/10.1029/JB084iB05p02348>
- Idriss, I.M., 1985. Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice, in: *Proceedings of The Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. San Fransisco, pp. 255–320.
- ISC, 2020. ISC-EHB Earthquake Bulletin. <http://www.isc.ac.uk/isc-ehb/search/bulletin/> [11 November 2020].
- Mahendra Taruna, R., Haris Banyunegoro, V., Daniarsyad, G., 2018. Peak ground acceleration at surface for Mataram city with a return period of 2500 years using probabilistic method. *MATEC Web Conf.* 195. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819503019>
- Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B., Karakaisis, G.F., 2004. Global Relations Between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes. *Bull. Geol. Soc. Greece XXXVI*, 1482–1489.
- Potsdam, G., 2020. scmag-Calculates magnitudes of different types. <https://docs.gempa.de/seiscomp3/current/apps/scmag.html> [11 November 2020].
- usgen, 2017. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR.
- Richter, C.F., 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 25, 1–32.
- Scordilis, E.M., 2006. Empirical global relations converting MS and mb to moment magnitude. *J. Seismol.* 10, 225–236. <https://doi.org/10.1007/s10950-006-9012-4>
- Tang, C.C., Zhu, L., Huang, R., 2016. Empirical Mw-ML, Mb, and Ms conversions in Western China. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 106, 2614–2623. <https://doi.org/10.1785/0120160148>
- USGS, 2020. USGS Earthquake Catalog. <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/earthquakes> [11 November 2020].
- Vanek, J., Zatopek, A., Karnik, V., Kondorskaya, N.V., Riznichenko, Y.V., Savarensky, E.F., Soloviev, S.L. and Shebalin, N.V., 1962. Standardization of magnitude scales. *Bull. Acad. Sci. USSR Geophys* 108–111.
- Yuliara, I.M., 2016. Modul Regresi Linear Sederhana. <https://doi.org/10.1093/bja/62.4.429>.