



Asesmen Katalog Gempabumi di Wilayah PGR III Sebelum dan Setelah Penambahan Sensor Seismik Tahun 2019 Menggunakan *Magnitude Completeness*

Assessment of The Earthquake Catalog in The PGR III Region Before and After The Addition of Seismic Sensors in 2019 Using Magnitude Completeness

I Putu Dedy Pratama^{1*}, Mario Charlos Rohi Koten², Pande Komang Gede Arta Negara³

¹Stasiun Geofisika Denpasar, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), JL. Pulau Tarakan No. 1, Kota Denpasar, Bali 80113

²Stasiun Geofisika Sumba Timur, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jl. Adi Sucipto, V8, NTT, Kotak Pos 87114

³Stasiun Geofisika Mataram, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jl. Adi Sucipto No.10, Kota Mataram, NTB, 83124

*Email: checkmate_mail@yahoo.co.id

Naskah Masuk: 04 Februari 2021 | Naskah Diterima: 29 Mei 2021 | Naskah Terbit: 07 Juni 2021

Abstrak. Penambahan 8 sensor seismik di wilayah Pusat Gempabumi Regional (PGR) III untuk meningkatkan kualitas informasi gempabumi telah dilakukan tahun 2019 dan mulai digunakan dalam analisis gempabumi oleh 4 Unit Pelaksana Teknis Geofisika di awal tahun 2020. Hasil analisis berupa katalog gempabumi perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui dampak penambahan sensor terhadap kelengkapan magnitudo dari katalog. Data yang digunakan berasal dari katalog Sistem Penentu Keputusan (SPK) gempabumi di wilayah PGR III dengan data sebelum penambahan sensor baru menggunakan data tahun 2019 dan setelah penambahan menggunakan data tahun 2020. Untuk mengetahui perubahan kelengkapan katalog gempabumi, dilakukan perhitungan *Magnitude Completeness* (M_c) dengan menggunakan empat metode (*Maximum Curvature* (MAXC), *Goodness-of-Fit Test* (GFT), *Mc by b-value Stability* (MBS), *Entire Magnitude Range* (EMR), dan *Entire Magnitude Range* (EMR)) pada katalog sebelum dan setelah penambahan 8 sensor seismik yang telah dideklaster. Selain itu, dilakukan analisis spasial dan temporal untuk mengetahui ruang dan waktu yang mengalami perubahan M_c . Diperoleh penurunan nilai M_c pada metode MAXC dan MBS pada katalog setelah penambahan sensor baru, sedangkan pada metode GFT dan EMR memiliki nilai yang sama baik katalog 2019 dan 2020. Sebelum penambahan rentang nilai M_c 1,4–2,8 dan setelah penambahan sensor baru rentang nilai M_c 0,9–2,8. Secara spasial, nilai M_c dipengaruhi oleh aktivitas seismik di wilayah tersebut serta kerapatan sebaran sensor dimana semakin rapat sebaran sensor dan tingginya aktivitas seismik mampu menurunkan nilai M_c . Dengan adanya penambahan sensor seismik mampu meningkatkan kelengkapan katalog gempabumi di wilayah PGR III dalam analisis gempabumi. Hal ini terlihat dari penurunan nilai M_c pada daerah dengan penambahan sensor baru dan penurunan gradien nilai M_c terhadap waktu.

Kata Kunci: Katalog Gempabumi, Sistem Penentu Keputusan (SPK), *Magnitude Completeness*, Pusat Gempabumi Regional (PGR) III, Sensor Seismik

Abstract. To improve the quality of earthquake information, 8 seismic sensors were added in the PGR III region in 2019 and began to be used in earthquake analysis by 4 geophysical

stations in early 2020. The results of the analysis are in the form of an earthquake catalog that needs to be evaluated to see the impact of adding sensors to the magnitude completeness from the catalog. The data used from the Sistem Penentu Keputusan (SPK) earthquakes catalog in the PGR III region with data before the addition of new sensors using 2019 data and after addition using 2020 data. To determine the changes in the completeness of the earthquake catalog, the Magnitude Completeness (M_c) was calculated using four methods (Maximum Curvature (MAXC), Goodness-of-Fit Test (GFT), M_c by b - value Stability (MBS), Entire Magnitude Range (EMR), dan Entire Magnitude Range (EMR)) in the catalog before and after adding 8 declustered seismic sensors. In addition, spatial and temporal analysis was conducted to determine the time and space that experienced changes in M_c . There was a decrease in the value of M_c in the MAXC and MBS methods in the catalog after the addition of new sensors, while the GFT and EMR methods had the same values for both the 2019 and 2020 catalogs. Before adding new sensors M_c values range between 1.4–2.8 and after adding new sensors the M_c value ranges between 0.9–2.8. Spatially, the value of M_c , measured by the seismic activity in the area as well as the density of the sensor distribution where the denser the sensor distribution and increasing the seismic activity can reduce the value of the M_c . With the addition of seismic sensors that can improve the completeness of the earthquake catalog in the PGR III region in earthquake analysis. This can be seen from the decrease in the value of M_c in the area with the addition of new sensors and the decrease in the gradient of the M_c value with time.

Keywords: *Earthquake Catalog, Decision Making System, Magnitude Completeness, Regional Earthquake Centers III, Seismic Sensors*

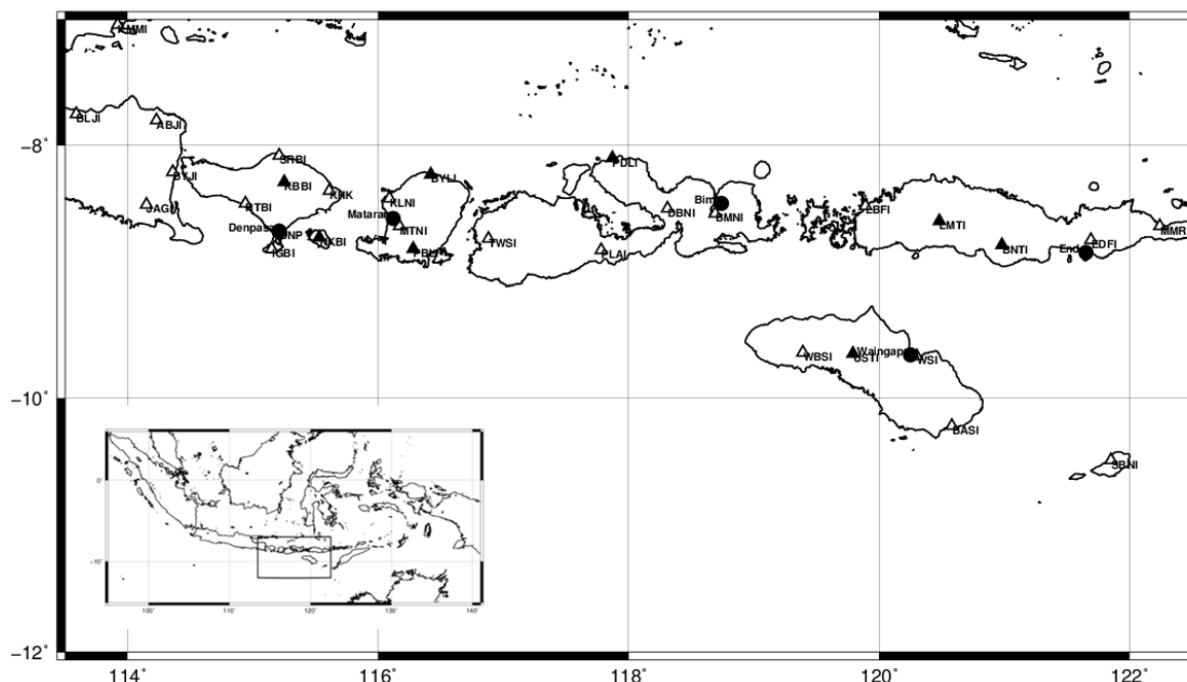
Pendahuluan

Unit Pelaksana Teknis (UPT) Geofisika BMKG memiliki tugas menganalisis dan menyebarkan informasi gempabumi $M < 5$. Sejak 31 Januari 2016, wilayah gempabumi Regional III melakukan penentuan parameter gempabumi untuk disebarluaskan ke masyarakat berasal dari parameter hasil keputusan terbaik dari 4 UPT (Stageof Mataram, Stageof Denpasar, Stageof Waingapu, dan PGR/Pusat Gempabumi Regional III). Kemudian pada September 2018 sejak September 2018, wilayah PGR III telah mengaplikasikan Sistem Penentu Keputusan (SPK). Konsep SPK adalah menghitung secara otomatis skor pembobotan dari masing masing unsur statistic ke 4 UPT geofisika. Unsur pembobotan yang digunakan seperti *Azimuth Gap*, RMS, *ellipsoid error*, dan jumlah fase [1]. Sebelum adanya SPK, pemilihan parameter terbaik ini dilakukan oleh PGR 3 secara manual, dengan memperhitungkan jumlah fase, *azimuth gap*, dan *Root Mean Square* (RMS). Pemilihan parameter secara manual dapat menghasilkan tingkat kesalahan yang besar terutama karena *human error*.

Dalam meningkatkan operasional pemantauan gempabumi di wilayah PGR III saat ini terdapat 30 sensor seismik yang tersebar di beberapa pulau. Sebelum 2019, sensor di wilayah PGR III berjumlah 24 sensor, kemudian dilakukan penambahan sensor sebanyak 8 sensor yaitu KBBI dan NKBI di Bali, BYLI dan PBLI di Lombok, PDLI di Sumbawa, LMTI dan BNTI di Flores, dan USTI di Sumba (Gambar 1) sehingga total jumlah sensor yang ada sebanyak 30 sensor. Jaringan 8 sensor baru ini mulai dilibatkan dalam analisis gempabumi pada Januari 2020.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan 8 sensor baru terhadap kelengkapan katalog gempabumi di wilayah PGR III. Sebelumnya perlu dipastikan bahwa katalog telah dilakukan deklaster untuk mengurangi dampak gempabumi pendahuluan dan susulan yang mengakibatkan sebaran nilai M_c kecil hanya pada daerah dengan gempabumi pendahuluan dan susulan yang banyak. Secara hipotesis, penambahan jaringan seismometer mampu menurunkan nilai M_c yang berarti jumlah gempabumi kecil yang tercatat di sekitar lokasi penambahan sensor semakin banyak dan kelengkapan katalog semakin baik.





Gambar 1. Sebaran jaringan sensor seismik di wilayah PGR III, segitiga putih merupakan sensor yang sudah beroperasi sebelum 2020 dan segitiga hitam merupakan penambahan sensor baru yang mulai dioperasikan tahun 2020.

Metode Penelitian

Katalog gempabumi merupakan data utama dalam analisis seismisitas dan kerentanan seismik. Dalam menyusun katalog gempabumi, tidak semua kejadian dapat dideteksi dan dikatalogkan, misalnya saat kejadian terlalu kecil atau kebisingan sekitar terlalu besar, dan saat gelombang gempa susulan bertumpuk dengan guncangan utama [2]. Ketidaklengkapan katalog gempabumi secara signifikan dapat memengaruhi hasil analisis selanjutnya pada penelitian yang bergantung pada data katalog. Dengan demikian, menilai kelengkapan katalog gempabumi adalah langkah yang diperlukan dalam beberapa penelitian, seperti estimasi nilai-*b*.

Parameter paling penting dalam menentukan nilai-*b* dan nilai-*a* adalah *magnitude completeness* (*Mc*), yang mana memerlukan deskripsi akurat dari *Mc* lokal karena *Mc* pada wilayah penelitian sangat bervariasi [3].

Mc dari katalog gempabumi didefinisikan sebagai magnitudo gempabumi terkecil yang berhasil dianalisis. Dalam kenyataannya tidak semua gempabumi kecil mampu dianalisis. *Mc* berfungsi sebagai magnitudo *cut-off* untuk menentukan nilai terendah dari katalog rekaman riil dalam analisis seismik [4]. Katalog yang mencakup semua peristiwa yang besarnya lebih besar atau sama dengan *Mc* disebut katalog lengkap. Untuk penelitian empiris, katalog lengkap digunakan untuk menunjukkan distribusi magnitudo frekuensi (*FMD/Frequency Magnitude Distribution*) seperti yang digambarkan oleh Persamaan (1):

$$\log_{10} N (\geq M) = a - b(m \geq Mc) \tag{1}$$

dengan *N* adalah jumlah gempabumi dengan magnitudo *m*, *a* adalah kerentanan gempabumi, *b* menggambarkan parameter seismotektonik, dan *Mc* adalah magnitudo terkecil dalam katalog lengkap [5],[6]. Gempabumi dengan *m*<*Mc* dihilangkan. Hubungan statistik ini dikenal sebagai hukum G-R (Gutenberg-Richter) [5].



Empat metode yang digunakan untuk memperkirakan M_c :

- (1) *Maximum Curvature* (MAXC), metode kelengkungan maksimum kurva oleh Wiemer dan Wyss [7]. Korespondensi magnitudo berada pada titik kelengkungan maksimum sesuai deviasi hukum Guttenberg–Richter (G–R) dianggap sebagai estimasi M_c yaitu, besarnya yang sebanding dengan kumulatif linier dari FMD.
- (2) *Goodness-of-Fit Test* (GFT), metode yang dikembangkan oleh Wiemer dan Wyss [7]. Metode ini mengekstrak himpunan bagian peningkatan magnitudo *cut-off* (M_{co}) dan mengukur penyimpangan antara bagian M_{co} dan hukum G–R dengan membuat kecocokan linear dengan hukum G–R, dimana akan menghasilkan serangkaian nilai *good-of-fit*. *Goodness-of-fit* didefinisikan sebagai Persamaan (2):

$$R(a, b, M_{co}) = 100 - \left(\frac{\sum_{M_{co}}^{M_{max}} |B_i - S_i|}{\sum_i B_i} \cdot 100 \right) \quad (2)$$

di mana B_i dan S_i merupakan kejadian gempabumi yang diamati dan diprediksi dalam magnitudo ke- i . Dengan M_{co} yang lebih besar, lebih sedikit gempabumi yang terlewatkan katalog, dan nilai R yang sesuai cenderung tumbuh. Saat R ini mencapai tingkat kepercayaan 95% atau 90%, M_{co} yang sesuai ditentukan sebagai M_c . Perhatikan bahwa jika 90% *good-of-fit* level tidak dapat dicapai maka metode GFT gagal.

- (3) *Mc by b-value Stability* (MBS), M_c dengan stabilitas nilai- b oleh Cao dan Gao [8] dan dimodifikasi oleh Woessner dan Wiemer [9]. Metode ini juga mengekstrak himpunan bagian dengan magnitudo *cut-off* (M_{co}) yang meningkat, dan menghitung nilai- b yang sesuai untuk setiap subset. Saat magnitudo kecil tidak tercatat, gempabumi yang lebih besar menjadi bagian M_{co} kecil dan nilai yang sesuai terlalu rendah dengan M_{co} naik. Estimasi nilai- b menjadi lebih tinggi dan akhirnya membentuk kurva mendatar. Hasil M_{co} pertama dalam nilai- b yang stabil merupakan estimasi M_c .

Pengembangan metode oleh Woessner dan Wiemer [9] adalah perubahan pada nilai stabilitas. Cao dan Gao [8] mengukur perubahan nilai- b untuk dua M_{co} berturut-turut, dan nilai- b dianggap stabil jika perbedaannya lebih kecil dari 0,03. Sedangkan, Woessner dan Wiemer [7] menemukan bahwa kriteria ini akan mengarah pada stabilitas numerik yang lebih buruk dari metode MBS. Perubahan yang dilakukan adalah mengukur perbedaan antara nilai- b untuk M_{co} tertentu dan nilai- b rata-rata untuk M_c , yang didefinisikan oleh persamaan (3):

$$b_{ave} = \sum_{M_{co}}^{M_{co} + win_M} b(M_{co}) \Delta m / (win + M + 0,1) \quad (3)$$

di mana Δm adalah selisih magnitudo, dan win_M adalah panjang jendela yang dihitung. Nilai- b dianggap stabil jika perbedaannya lebih kecil dari ketidakpastian nilai- b oleh Shi dan Bolt [10], yang diberikan oleh persamaan (4):

$$\delta b = 2,3b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_t - \langle M \rangle)}{N(N-1)}} \quad (4)$$

di mana b adalah nilai - b yang dihitung; N adalah jumlah peristiwa yang dihitung b ; adalah besarnya rata-rata.

- (4) *Entire Magnitude Range* (EMR), metode seluruh rentang magnitudo oleh Ogata dan Katsura (dikenal sebagai OK1993) [11] kemudian dikembangkan kembali oleh Woessner dan Wiemer [8]. Metode ini mencoba menyesuaikan seluruh bagian non-kumulatif dari FMD. Woessner dan



Wiemer [9] menggunakan fungsi distribusi kumulatif (CDF) untuk memodelkan bagian yang tidak lengkap dari intensitas seismik, dan hukum G–R untuk bagian lengkap, yang digambarkan oleh Persamaan (5). Mereka membandingkan CDF normal dengan yang CDF lain dan tes relatif menunjukkan bahwa CDF normal paling cocok. FMD non–kumulatif dapat digambarkan dengan intensitas λ (jumlah normalisasi gempabumi) pada besarnya m sebagai Persamaan (5):

$$\lambda(m|\mu, \sigma) = \begin{cases} \lambda(m|\mu, \sigma, m < M_c) = \int_{-\infty}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \\ \lambda(m|\mu, \sigma, \geq M_c) = \exp(-\beta(m - M_c)) \end{cases} \quad (5)$$

Proses pengolahannya: pertama katalog dibagi menjadi lengkap dan bagian yang tidak lengkap dengan kenaikan nilai *cut-off*, dan kemudian pisahkan data tersebut. Untuk setiap M_{co} , ada empat parameter yang dapat diubah: σ (deviasi) dan μ (rata-rata) dari CDF normal, nilai a dan nilai b dalam hukum G–R. M_{co} yang paling cocok adalah nilai final estimasi M_c .

Keempat metode tersebut memiliki perbedaan utama apakah parametrik (GFT, MBS, EMR) atau non–parametrik (MAXC). Teknik parametrik didasarkan pada penyesuaian dengan FMD sedangkan teknik non–parametrik didasarkan pada evaluasi perubahan pada FMD. Pada saat ini, tidak ada konsensus tentang teknik mana yang digunakan untuk menghitung M_c dan teknik yang berbeda dapat memberikan hasil yang sangat berbeda.

Ketidaklengkapan pada magnitudo rendah disebabkan oleh empat faktor berikut: (1) Gempabumi yang terlalu kecil dan sinyalnya tidak dapat dibedakan dari *noise* di lokasi sensor; (2) Magnitudonya terlalu kecil untuk dicatat oleh stasiun yang memadai; (3) Operator jaringan memutuskan bahwa peristiwa dengan magnitudo di bawah ambang tertentu tidak akan diproses atau tidak menarik; (4) Pada kasus gempabumi susulan, kejadian magnitudo kecil sulit dideteksi dari sinyal karena kemungkinan gempabumi saling beriringan [12].

Adanya gempabumi pendahuluan dan susulan membuat nilai M_c signifikan baik secara spasial maupun temporal. Untuk itu perlu dilakukan metode deklaster untuk menghilangkan gempabumi pendahuluan dan susulan. Penulis menggunakan algoritma Gardner dan Knopoff [13] yang dinyatakan dalam Persamaan (6) untuk waktu dan Persamaan (7) untuk ruang.

$$\log_{10} T = \begin{cases} 0,032M + 2,7389 & \text{jika } M \geq 6,5 \\ 0,5409M - 0,547 & \text{jika } M < 6,5 \end{cases} \quad (6)$$

$$\log_{10} L = 0,1238M + 0,983 \quad (7)$$

Dimana T adalah waktu dalam hari dan L adalah jarak dalam km yang merupakan klaster dalam ruang dan waktu, dan M adalah magnitudo gempabumi.

Data yang digunakan adalah katalog gempabumi di wilayah PGR III 7.0 LS – 13.0 LS dan 113.5 BT – 122.5 BT. Penelitian ini meliputi tahap pengumpulan data katalog gempabumi dari SPK. Untuk menyeragamkan rentang katalog dipisahkan menjadi masing–masing 1 tahun. Pemisahan data dilakukan berdasarkan waktu sensor seismik baru digunakan dalam analisis Seiscomp3 di 4 UPT BMKG PGR 3 yaitu data sebelum penambahan sensor (1 Januari 2019–31 Desember 2019) dan setelah penambahan sensor baru (1 Januari 2020–31 Desember 2020). Sebelum dilakukan perhitungan M_c , data katalog gempabumi dilakukan deklaster. Seluruh perhitungan dan pemetaan yang digunakan dalam 4 metode penentuan M_c dilakukan menggunakan ZMAP [14] yang dijalankan pada Matlab 2010.

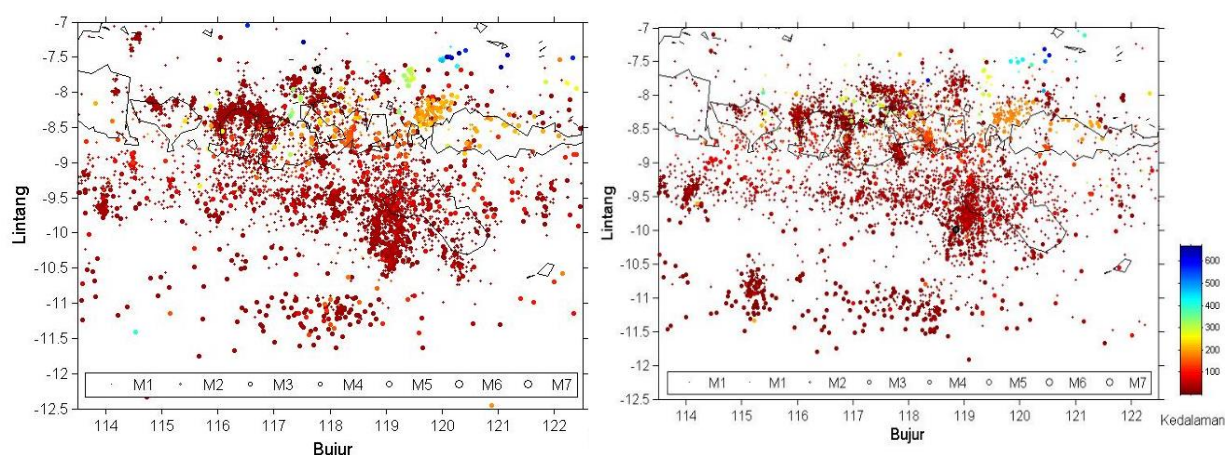


Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data keseluruhan setelah dilakukan sistem pemilihan parameter gempabumi katalog gempabumi 2019 antara UPT oleh PGR III telah tercatat 5.321 kejadian gempabumi. Untuk tahun 2020 tercatat 1.545 kejadian gempabumi dan setelah SPK 5.333 kejadian gempabumi. Jumlah gempabumi tahun 2019 dan 2020 untuk wilayah PGR III menunjukkan nilai yang hanya berselisih 12 gempabumi. Hal ini menunjukkan tingkat seismisitas gempabumi di wilayah PGR III sama untuk tahun 2019 dan 2020.

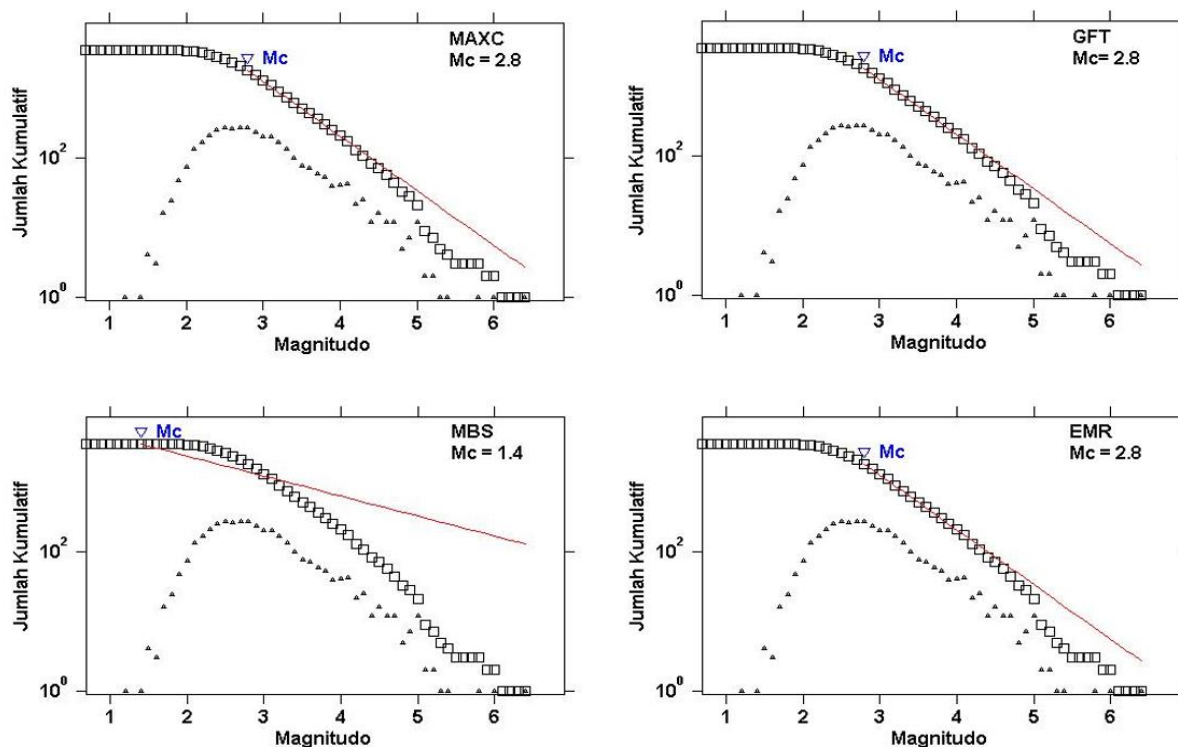
Sebaran seismisitas tahun 2019 (Gambar 2) didominasi oleh gempabumi sekitar Lombok yang dimulai pada akhir Juli 2018. Selain itu, wilayah Sumba dan Sumbawa juga memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Aktivitas subduksi dan patahan busur belakang berhasil tercatat. Gempabumi terdalam tercatat memiliki kedalaman 620 km dengan rentang magnitudo 1,2–6,4.

Sebaran seismisitas tahun 2020 (Gambar 2) masih didominasi oleh gempabumi sekitar Pulau Lombok, Sumba, dan Sumbawa. Terjadi peningkatan aktivitas gempabumi di Megathust Selatan Bali akibat gempabumi *outer rise* 19 Maret 2020. Gempabumi terdalam yang tercatat memiliki kedalaman 670 km juga merupakan gempabumi dengan magnitudo terbesar dengan kekuatan M6,9 terjadi di laut utara Sumbawa. Katalog gempabumi tahun 2020 memiliki rentang magnitudo 0,8–6,9. Rentang magnitudo pada katalog gempabumi 2020 di wilayah PGR III semakin lebar dan semakin banyak gempabumi kecil yang berhasil tercatat. Hal ini menunjukkan bahwa SPK berhasil meningkatkan semangat petugas dalam mengumpulkan katalog gempabumi.



Gambar 2. Perbandingan Seismisitas di wilayah PGR III berdasarkan katalog SPK tahun 2019 (kiri) dan 2020 (kanan).

Deklaster pada gempabumi tahun 2019 diperoleh 292 klaster gempabumi dengan gempabumi pendahuluan dan susulan sebanyak 1.712 gempabumi. Untuk tahun 2019, jumlah gempabumi dalam perhitungan M_c digunakan 3.609 gempabumi. Hasil deklaster gempabumi tahun 2020 diperoleh 273 klaster gempabumi dengan gempabumi pendahuluan dan susulan sebanyak 1540 gempabumi. Jadi dalam perhitungan M_c dilakukan pada 4.393 gempabumi. Jumlah klaster gempabumi 2019 lebih banyak dibandingkan 2020 karena pengaruh gempabumi susulan dari gempabumi Lombok 2018 yang masih berlangsung di tahun 2019.



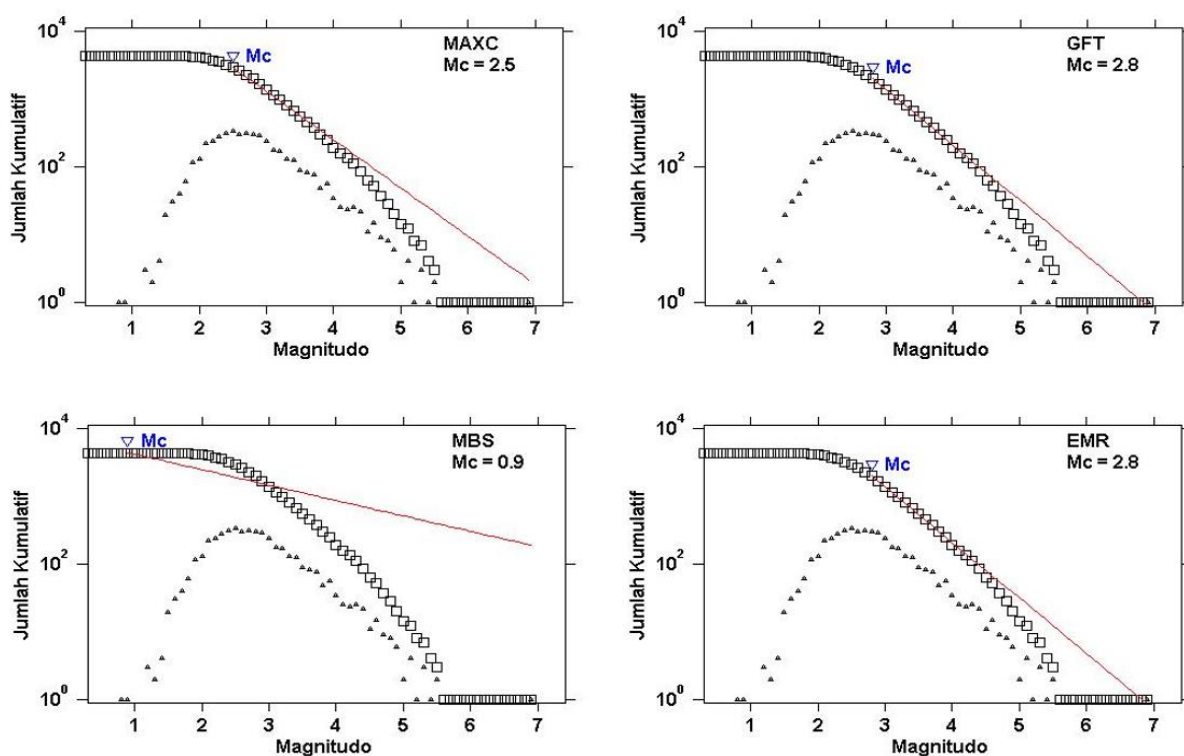
Gambar 3. Grafik nilai M_c katalog tahun 2019 di wilayah PGR III dengan metode MAXC, GFT, MBS, dan EMR

Berdasarkan data katalog gempabumi wilayah PGR III tahun 2019 yang telah melalui tahap deklaster, dilakukan perhitungan M_c menggunakan metode MAXC, GFT, MBS, EMR (Gambar 3). Dari hasil perhitungan nilai M_c dari katalog tahun 2019 diperoleh nilai yang hampir seragam dimana metode MAXC, GFT, dan EMR memiliki nilai $M_c=2,8$ sedangkan MBS memiliki nilai $M_c=1,4$. Nilai M_c dari metode MBS berbeda signifikan dari metode lainnya. Hal ini karena pada metode MBS hasil M_{co} pertama dalam nilai $-b$ yang stabil merupakan estimasi M_c dan rentang waktu yang singkat [4]. Nilai M_c sebelum SPK memiliki nilai yang cocok dengan metode MAXC, GFT, dan EMR dengan nilai M_c 2,8. Kemiripan pada ketiga metode ini disebabkan oleh data katalog berdistribusi normal.

Metode EMR mengambil nilai M_c terlalu tinggi. Hal ini disebabkan oleh rentang data magnitudo terendah dan nilai M_c berada pada $M_{1,2}$. Hal ini disebabkan oleh fungsi distribusi kumulatif berdistribusi normal. Metode EMR digunakan jika kita memiliki toleransi yang relatif tinggi terhadap gempabumi yang hilang [4]. Nilai di bawah 3,5 dianggap bukan nilai yang hilang karena puncak kurva FMD berada di magnitudo 3,5–3,6.

Untuk hasil perhitungan nilai M_c dari katalog gempabumi wilayah PGR III tahun 2020 dari metode MAXC memiliki nilai $M_c=2,6$, GFT dan EMR memiliki nilai M_c yang sama yaitu $M_c=2,8$ (Gambar 4). Nilai M_c dari metode MBS memiliki perbedaan signifikan daripada metode yang lain yaitu $M_c=0,9$. Hal ini karena pada metode MBS hasil M_{co} pertama dalam nilai $-b$ yang stabil merupakan estimasi M_c dan rentang waktu yang singkat [4]. Nilai M_c setelah SPK memiliki nilai yang cocok dengan metode MAXC, GFT, dan EMR dengan nilai M_c 2,5–2,8.



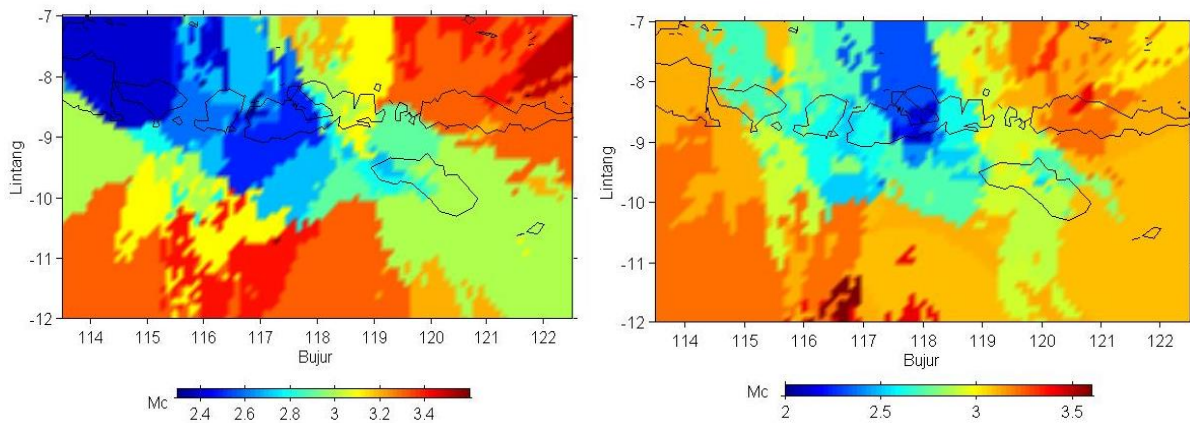


Gambar 4. Grafik nilai M_c katalog tahun 2020 di wilayah PGR III dengan metode MAXC, GFT, MBS, dan EMR

Secara keseluruhan terdapat 2 metode yang menghasilkan nilai M_c yang sama pada tahun 2019 dan 2020 yaitu metode GFT dan EMR. Dua metode lainnya yaitu MAXC dan MBS menghasilkan nilai M_c yang lebih rendah untuk tahun 2020 dibandingkan metode yang sama pada tahun 2019. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sensor baru mampu meningkatkan kerja UPT geofisika di wilayah PGR III dalam analisis gempabumi terlihat dari penurunan nilai M_c pada metode MAXC dan MBS.

Metode MAXC memiliki keunggulan pada kejadian gempabumi yang lebih sedikit daripada metode yang lain untuk mencapai hasil yang stabil. Dengan menggunakan metode MBS, penulis menemukan hasil M_c selalu lebih rendah, hal ini berkebalikan dengan hasil penelitian Hafiez [15] dimana nilai M_c selalu lebih tinggi. Hal ini karena data gempabumi yang digunakan 10 kali lebih sedikit. Metode EMR lebih banyak diminati dalam penelitian M_c karena kemampuannya dalam memberikan model kegempabumian yang lengkap dan dapat membuat model seismistas yang lengkap.

Secara spasial sebaran M_c tahun 2019 (Gambar 5) bervariasi dimana daerah Jawa Timur hingga Sumbawa memiliki nilai M_c terendah dan daerah utara Flores dan Megathust selatan Lombok memiliki nilai M_c yang rendah. Nilai M_c rendah pada daerah Jawa Timur hingga Sumbawa disebabkan oleh tingginya aktivitas gempabumi di daerah tersebut sepanjang tahun 2019. Aktivitas susulan gempabumi Lombok 2018 dan aktifnya patahan *Flores Back Arc Thust* di Bali utara menyebabkan rendahnya nilai M_c di daerah tersebut. Penelitian sebelumnya di wilayah Lombok Barat memperoleh hasil $M_c = 3,0$ dengan data katalog BMKG dan NEIC sejak 22 Januari 2014 hingga 31 Oktober 2018 [16].

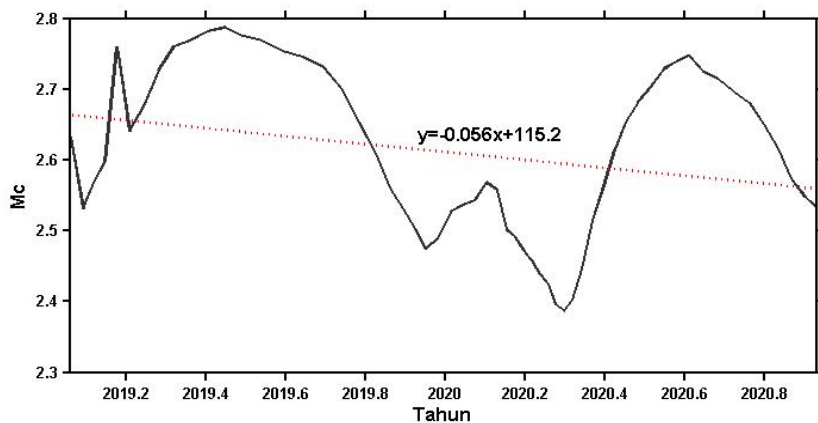


Gambar 5. Spasial nilai Mc di wilayah PGR III berdasarkan katalog 2019 (kiri) dan 2020 (kanan).

Secara spasial sebaran Mc 2020 (Gambar 5) bervariasi dimana daerah Sumbawa bagian tengah memiliki nilai Mc terendah dan pada daerah selatan pada zona Megathrust merupakan wilayah dengan nilai Mc tertinggi karena jarak sensor cukup jauh. Nilai Mc rendah pada daerah Sumbawa disebabkan oleh tingginya aktivitas kegempabumian di daerah tersebut dan semakin rapatnya jaringan sensor berupa penambahan sensor PBLI di daerah Sumbawa menyebabkan gempabumi mikro dapat dianalisis dengan baik. Jika dibandingkan rentang nilai Mc antara tahun 2019 dan 2020 terlihat bahwa rentang nilai Mc 2020 lebih lebar yaitu pada rentang Mc 2,0 – 3,6 sedangkan nilai Mc 2019 berada pada rentang Mc 2,3–3,6. Nilai Mc menurun terjadi pada daerah dengan penambahan sensor baru.

Rapatnya jejaring sensor gempabumi juga mempengaruhi nilai Mc. Semakin rapat sensor nilai Mc akan semakin kecil. Hal ini terlihat pada zona Megathrust dimana tidak terdapat sensor yang dekat dengan wilayah ini sehingga nilai Mc lebih besar dibandingkan dengan wilayah yang berada di daratan. Magnitudo yang kecil untuk dicatat oleh stasiun yang memadai membuat kualitas kelengkapan magnitudo yang rendah [12].

Secara temporal (Gabar 6), nilai Mc fluktuatif dari tahun 2019–2020 dan memiliki nilai terendah sekitar bulan Maret–April 2020. Hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas gempabumi mikro di daerah PGR III yang tersebar di berbagai wilayah. Jika dilihat dari kecenderungan perubahan nilai Mc dari awal tahun 2019 hingga akhir tahun 2020, terlihat menunjukkan tren penurunan dengan gradien $-0,056$. Penurunan nilai Mc secara temporal menunjukkan penambahan 8 sensor baru berhasil meningkatkan kelengkapan katalog gempabumi di wilayah PGR III. Estimasi nilai Mc secara temporal menunjukkan penurunan yang mengindikasikan bahwa kemampuan perekam data gempabumi semakin meningkat [17].



Gambar 6. Grafik nilai Mc dan gradiennya terhadap waktu dalam rentang 2019–2020.

Kesimpulan

Diperoleh penurunan nilai M_c pada metode MAXC dan MBS pada katalog setelah penambahan sensor baru, sedangkan pada metode GFT dan EMR memiliki nilai yang sama baik katalog 2019 dan 2020. Sebelum penambahan rentang nilai M_c antara 1,4–2,8 dan setelah penambahan sensor baru rentang nilai M_c antara 0,9–2,8. Secara spasial, nilai M_c dipengaruhi oleh aktivitas seismik di wilayah tersebut serta kerapatan sebaran sensor dimana semakin rapat sebaran sensor dan tingginya aktivitas seismik mampu menurunkan nilai M_c . Jika dibandingkan secara spasial rentang nilai M_c 2020 lebih lebar yaitu pada rentang 2,0 – 3,6 sedangkan nilai M_c 2019 berada pada rentang 2,3–3,6. Nilai M_c menurun terjadi pada daerah dengan penambahan sensor baru. Berdasarkan kecenderungan perubahan nilai M_c secara temporal dari awal tahun 2019 hingga akhir tahun 2020, terlihat menunjukkan tren penurunan dengan gradien $-0,056$. Dengan adanya penambahan sensor seismik mampu meningkatkan kelengkapan katalog gempabumi di wilayah PGR III dalam analisis gempabumi. Hal ini terlihat secara spasial dari penurunan nilai M_c pada daerah dengan penambahan sensor baru dan secara temporal penurunan gradien nilai M_c terhadap waktu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPT Geofisika di wilayah PGR III atas data katalog gempabumi yang digunakan sebagai data dalam tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Stefan Wiemer untuk aplikasi ZMAP yang digunakan dalam pembuatan peta seismisitas dan perhitungan M_c [14].

Daftar Pustaka

- 1] Bondar, I., S.C Myers, E.R. Engdahl, & E.A Bergman. (2004). Epicentre accuracy based on seismic network criteria. *Geophys. J. Int.*, 156, 483–496.
- 2] Iwata, T. (2013). Estimation of completeness magnitude considering daily variation in earthquake detection capability. *Geophys. J. Int.*, 194(3), 1909–1919. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt208>
- 3] Sunardi, B., Istikomah, M. U., & Sulastrri. (2017). Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempabumi Wilayah Nusa Tenggara Barat, Tahun 1973–2015. *Jurnal Riset Geofisika Indonesia* Vo. 1(1), Hal. 23–28.
- 4] Huang, Y. L., Zhou, S. Y., and Zhuang, J. C. (2016). Numerical tests on catalogbased methods to estimate magnitude of completeness. *Chin. J. Geophys.*, 59(3), 266–275. <https://doi.org/10.1002/cjg2.20232>
- 5] Gutenberg, B., and Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34(4), 185–188.
- 6] Ishimoto M & Iida K. (1939). Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 17: 443–478.
- 7] Wiemer, S., and Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90(4), 859–869. <https://doi.org/10.1785/0119990114>
- 8] Cao, A. M., and Gao, S. S. (2002). Temporal variation of seismic b-values beneath northeastern Japan island arc. *Geophy. Res. Lett.*, 29(9), 1334. <https://doi.org/10.1029/2001GL013775>
- 9] Woessner, J., and Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95(2), 684–698. <https://doi.org/10.1785/0120040007>
- 10] Shi, Y. L., and Bolt, B. A. (1982). The standard error of the magnitude–frequency b value. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72(5), 1677–1687.
- 11] Ogata, Y., and K. Katsura (1993), Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogues, *Geophys. J. Int.*, 113, 727{738.
- 12] Mignan, A., J. Woessner (2012), Estimating the magnitude of completeness in earthquake catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*. doi:10.5078/corssa-00180805. <http://www.corssa.org>, diakses 19 Juli 2020.



- 13] Gardner, J., and L. Knopoff (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America* 64(5), 1363–1367
- 14] Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismol. Res. Lett.*, 72(3), 373–382. <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>
- 15] Hafiez, H.E.A. (2015). Estimating the magnitude of completeness for assessing the quality of earthquake catalogue of the ENSN, Egypt. *Arab J Geosci.* 8(11):9315–9323. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-1929-x>
- 16] Fatimatuzzahrah, Didik, L. A., & Bahtiar. (2020). Analisis Periodisitas Gempa Bumi di wilayah Kabupaten Lombok Barat dengan menggunakan Metode Statistik dan Transformasi Wavelet. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 16 (1), Hal. 33–39. <http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5717>.
- 17] Simamora, J. T. & Namigo, E. L. (2016). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) untuk Gempa Sumatera. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 5(2), Hal. 179–186. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.2.179-186.2016>

