

STUDI PENDAHULUAN ESTIMASI STRAIN RATE KERAK BUMI SEKITAR SUMBER GEMPABUMI

(Studi Kasus: Gempabumi Malang Mw 6.0 tanggal 4 Nopember 1972 dan 10 April 2021)

Jaya Murjaya ⁽¹⁾⁽³⁾; Daryono ^(1,2); Suaidi Ahadi ^(1,2)

(1) Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Indonesia

(2) Kedeputan Bidang Geofisika BMKG, Indonesia

(3) Geoscience Universitas Indonesia, Indonesia

Email: murjaya1@gmail.com

ABSTRAK

Gempabumi Malang Mw 6.0-6.1 dengan kedalaman sumber (h) 71-80 km yang terjadi pada tanggal 10 April 2021 diduga sebagai perulangan gempabumi Malang tanggal 4 Nopember 1972 Mw 6.0 dan h 70 km, dan besarnya momen seismik sekitar $1,26 \times 10^{25}$ dyne-cm. Kedua gempabumi tersebut terjadi pada lokasi yang hampir sama dalam kurun waktu *interseismic* sekitar 48 tahun (48 tahun dan 137 hari). Tujuan dari tulisan ini untuk menghitung nilai *strain rate* dengan menggunakan data parameter kedua gempabumi diatas. Berdasarkan rumusan empiris didapatkan perkiraan panjang patahan sumber (L) sekitar 12.3 – 12.7 km dan lebar (W) is about of 7.76 - 9.20 km. Dengan menggunakan hubungan *scaling law* nilai-nilai M_0 , L, W, dan Tr, didapatkan nilai *stress drop* statis dan estimasi nilai *strain rate* kerak bumi di sekitar zona sumber gempabum Malang berkisar masing-masing 10.5-10.8 bars and $0.92 - 0.95 \times 10^{-14}/s$.

ABSTRACT

Malang earthquake Mw 6.0-6.1 (h 80 km) on April 10, 2021 was estimated as the repetition of the Malang earthquake Mw 6.0 (h 70 km) on November 4, 1972, and that earthquake has seismic moment (M_0) about $1,26 \times 10^{25}$ dyne-cm. Both earthquake occurred in the identical (almost) areas with inter-seismic time about of 48 years (48 years and 137 days). The purpose of this paper to calculate of the strain rate values by using both earthquakes data. Based on the empirical formula we found a length (L) of the fault about 12.3 – 12.7 km and width (W) is about of 7.76 - 9.20 km. Using the scaling law of the earthquake relation of the values of M_0 , L, W, and Tr we found the static stress drop and strain rate about 10.5-10.8 bars and $0.92 - 0.95 \times 10^{-14}/s$ respectively.

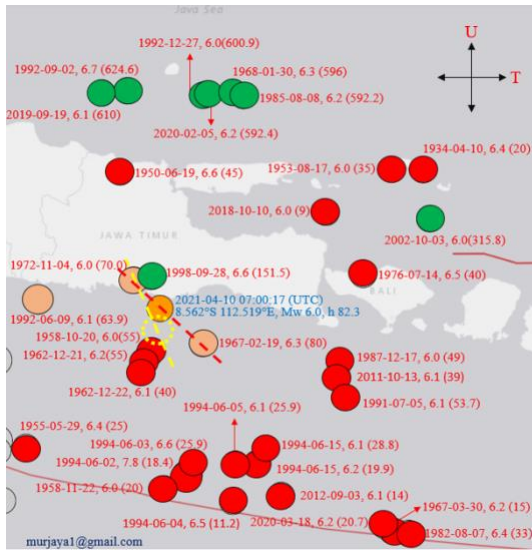
Key words: stress drop, strain rate, seismic moment, inter-seismic

1. Introduction

Untuk menggambarkan efek dari pelepasan *stress*. Seismologi menggunakan 3 (tiga) parameter dasar Fisika yaitu *stress drop* statis, transfer *stress Coulomb* dan *stress drop* dinamis (Debski, W; 2018; Ben-Menahem and Singh 1981; Agustin Udias et al. 2014). Untuk mengestimasi besaran strain rate dari kerak Lautan di sumber gempabumi Malang tanggal 10 April 2021 pada studi awal ini menggunakan empiris dan hubungan *scaling law* yang biasa digunakan dalam analisis gempabumi. Pada kajian ini digunakan 2 (dua) kejadian gempabumi yang terjadi pada tanggal 10 April 2021 dan gempabumi masa lalu tanggal 4 Nopember 1972 dimana kedua gempabumi tersebut lokasi episenternya terletak di laut di selatan Malang-Jawa Timur. Gempabumi Malang yang terjadi pada tanggal 10 April 2021 mempunyai magnitudo momen (Mw) 6.1 dan kedalaman (h) 80 km (BMKG) dengan posisi episenter 8.95 LS-

112.48 BT. Hasil analisis dengan menggunakan metode momen tensor oleh United State Geological Survey (USGS) mendapatkan nilai Mwb 6.0 dan h 71 km dan lokasi episenter terletak di koordinat 8.562 LS - 112.519 BT. Dampak getaran gempabumi Malang ini menimbulkan kerusakan di wilayah kabupaten Blitar, Malang, Lumajang dan sekitarnya.

Berdasarkan sejarah kegempaan di wilayah Jawa Timur terjadi beberapa kali dengan berbagai kedalaman sumber yang relatif berdekatan dengan lokasi episenter gempabumi tanggal 10 April 2021 yaitu gempabumi tanggal 4 Nopember 1972 dengan magnitudo 6.0 dan h 70 km, dan gempabumi tanggal 19 Februari 1967 dengan Magnitudo 6.0 dan h 80 km (USGS, 2021; BMKG 2020) seperti terlihat pada gambar 1. Jika merujuk pada sejarah gempabumi dari USGS, maka gempabumi Malang tanggal 10 April 2021 (h 71 km) patut diduga sebagai perulangan gempabumi tanggal 4 Nopember 1972 (h 70 km).



Gambar 1. distribusi episenter gempa bumi $M_w \geq 6$ tahun 1900-2020 di Jawa Timur. Lingkaran putus-putus kuning episenter gempa bumi Malang (BMKG) dan putus-putus merah dan kuning kemungkinan garis patahan yang menghubungkan 2 sumber gempa bumi tanggal 10 April 2021 dan gempa bumi tanggal 4 Nopember 1972.

Jika merujuk pada gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 dengan h antara 80-82.3 km (BMKG dan USGS) diduga sebagai perulangan gempa bumi yang terjadi pada tanggal 19 Februari 1967 dengan kedalaman h 80 km (USGS). Diantara kedua gempa bumi masa lalu tersebut, lokasi yang paling dekat dengan gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 adalah gempa bumi Malang tanggal 4 Nopember 1972. Sebagai dasar studi pendahuluan (*preliminary study*) ini gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 diduga sebagai perulangan gempa bumi (*repetition of earthquake*) tanggal 4 Nopember 1972 di selatan Malang. Dengan demikian kedua gempa bumi tersebut di duga mempunyai periode ulang selama 48 tahun (48 tahun 137 hari).

Periode ulang sebuah gempa bumi dalam suatu segmen patahan di control oleh beban gaya tektonik (*tectonic load*) yang menyebabkan timbulnya geseran rata-rata (*slip rate*) dalam waktu yang lama, akumulasi stress yang bekerja terus menerus dan sebagainya. Disamping itu juga tergantung pada sifat batuan dan mekanisme pelepasan energi pada bidang patahan segmen tersebut. Para ahli menyatakan bahwa periode ulang gempa bumi tektonik akan lebih lama umumnya jika mempunyai *stress drop* statis yang lebih besar. Sebaliknya periode ulang gempa bumi akan lebih pendek waktunya jika mempunyai nilai

stress drop statis lebih kecil. Mereka menyatakan seringnya gempa bumi besar yang terjadi di pinggiran lempeng aktif mempunyai waktu perulangan relatif singkat sekitar 30-200 tahun, dan beberapa gempa bumi besar *intraplate* mempunyai waktu perulangan sampai beberapa ribu tahun.

Dengan menggunakan hubungan *scaling law* yang biasa digunakan dalam analisis gempa bumi dan kaidah-kaidah fisika pada tulisan ini untuk mendapatkan nilai *strain rate* kerak /litosfer di zona sumber gempa bumi dengan menggunakan data gempa bumi Malang 10 April 2021 dan gempa bumi 4 Nopember 1972. Dengan menggunakan data gempa bumi yang riil ini diharapkan nilai *strain rate* yang didapatkan akan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan data nilai *strain rate* global. Pada studi awal ini semua parameter masukan dianggap valid dan diharapkan nilai *strain rate* tersebut dapat digunakan untuk menutupi kekurangan data sesar aktif dalam membuat perkiraan periode ulang sebuah gempa bumi dari sesar aktif pada regim tektonik yang hampir sama.

2. Tectonic and Seismicity Summary

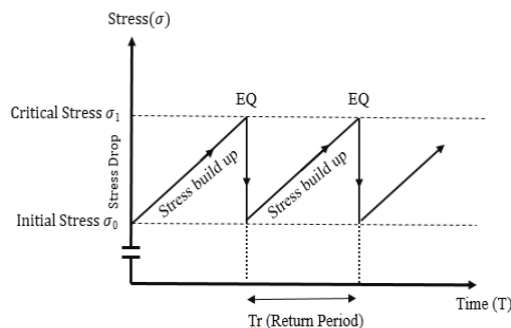
Tatanan tectonic di zona selatan Malang Jawa Timur merupakan salah satu bagian dari zona subduksi selatan Jawa. Hamilton (1979) secara umum menjelaskan bahwa pertemuan lempeng Australia dengan lempeng Eurasia di sepanjang lepas pantai barat Sumatra menerus ke selatan Jawa dan Nusa Tenggara. Batas pertemuan kedua lempeng tektonik ini ditandai dengan adanya palung di lepas pantai Barat Sumatra, Selatan Jawa dan Nusa Tenggara. Bock, et al (2000) revealed that kecepatan relatif bergerak lempeng Australia kebawah lempeng Eurasia sekitar 5-7 cm/tahun. Konsekwensi adanya pertemuan lempeng tektonik di selatan Jawa Timur ini menjadikan zona tersebut menjadi sumber terjadinya gempa bumi tektonik yang signifikan seperti terlihat pada gambar 1 diatas.

3. Teori Stress Drop Statis

Dalam teori disebutkan bahwa energi tektonik akan dilepaskan selama periode *co-seismic* setelah dilampauinya fase kritis (*critical stress*) suatu batuan. Energi yang terakumulasi selama periode *interseismic* sejak terjadinya gempa bumi besar terakhir pada zona tersebut. Gambar 2 merupakan ilustrasi penambahan atau terbangunnya energi akibat tekanan (*stress*) yang bekerja dan pelepasan *stress* yang direpresentasikan sebagai gempa bumi. Dimulai dari kondisi awal *stress* (*initial stress*- σ_0), terbangunnya *stress* selama

periode *interseismic* hingga tercapainya fase kritis (*critical stress*- σ_1). Setelah fase dilampauinya *critical stress* maka akan dilepas sejumlah stress yang disebut sebagai *stress drop* (statis).

Selanjutnya setelah sejumlah energi *stress* dilepaskan maka *stress* akan mulai terakumulasi atau terbangun kembali selama kurun waktu tertentu sampai mencapai fase *critical stress* yang kedua dan dilepaskan nya kembali yang direpresentasikan sebagai kejadian gempa bumi. Periode atau waktu antara dua kejadian gempa bumi di zona yang sama (hampir) disebut sebagai waktu perulangan gempa bumi di zona tersebut.



Gambar 2. Ilustrasi stress drops dan periode ulang gempa bumi. Interval waktu antara dua kejadian gempa bumi di zona yang sama (hampir) disebut sebagai Periode ulang gempa bumi (T_r).

Selanjutnya momen seismic (M_0) didefinisikan sebagai perkalian antara rigiditas batuan, luas bidang patahan (rupture area) dan *off set* (perubahan deformasi). Sedangkan statis *stress drop* ($\Delta\sigma$) pada tulisan ini menggunakan formula untuk patahan geser (*strike slip fault*) (Kanamori and Anderson, 1975).

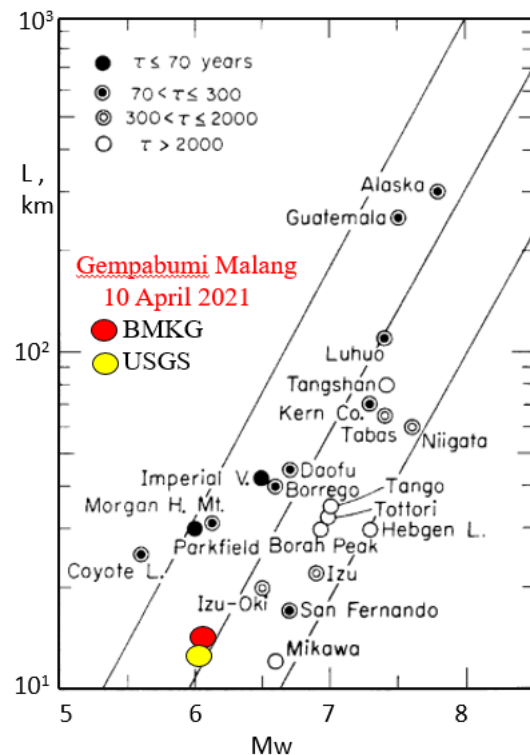
4. Data

Pada studi pendahuluan *strain rate* kerak sumber gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 digunakan data gempa bumi (BMKG, 2015) dan USGS (2021) yang terlihat pada gambar 1. Data periode ulang yang diacu penulis sebagai dasar analisis nya adalah kejadian gempa bumi tanggal 4 Nopember 1972 Mw 6.0 dan h 70 km dan gempa bumi tanggal 10 April 2021 dengan Mw 6.0 dan h 71 km. Asumsi yang digunakan kedua gempa bumi tersebut mempunyai kedalaman sumber yang relatif sama dan dengan mempertimbangkan panjang patahan yang terbentuk akibat gempa bumi tersebut, lokasi kedua nya relatif sama dan sebidang patahan.

5. Hasil dan Diskusi

5.1 Estimasi Panjang dan luasan bidang patahan

Mengingat jumlah gempa bumi susulan belum mencukupi untuk membuat estimasi pajang (L) dan luas bidang patahan (A), penentuan nilai L dan A dilakukan secara empiris (Wells and Coppersmith, 1994). Dengan cara yang sama juga estimasi L dan A gempa bumi Malang yang terjadi 4 Nopember 1972, Mw 6.0 dan h 70 km dilakukan dengan empiris seperti diatas. Jika gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 Mw 6.0 dan h 71 km, didapatkan panjang (L) 12.3 – 12.7 km dan lebar (W) 7.76 - 9.20 km. Gambar 3 hubungan antara Mw dan lebar yang dibuat Kanamori (1984).

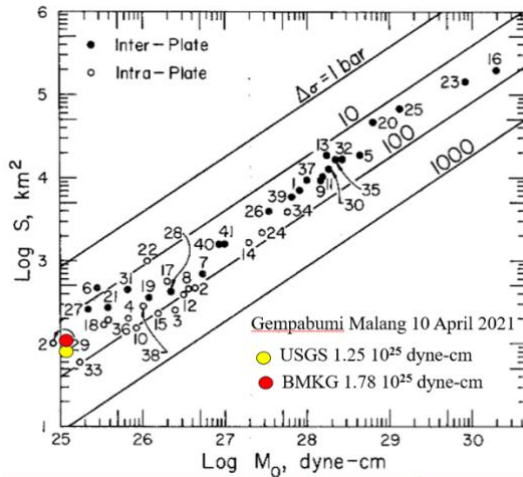


Gambar 3. Berdasarkan grafik hubungan L dan Mw gempa bumi Malang 10 April 2021 masih dalam interval digambarkan diatas dan relatif lebih dekat dengan gempa bumi Parkfield Borah Peak dengan nilai periode ulang $T \leq 70$ tahun. Jika merujuk Gempabumi Malang tahun 1972, maka $T = 48$ tahun dan jika merujuk pada gempa bumi Malang tahun 1967 maka $T = 54$ tahun. Kedua nilai T tersebut masih lebih kecil dari 70 tahun. (Sumber grafik: Kanamori and Anderson, 1975).

5.2 Stress drop Statis

Untuk menghitung besaran $\Delta\sigma$ dilakukan dengan memasukan nilai nilai M_0 , L dan W pada rumusan untuk tipe patahan geser (*strike slip*).

Berdasarkan rumusan tersebut didapat nilai $\Delta\sigma = 10.47-10.82$ bars untuk gempabumi tanggal 10 April 2021 dan tanggal 4 Nopember 1972. Gambar 4 menjelaskan hubungan antara luas bidang patahan (S), $\Delta\sigma$ dan Log Mo untuk beberapa gempabumi intraplate and interplate.



Gambar 4. Hubungan S (luasan), $\Delta\sigma$ dan Log Mo, gempabumi Malang 10 April 2021 masih konsisten dengan data gempa pada grafik diatas. $\Delta\sigma=10.47-10.82$ bars masih dalam interval 10-100 bars pada grafik diatas walaupun nilai S. Cara lain untuk mengestimasi luasan bidang patahan S untuk gempabumi di laut adalah dengan menganalisis distribusi *aftershocks* nya dalam jumlah data yang memadai. (Sumber grafik: Kanamori and Anderson, 1975).

5.3 Strain rate

Secara umum *strain rate* pada tulisan ini merupakan perubahan atau deformasi suatu material (batuan) terhadap waktu. Dengan menggunakan waktu perulangan gempabumi Malang dan dengan melalui beberapa pendekatan dihitung estimasi nilai *strain rate* untuk zona segmen patahan kedua sumber gempabumi tersebut. Jika periode ulang gempabumi Malang tanggal 10 April 2021 Mw 6.0 (h 71 km) dianggap 48 tahun (48 tahun 137 hari), maka nilai *strain rate* pada studi awal didapat nilai $0.917 - 0.948 \times 10^{-14}/s$. Periode ulang gempabumi Malang 10 April 2021 ini merujuk gempabumi pada tanggal 4 Nopember 1972 Mw 6,0 dan h 70 km terjadi pada zona segmen kerak yang sama.

Berdasarkan gambar 3 yang menyatakan hubungan L dan Mw, gempabumi Malang yang diasumsikan mempunyai periode ulang 48 tahun masih konsisten dengan grafik tersebut. Gempabumi Malang tanggal 10 April 2021 Mw 6.0 termasuk gempabumi dengan periode ulang T

≤ 70 tahun. Selanjutnya hasil analisis *stress drop* statis dengan metode yang di terangkan diatas di dapatkan nilai *stress drop* statis 10.47-10.82 bars. Hasil ini setelah di plot pada gambar 4, nilai *stress drop* statis gempabumi Malang terletak pada garis –garis regresi namun nilai *stress drop* statisnya masih terlalu kecil dibandingkan dengan nilai-nilai *stress drop* statis dari beberapa gempabumi *intra plate* dan *interplate* yang dibuat oleh Kanamori dan Allen (1975). Dan jika gempabumi Malang 2021 (Mw 6.0-6.1) masih lebih kecil dibandingkan dengan gempabumi Pagai-Mentawai 2010 (Mw 7,8) (Murjaya, dkk; 2012). Untuk nilai estimasi *strain rate* pada zona di sekitar segmen patahan kedua sumber gempabumi yang disebutkan diatas nilainya berkisar antara $0.917 - 0.948 \times 10^{-14}/s$.

Selanjutnya untuk mengevaluasi nilai *strain rate* yang dihasilkan pada studi awal ini adalah membandingkan nilai *strain rate* di beberapa wilayah lain yang dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Nilai *strain rate* yang di dapat oleh Gerbault (2000) untuk wilayah kerak lautan di Indian Ocean with order about $10^{-16}/s$. Finzi (2004) menyatakan hasil penelitiannya di zona batas lempeng tektonik India bagian barat dan Timur mendapatkan nilai *strain rate* dengan orde $10^{-14}/s$. Murjaya, dkk (2011) mendapatkan nilai *strain rate* di Sumatra untuk kedalam lempeng antara 61 km-150 km berorder $10^{-17}/s-10^{-14}/s$ yang bergantung pada panjang *buckling* dari kerak yang menjam. Nilai *strain rate* untuk sesar Palu berdasarkan kejadian gempabumi Palu tahun 1968 (Mw 7.5) dan gempa tahun 2018 (Mw 7.5) di zona sumber gempabumi yang sama (hampir) dihasilkan nilai sekitar $2.08 \times 10^{-14}/s - 2.2 \times 10^{-14}/s$ (Murjaya, dkk, 2020. Masih proses di sebuah jurnal). Eksperimen yang dilakukan oleh Nestola, dkk (2014) menyatakan bahwa *strain rate* bergantung pada *stress* geser (*shear stress*) dan viskositas. Mereka mendapatkan nilai *strain rate* secara umum berkisar $5.65 \times 10^{-15}/s$ and $5.65 \times 10^{-14}/s$, untuk kecepatan geser antara 2 mm/tahun dan 20 mm/tahun.

6. Kesimpulan

Mengacu pada kejadian gempabumi Malang tanggal 10 April 2021 dan tanggal 4 Nopember 1972, dihasilkan estimasi *strain rate* pada studi awal ini berkisar $0.917 - 0.948 \times 10^{-14}/s$. Nilai ini diperoleh dengan parameter awal gempabumi yang dipublikasikan BMKG dan USGS sebagai inputan. Jika dibandingkan dengan beberapa nilai *strain rate* yang dihasilkan di beberapa wilayah lainnya, hasil *strain rate* untuk zona sumber gempabumi Malang dianggap masih cukup

relevan. Jika dibanding dengan nilai-nilai *strain rate* di dibandingkan dengan nilai *strain rate* di wilayah Palu akibat gempa bumi dangkal Mw 7.5. masih sesuai. Jika dibandingkan dengan nilai *strain rate* wilayah Sumatra untuk kedalaman menengah, hasil studi awal nilai *strain rate* di wilayah zona gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 juga masih cukup relevan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BMKG yang memberikan informasi parameter dasar gempa bumi Malang yang terjadi pada tanggal 10 April 2021 sehingga dapat dibuat tulisan studi awal terkait *strain rate* di zona sumber gempa bumi tersebut.

Reference

1. Agustin Udias, Raul Madariaga, Elisa Buforn. (2014). Source Mechanism of Earthquake, Theory and Practise. Cambridge University Press.
2. Ben-Menahem, A., and Singh, S. J. (1981). Seismic waves and sources. New York: Springer.
3. BMKG (2020). Katalog Gempabumi Merusak Tahun 1821-2019. Jakarta.
4. Bock, Y et al. (2000). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. Journal Geophysical Research, vol.108, No.B8,2367.
5. Claudio Vita-Finzi. (2004). Buckle-controlled seismogenic faulting in peninsular India. Article in Press. 0277-3791-see front matter @2004 Published by Elsevier Ltd.
6. Debski, W. (2018). Dynamic Stress Drop for Selected Seismic Events at Rudna Copper Mine, Poland. Pure Appl. Geophys. 175 (2018),4165–4181. The Author(s) <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1926-6>.
7. Gerbault, M (2000). At What Stress level is the Indian Ocean lithosphere buckling?. Earth and Planetary Science Letters, 178 (2000) 165-181. Elsevier.
8. Hamilton, W. (1979). Tectonic of the Indonesian Region. United States Government Printing Office, Washington, 1979.
9. Kanamori, H and Anderson, L.D; 1975. Theoretical Basis of some Empirical Relations in Seismology. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.65, No.5, pp. 1073-1095. October 1975.
10. Murjaya, J. (2011). The Tectonic Energy Zoning for subduction zone based on Buckling construction (Case Study: Sumatra island). Gajah Mada University. Centre of Java, Indonesia.
11. Murjaya, J; Harjadi, P; Hendrajaya, L; Kirbani, S.B; Pramumijoyo, S. (2012). Estimation of Earthquake Recurrence Time using Static Stress Drop and Strain rate values (Case Study: Mentawai earthquake Oct 25, 2010). CTBTO Workshop. Paraguay, 2012.
12. Murjaya, J., Karnawati, D., Supriyanto, Rohadi, A. (2020). Analysis of Stress Drop and Strain Rate Using Elapse Time of Palu Earthquakes (Mw 7.4) September 2018 and August 1968. Proses di Editor Jurnal.
13. Nestola, Y. et al. (2014). Strain rate- dependent lithosphere rifting and necking architectures in analog experiments. <https://doi.org/10.1002/2014JB011623>.
14. USGS.(2021). <https://www.usgs.gov/latest-earthquakes>.
15. Wells, D. L. and Coppersmith (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002, August 1994.