

STUDI PENDAHULUAN PENENTUAN STRAIN RATE KERAK BUMI SESAR KALI OPAK BERDASARKAN GEMPABUMI YOGYAKARTA TAHUN 2006 DAN 1867 (STUDI KASUS: GEMPABUMI YOGYAKARTA 27 MEI 2006 DAN 10 JUNI 1867)

Jaya Murjaya^{1,*}

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Indonesia

*Email: murjaya1@gmail.com

ABSTRAK

Gempabumi Yogyakarta yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 mempunyai magnitudo bodi(mb) 5.9 atau momen magnitudo (Mw) 6.3, kedalaman sumber (h) 12.5 km, dan lokasi sumber gempabumi diperkirakan disekitar sesar Kali Opak. Gempabumi tahun 2006 ini diduga sebagai perulangan gempabumi merusak Kota Yogyakarta tanggal 10 Juni 1867 yang diperkirakan juga akibat aktivitas sesar Kali Opak. Dengan anggapan tersebut maka rentang waktu interseismic kedua gempabumi tersebut 139 tahun dan mempunyai dampak kerusakannya hampir sama. Tujuan studi pendahuluan ini untuk menghitung atau mengestimasi nilai strain rate dengan menggunakan data parameter kedua gempabumi diatas. Mengacu pada waktu interseismic 139 tahun dan nilai slip rate sesar Kali Opak 5 mm/tahun serta menggunakan scaling law antara parameter gempabumi maka nilai strain rate kerak bumi di zona sesar Kali Opak Yogyakarta dan sekitarnya diperkirakan berkisar antara 0.28 - 0.3 x 10⁻¹⁴/s dan magnitudogempabumi sesar Opak Yogyakarta tahun 1867 diperkirakan antara 6.4 sampai 6.6.

Kata kunci: *stress drop, strain rate, momen seismic, inter-seismik*

ABSTRACT

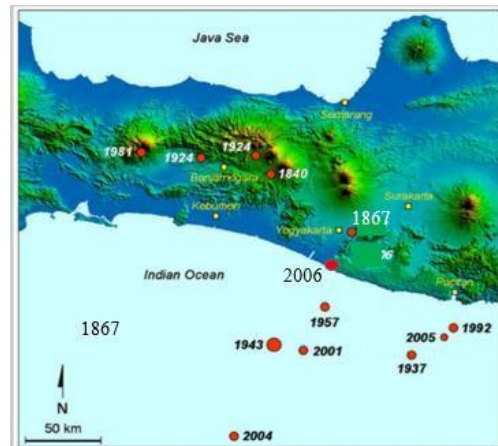
The Yogyakarta earthquake (mb 5.9–Mw 6.3) which occurred May 27, 2006 was estimated as the repetition of the Yogyakarta earthquake of June 10, 1867, and both earthquakes has an identical source area in Kali Opak fault. By assumption that the both earthquakes has an inter-seismic time about of 139 years and it has almost an identical destructive impact. The purpose of this paper to calculate of the strain rate values by using both earthquakes data. To refer of the inter-seismic time of about 139 years, Kali Opak fault slip rate of about 5 mm/y and using the scaling law relation of the earthquake parameter, the crust strain rate of Kali Opak fault and its vicinity, and magnitude estimation of 1867 earthquake is about of 0.28 - 0.3 x 10⁻¹⁴/s and Mw 6.4 until 6.6 respectively.

Keywords: *stress drop, strain rate, momen seismic, inter-seismik*

1. Latar Belakang

Untuk menggambarkan efek dari pelepasan *stress dalam* seismologi menggunakan 3 (tiga) parameter dasar yaitu *stress drop* statis, *transfer stress Coulomb* dan *stress drop* dinamis [1], [2]. Untuk mengestimasi besaran *strain rate* dari kerak bumi zona sesar Kali Opak Yogyakarta didasarkan pada kejadian gempa bumi Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006 dan gempa bumi 10 Juni 1867. Pada studi awal ini digunakan empiris dan hubungan *scaling law* yang biasa digunakan dalam analisis gempa bumi. Berdasarkan sejarah kegempaan di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya, kedua gempa bumi tersebut mempunyai kerusakan yang hampir sama di kota Yogyakarta dan sekitarnya. Berdasarkan data kerusakan gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 (Mw 6.3) mempunyai Intensitas maksimum antara VII-VIII MMI (Modified Mercalli Intensity). Sedangkan dampak akibat gempa bumi Yogyakarta tahun 1867 disebutkan pada Babad Paku Alaman karya GKRA Adipati atau Siti Jaleka menyebutkan bahwa gempa bumi menyebabkan tanah berjungkat bagai diayun-ayun, tanah bergoyang bagai hendak tercabut, ombak laut pun menjadi besar kocak-kocak hingga air dan ikannya terangkat ke daratan. Akibat gempa bumi ini Kotagede dan makam Imogiri rusak parah, pendopo Paku Alaman roboh, beberapa bagian Benteng Keraton Yogyakarta runtuh, Tamansari retak-retak, Kediaman Residen Belanda (Gedung Agung) turut ambruk, Tugu roboh dan diperkirakan 5 orang meninggal dunia [3]. Berdasarkan catatan tsunami di Indonesia, bahwa benar gempa bumi tahun 1867 menimbulkan tsunami [4]. Dengan demikian sesuai apa yang di sebutkan pada babad Paku Alaman tentang terjadinya tsunami akibat gempa bumi tahun 1867 tersebut. Namun Husein. S, dkk (2007) [5] yang mengacu

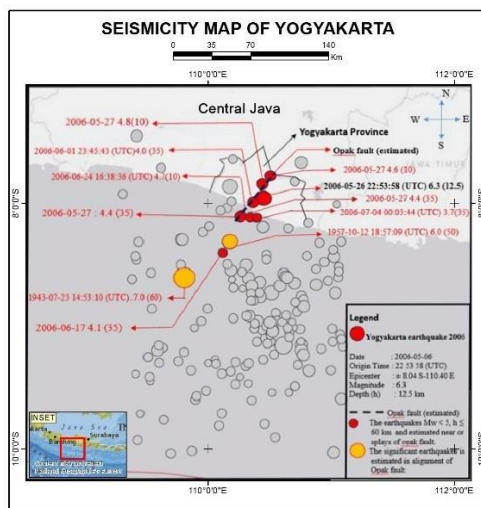
Newcomb dan McCann (1987) memetakan sumber gempa bumi 1867 terletak di darat masih dalam sesar (atau kelurusan) Sungai Opak yang terlihat pada Gambar 1. Kekuatan atau magnitudo gempa bumi tidak diketahui secara pasti mengingat alat ukur gempa bumi pada saat itu belum ditemukan. Namun demikian diperkirakan dampak kerusakan mempunyai intensitas gempa bumi antara VIII - IX MMI [6]. Jika merujuk pada 3 (tiga) sumber pustaka diatas semua valid, asumsi penulis bahwa tsunami dipicu oleh longsoran bahwa laut sekitar pantai atau longsoran tebing akibat getaran gempa bumi tahun 1867 yang epicenternya di darat.



Gambar 1. Lokasi episenter gempa bumi tahun 1867 di darat lebih ke arah utara dari episenter gempa bumi tahun 2006. Intensitas diperkirakan > VIII MMI. Gambar modifikasi dari [5].

Dengan memperhatikan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh kedua gempa bumi diatas, secara kuantitas jumlah bangunan yang rusak dan korban jiwa lebih banyak diakibatkan oleh gempa bumi yang terjadi tahun 2006. Namun yang perlu dipertimbangkan dalam hal kerusakan adalah kepadatan penduduk pada masa tahun 1867 belum padat seperti tahun 2006 tetapi beberapa bangunan monumental dengan

konstruksi kuat rusak akibat gempabumi tahun 1867. Oleh karena itu patut di duga bahwa kekuatan gempabumi tahun 1867 sedikit lebih besar dibandingkan kekuatan gempabumi tahun 2006 (Mw 6.3). Untuk penyederhaan analisis pada studi awal ini, karakteristik atau ada beberapa faktor sumber gempabumi lainnya diabaikan. Gambar 2 merupakan peta seismisitas kegempaan di wilayah patahan aktif Kali Opak Yogyakarta dan sekitarnya. Melihat sebaran gempabumi pada gambar 2, terlihat bahwa sebaran gempabumi susulan sesaat setelah gempabumi utama Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006 dengan mb 5.9 (Mw 6.3) mempunyai sebaran terkonsentrasi utamanya di zona selatan sesar Kali Opak[7].



Gambar 2. Seismisitas gempabumi signifikan di Provinsi Yogyakarta dan sekitarnya sejak tahun 1900 sampai tahun 2019. Gempabumi 27 Mei 2006 Mw 6.3 dengan kedalaman (h) 12.5 km (huruf warna biru). Garis putus-putus hitam perkiraan sesar Kali Opak, Yogyakarta.

Ada beberapa (tidak banyak) gempabumi susulan terjadi hingga daerah Klaten dan rekahan permukaan tanah hingga daerah Gantiwarno (Utara-Barat Laut) Kota Klaten yang kemungkinan sebagaiefek kejut dari gempabumi utamanya

[8]. Aktifnya sesar Kali Opak ini dampak dari dorongan lempeng Australia yang menyusup ke bawah lempeng Eurasia mengaktifkan sistim patahan di daratan Jawa termasuk patahan Kali Opak Yogyakarta sehingga memicu terjadinya gempabumi dangkal. Oleh karena itu perlu di waspadai dan di lakukan kajian yang lebih detil dari berbagai aspek kegempaan terkait potensi aktivitas sesar atau periode ulang gempabumi dimasa mendatang mengingat jalur sesar Kali Opak “melalui” atau relatif dekat dengan pemukiman padat di wilayah Yogyakarta. Salah satu parameter yang cukup penting untuk kajian periode ulang gempabumi adalah besaran nilai *strain rate* dari zona sesar Kali Opak dan sekitarnya.

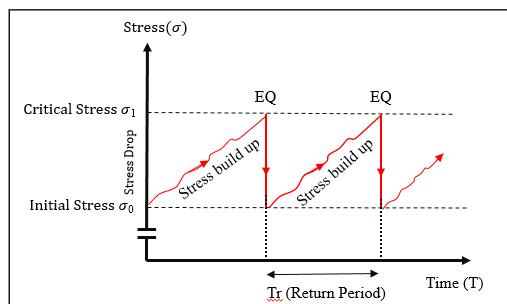
2. Tatanan Tektonik dan Seismisitas.

Tatanan tektonik di zona selatan Yogyakarta (Jawa Tengah) merupakan salah satu segmen dari zona subduksi selatan Jawa. Secara umum dijelaskan bahwa pertemuan lempeng Australia dengan lempeng Eurasia di sepanjang lepas pantai selatan Jawa dan Nusa Tenggara serta menerus dengan menekuk sampai ke laut Banda [9]. Batas pertemuan kedua lempeng tektonik ini ditandai dengan adanya palung di lepas pantai Selatan Jawa dan Nusa Tenggara. Bock, dkk (2000) [10] menyatakan bahwa lempeng Australia bergerak relatif ke bawah lempeng Eurasia sekitar 5-7 cm/tahun. Konsekuensi adanya pertemuan lempeng tektonik diselatan Jawa (Tengah-Yogyakarta) ini menjadikan zona tersebut menjadi sumber terjadinya gempabumi tektonik yang signifikan seperti terlihat pada gambar 2 di atas. Konsekuensi lainnya gempabumi dari zona subduksi dapat memicu tsunami dan atau adanya efek sekunder dari gempabumi sesar aktif Kali Opak

yang memicu longsor bawah laut dan tebing juga berpotensi memicu tsunami (kecil-moderat) di wilayah selatan Yogyakarta. Gaya lateral lempeng Australia yang menyusup ke bawah lempeng Eurasia memicu sistem patahan di daratan Jawa termasuk patahan Kali Opak Yogyakarta menjadi sangat aktif sebagai pembangkit gempa bumi dangkal dan perlu di waspadai aktivitasnya dimasa mendatang.

3. Teori Periode Ulang Gempabumi

Gambar 3 merupakan ilustrasi hubungan periode ulang 2 (dua) kejadian gempa bumi dalam interval waktu *interseismic* dengan “stress yang lepas” (*stress drop* statis). Waktu *interseismic* antara dua kejadian gempa bumi pada segmen patahan dan kekuatan yang sama (hampir sama) dapat dianggap sebagai waktu perulangan gempa bumi di segmen patahan tersebut.



Gambar 3. Ilustrasi hubungan *stress drop* dan periode ulang gempa bumi (T_r). Interval waktu antara dua kejadian gempa bumi ini disebut sebagai periode ulang gempa bumi.

Kejadian kedua gempa bumi di zona yang sama ini dapat di jadikan sebagai dasar studi pendahuluan untuk menghitung nilai *strain rate* kerak bumi pada segmen patahan Kali Opak dan sekitarnya.

Periode ulang sebuah gempa bumi dalam suatu segmen patahan di kontrol oleh bebantektonik (*tectonic*

load) yang menyebabkan timbulnya geseran rata-rata (*slip rate*) dalam waktu yang lama, akumulasi *stress* yang bekerja secara kontinu dan sebagainya. Disamping itu juga tergantung pada sifat batuan dan mekanisme pelepasan energi pada bidang patahan segmen tersebut [11][12]. Para ahli menyatakan bahwa pada umumnya periode ulang gempa bumi tektonik lebih lama jika mempunyai *stress drop* statis yang lebih besar. Sebaliknya periode ulang gempa bumi 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. Selain model *stress drop* statis pada proses pelepasan stress terdapat model *stress drop* dinamis (*Dynamic Stress Drop*), namun pada tulisan ini untuk memudahkan hanya ditinjau dari model *stress drop* statis.

4. Data dan Metode

4.1. Data

Pada studi pendahuluan estimasi *strain rate* kerak bumi digunakan data sumber gempa bumi sesar Kali Opak tanggal 10 Juni 1867 dan 27 Mei 2006 [13] sebagai dasar analisis perhitungan. Selain itu digunakan data *slip rate* patahan Kali Opak 5 mm/y [14] dan data-data kerusakan atau intensitas akibat gempa bumi 2006 (VII-VIII MMI)[8] dan data intensitas gempa bumi 1867 (VIII-IX MMI) [6][13].

4.2. Panjang dan Luas Patahan

Untuk menghitung panjang patahan akibat gempa bumi tahun 2006 (M_w 6.3) digunakan hubungan empiris [15] dengan persamaan;

$$L = 10^{(a+b M_w)} \quad (1)$$

$$A = 10^{(c+d M_w)} \quad (2)$$

dimana nilai-nilai konstantannya;
 $a = -3.55$; $b = 0.74$; $c = -3.42$ dan $d = 0.9$ untuk patahan geser datar (*strike slip*).

Sebagai pembandingnya digunakan sebaran gempabumi susulan (*aftershocks*) dari gempabumi Yogyakarta Mw 6,3 seperti terlihat pada gambar.4[8]. Sebaran gempabumi susulannyasejauh beberapa kilometer terkonsentrasi bagian selatan zona sesar Kali Opak yang kemungkinan di sekitar zona gempabumi utama.



Gambar 4: Distribusi gempabumi susulan (*aftershocks*) sesaat setelah gempabumi utama 27 Mei 2006 Mw 6.3 ($h = 12,5$) [8].

4.3. Momen Seismik

Untuk menghitung momen seismik statis (M_0) digunakan empiris [16];

$$M_0 = \mu S \bar{D} \quad (3)$$

Dimana M_0 , rigiditas (μ), luas patahan (S) dan *slip* (*offset* \bar{D}) dalam satuan MKS (SI).

4.4. Stress drop Statis

Pada saat terjadi gempabumi tektonik dilepaskan sebagian dari sejumlah energi tektonik hasil akumulasi *stress* selama periode interseismik dimana saat itu fase kritis dari suatu batuan

sudah terlampaui. Pada saat itu pula secara tiba-tiba terjadi penurunan *stress* dari keadaan kondisi maksimum (σ_1) ke keadaan *stress* kondisi awal (σ_0), perubahan penurunan keadaan ini sering disebut sebagai *stress drop* statis ($\Delta \sigma$) (gambar.3). Hubungan antara *slip* deformasi (\bar{D}) dan $\Delta \sigma$ secara umum dinyatakan dengan hukum Hooke [17].

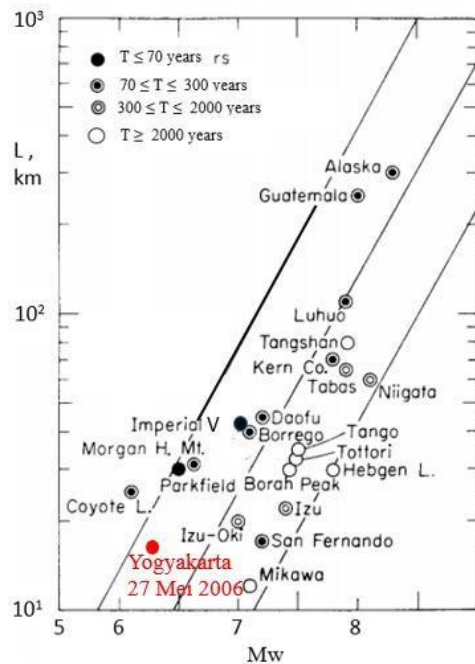
$$\Delta \sigma = c \mu \frac{\bar{D}}{L} \quad (4)$$

Dimana μ = rigiditas, $\frac{\bar{D}}{L}$ = perubahan strain, C = bentuk faktor tidak berdimensi dan untuk patahan geser $\bar{L} = w$ and $C = 2/n$ (Knoff, 1964).

5. Hasil dan Diskusi

5.1. Estimasi Panjang patahan

Jika gempabumi Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006 mempunyai Mw 6.3 dan $h = 12,5$ km, maka didapatkan panjang (L) sekitar 12-13km. Gambar 5 sebagai salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan L dan M_w dengan membandingkan terhadap beberapa gempabumi di dunia [16]. Berdasarkan gambar 5 hubungan L dan M_w untuk gempabumi Yogyakarta tahun 2006 terletak pada kelompok yang mempunyai periode ulang (T) antara 70 sampai 300 tahun.



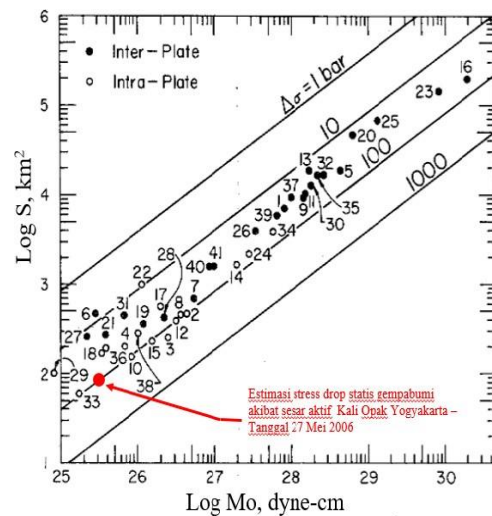
Gambar 5. Grafik hubungan panjang patahan (L) dan momen magnitudo (M_w) gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 masih dalam interval yang digambarkan diatas dan mempunyai kemiringan hampir segaris dengan gempa bumi dengan nilai periode ulang $70 < T \leq 300$ tahun [16].

Gempabumi Yogyakarta tahun 2006 mempunyai kemiringan hampir "segaris" dalam kelompok gempa bumi Morgan H. Mt, Borrego, Daofu, Luhuo, Guatemala dan Alaska. Dengan demikian bahwa hubungan empiris M_w 6.3 dan L antara 12-13 km, masih sesuai dengan grafik tersebut.

5.2. Estimasi Stress Drop Statis

Berdasarkan rumusan dan pengembangan persamaan 4, didapat nilai $\Delta\sigma = 7.35$ bars untuk gempa bumi tanggal 27 Mei 2006 (M_w 6.3) dan M_o $2,818 \times 10^{25}$ dyne-cm. Gambar.6 menjelaskan hubungan antara luas bidang patahan $\text{Log } S$ dan $\text{Log } M_o$ untuk beberapa gempa bumi. Berdasarkan gambar 6 hubungan $\text{Log } M_o$ dan $\text{Log } S$, gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 terletak pada kelompok $\Delta\sigma$ antara 10-100 bars. Namun nilai $\Delta\sigma$ gempa bumi

Yogyakarta tahun 2006 sedikit lebih kecil yaitu hanya sekitar 7.35 bars.



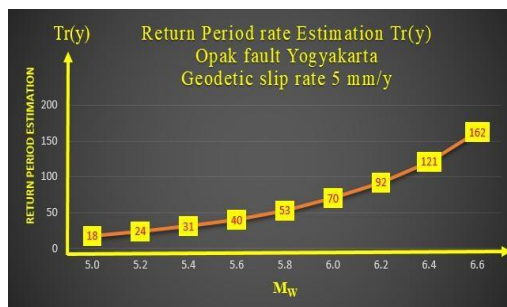
Gambar 6. Hubungan $\text{Log } S$ (logaritma luasan), $\Delta\sigma$ dan $\text{Log } M_o$ (logaritma seismik momen), gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 masih konsisten dengan data gempa bumi pada grafik diatas walaupun mempunyai $\Delta\sigma = 7.35-7.80$ bars (< 10 bars)[16].

Jika gambar 6 sebagai referensi yang valid, maka gempa bumi Yogyakarta dengan kedalaman 12.5 km termasuk kelompok "gempabumi kerak benua (*continental crustal*)". Kemungkinan lainnya bahwa sifat material/ batuan di zona sesar Kali Opak sebagai sumber gempa bumi Yogyakarta dan sekitarnya relatif lebih bersifat *brittle* (rapuh) dalam menyimpan akumulasi energi *strain*. Oleh karena itu sangat wajar nilai $\Delta\sigma$ gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 lebih kecil dari nilai 10-100 bars.

5.3. Estimasi Magnitudo gempa bumi 1867

Berdasarkan data kegempaan di wilayah Yogyakarta terjadi gempa bumi merusak tanggal 10 Juni 1867 [3] dan diperkirakan sumber gempa bumi berasal dari patahan (kelurusan) Kali Opak Yogyakarta [5]. Murjaya, dkk (2021) [12] membuat hubungan estimasi periode ulang

gempabumi dan gempabumi maksimum yang dapat ditimbulkan oleh sesar aktif dengan mempertimbangkan gerakan masa lalu dan sejarah kegempaan di wilayah tersebut (*Maximum Credible Earthquake*). Dengan menggunakan *kinematic model* dan data *geodetic slip rate* patahan Kali Opak 5 mm/tahun [14] di hasilkan nilai T_r seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Estimasi periode ulang gempabumi patahan Kali Opak Yogyakarta berdasarkan *kinematic model* dengan *geodetic slip rate* 5 mm/tahun dan $MCE \leq 6.6$ [12].

Selanjutnya jika mengacu pada hasil analisis hubungan antara estimasi T_r dan MCE pada gambar 7 tersebut, dan waktu *interseismic* kedua gempabumi dianggap 139 tahun, maka MCE gempabumi tahun 1867 kemungkinan mempunyai magnitudo antara 6.4 sampai 6.6.

Merujuk pada laporan gempabumi merusak bahwa intensitas maksimum akibat gempabumi 1867 di Yogyakarta dan sekitarnya yang diperkirakan mempunyai intensitas antara VIII-IX MMI [6]. Selanjutnya dengan mengacu kerusakan akibat gempabumi Yogyakarta tahun 2006 dengan M_w 6.3, intensitas maksimum antara VII-VIII MMI. Dengan melihat dampak kerusakan dan menganggap kedua gempabumi yang diakibatkan oleh sumber dan mekanisme yang sama serta kondisi infrastruktur dianggap seragam di wilayah Yogyakarta maka berdasarkan gambar 7 dimungkinkan

bahwa kekuatan gempabumi tahun 1867 sedikit lebih besar dibandingkan kekuatan gempabumi 2006 seperti diterangkan diatas.

5.4. Estimasi *Strain rate*

Strain rate merupakan *strain* suatu material (batuan) terhadap waktu. Dengan menggunakan anggapan waktu perulangan atau *interseismic* gempabumi Yogyakarta tahun 1867 dan tahun 2006, dan melalui hubungan *scaling law* yang lazim digunakan pada analisis parameter kegempaan serta pendekatan fisika dapat dihitung atau diestimasi nilai *strain rate* untuk zona segmen patahan Kali Opak dan sekitarnya. Jika waktu *interseismic* 139 tahun dianggap sebagai periode ulang gempabumi sesar Kali Opak Yogyakarta dan digunakan nilai Modulus Young $6 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$, maka pada studi pendahuluan ini di estimasi nilai *strain rate* berkisar $0.28 - 0.3 \times 10^{-14} / \text{s}$.

Untuk mengevaluasi nilai *strain rate* yang dihasilkan pada studi pendahuluan ini adalah membandingkan nilai *strain rate* hasil eksperimen dan *strain rate* di beberapa wilayah lain yang dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Eksperimen yang dilakukan oleh Nestola, dkk [18], dinyatakan bahwa *strain rate* bergantung pada *stress geser* (*shear stress*) dan viskositas. Mereka mendapatkan nilai *strain rate* secara umum berkisar $5.65 \times 10^{-15} / \text{s}$ dan $5.65 \times 10^{-14} / \text{s}$, untuk kecepatan geser antara 2 mm/tahun dan 20 mm/tahun. Melihat dari hasil eksperimen [18] diatas menyatakan nilai *strain rate* makin besar jika *slip rate* nya makin besar. Jika mengacu pada hasil eksperimen tersebut dan hanya menggunakan faktor-faktor yang disebut diatas, maka nilai *strain rate* berkisar antara $0.28 - 0.3 \times 10^{-14} / \text{s}$ pada studi awal inisiasi sesuai dengan hasil eksperimen tersebut.

Dengan mengacu besaran kecepatan geser sesar Kali Opak sekitar 5 mm/tahun [14] juga masih dalam interval 2 - 20 mm/tahun, maka nilai *strain rate* sesar Kali Opak 0.28 - 0.3 x 10⁻¹⁴/s lebih kecil dari nilai maksimum *strain rate* 5.65 x 10⁻¹⁴ /s[18] masih cukup memadai. Jika penulis membandingkan dengan nilai *strain rate* untuk sesar Palu sekitar 2.08- 2.2 x 10⁻¹⁴/s dengan laju geser 20-40 mm/y [14], nilai *strain rate* sesar Kali Opak masih lebih kecil dari nilai *strain rate* sesar Palu. Hal ini karena besar kecepatan geser sesar Kali Opak juga lebih kecil dibandingkan dengan nilai *slip rates* sesar Palu-Koro yang cukup besar sekitar 15-44 mm/tahun[14].

Selanjutnya penulis mengevaluasi dengan membandingkan terhadap hasil-hasil penelitian *strain rate* oleh beberapa peneliti lain diantaranya Finzi [19]. Walaupun tidak menampilkan nilai kecepatan gesernya tetapi dinyatakan bahwa hasil penelitiannya di zona batas lempeng tektonik India bagian Barat dan Timur mendapatkan nilai *strain rate* dengan orde 10⁻¹⁴/s[20]. Murjaya, dkk [11] pada Studi Pendahuluan Estimasi Strain Rate Kerak bumi sekitar sumber gempa bumi, Studi Kasus Gempabumi Malang Mw 6.0 tanggal 4 Nopember 1972 dan 10 April 2021 mendapatkan nilai *strain rate* berkisar 0.917 – 0.948 x 10⁻¹⁴/s. Walaupun mempunyai orde yang identik 10⁻¹⁴/s, gempa bumi sesar aktif Kali Opak Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006 tidak bisa dibandingkan secara langsung dengan nilai *strain rate* gempa bumi Malang tanggal 10 April 2021 karena kecepatan geser patahan zona sumber gempa bumi Malang tidak diketahui. Berdasarkan data global nilai *strain rate* untuk tipe geologi mempunyai nilai dengan orde 10⁻¹⁴/s (1cm/tahun) Gudmundsson. A [20].

6. Kesimpulan

Dengan mengacu waktu *interseismik* kejadian gempa bumi Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006 dan tanggal 10 Juni 1867 serta hubungan *scaling law* yang umum digunakan dalam menentukan beberapa parameter gempa bumi, pada studi pendahuluan ini dihasilkan nilai *strain rate* kerak bumi disekitar sesar Kali Opak Yogyakarta antara 0.28 - 0.3 x 10⁻¹⁴/s. Nilai ini masih konsisten atau relevan dengan nilai *strain rate* yang dihasilkan di beberapa wilayah lainnya dan data global nilai *strain rate* untuk tipe geologi maupun hasil eksperimen dengan memasukkan variabel *slip rate*. Selanjutnya mengacu pada estimasi periode ulang gempa bumi sesar aktif Kali Opak dengan *slip rate* 5 mm/tahun dan MCE 6.6 pada gambar 7, maka gempa bumi Yogyakarta 10 Juni 1867 dengan intensitas VIII - IX MMI diperkirakan mempunyai magnitudo berkisar antara 6.4-6.6

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BMKG Station Geofisika Yogyakarta dan Banjarnegara yang memberikan informasi dan data gempa bumi Yogyakarta yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 sehingga dapat dibuat tulisan ini. Tulisan ini merupakan studi awal untuk menghitung nilai *strain rate* kerak bumi di zona sumber gempa bumi sesar Kali Opak dan sekitarnya.

Daftar Pustaka

- [1] Ben-Menahem, A., and Singh, S.J. (1981). Seismic waves and sources. *New York: Springer*.
- [2] Udias, A., Madariaga, R., and Buforn, E. (2014). Source Mechanism of Earthquake, Theory and Practise. *Cambridge University Press*.

- [3] Putri, R.H. (2018). Babad Paku Alaman karya Gusti Kanjeng R. Ayu Adipati Paku Alam atau Siti Jaleka (Permaisuri Paku AlamVI)- Tentang Gempa Yogyakarta 1867, Dwi Cahyono Arkeolog dan Pengajar Sejarah pada Universitas Negeri Malang. *Dibahasa ulang oleh Risa Herdahita Putri. 13 Agustus 2018.* <https://historia.id/@risa.h/article/1>
- [4] Geoscience, FMIPA Universitas Indonesia. (2021). *Portal Tsunami. Universitas Indonesia. Depok, Jawa Barat.* <https://trc- ui.geosinyal.id>.
- [5] Husein, S., Pramumijoyo, S., Thant, M., Naing, T., and Murjaya, J. (2007). A Short Note on the Seismic History of Yogyakarta Prior to the May 27, 2006 Earthquake. *Geological Engineering Department, Faculty of Engineering. Gadjah Mada University, Indonesia.*
- [6] Badan Geologi.(2008). Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia. *Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Badan Geologi. Departemen energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung.*
- [7] USGS. (2020). The Latest Earthquakes. [https://www.usgs.gov Latest Earthquakes.](https://www.usgs.gov/Latest Earthquakes)
- [8] Tim Survey Gempabumi Yogyakarta. (2006). Laporan hasil survey Stasiun Geofisika Yogyakarta, 2006-tidak di publikasi. *Stasiun Geofisika Klas I Yogyakarta. Badan Meteorologi dan Geofisika.*
- [9] Hamilton, W. (1979). Tectonic of the Indonesian Region. *United States Government Printing Office, Washington, 1979.*
- [10] Bock, Y et al. (2000). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal Geophysical Research, vol.108, No.B8,2367.*
- [11] Murjaya, J, Daryono, Ahadi, S. (2021). Studi Pendahuluan Estimasi Strain Rate Kerakbumi sekitar sumber Gempabumi. Studi Kasus: Gempabumi Malang Mw 6.0 tanggal 4 Nopember 1972 dan 10 April 2021. *Web. BMKG, Jakarta, Indonesia.*
- [12] Murjaya, J., Pramumijoyo, S., Karnawati, D., Daryono, Meilano, I., Supendi, P., Ahadi, S., Gayatri, Imananta, R., Syukur, F., Solomo, D.S., Kresno, A. (2021). Earthquakes Risk Assessment of the Opak and Merapi-Merbabu active faults to support earthquakes mitigation program in Yogyakarta. Province and its vicinity. *International Conference on Geological Engineering and Geosciences. 16-18 March 2021. Yogyakarta.*
- [13] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2020). Katalog Gempabumi Indonesia 1900-2020. *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jakarta.*
- [14] Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman. Badan Penelitian dan Pengembangan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.*
- [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.
- [16] Kanamori, Hand 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.
- [17] Shibazaki, B. (2006). Scaling relations of Earthquakes. Lecture notes. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. *Building Research Institute. Japan*.
- [18] Nestola.Y. et al. (2014). Strain rate- dependent lithosphere rifting and necking architectures in analog experiments. *AGU Publications. Journal of Geophysical Research: Solid Earth* Homepage. <https://doi.org/10.1002/2014JB011623>.
- [19] Claudio Vita-Finzi. (2004). Buckle-controlled seismogenic faulting in peninsular India. *Article in Press*. 0277-3791-see front matter @2004 Published by Elsevier Ltd.
- [20] Gudmundsson. A. (2011). Rock Fracture in Geological Processes. *Cambridge University Press*.