

ANALISIS HIPSOMETRI DI ZONA SESAR SEMANGKO, LAMPUNG BARAT

HYPSONOMETRIC ANALYSIS IN THE SEMANGKO FAULT ZONE, WEST LAMPUNG

Hikmahdhan Gultaf^{1*}

¹Prodi Teknik Geologi, Institut Teknologi Sumatera; Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui,
Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan, 35365

Received: 2024, September 17th

Accepted: 2024, November 28th

Keywords:

Geomorphology;
Morphometry;
Hypsometry;
Semangko fault;
Tectonic.

Correspondent Email:

hikmahdhan.gultaf@gl.itera.ac.id

How to cite this article:

Gultaf, H. (2024). Analisis
Hipsometri di Zona Sesar
Semangko, Lampung Barat. *JGE*
(*Jurnal Geofisika Eksplorasi*),
10(03), 236-251.

Abstrak. Sesar Semangko merupakan salah satu segmen dari Sesar Sumatra yang terletak di Lampung Barat dengan panjang 65 km, membentang dari Teluk Semangko hingga Lembah Suoh. Sesar ini adalah sesar aktif, sebagaimana ditunjukkan oleh beberapa kejadian gempa dengan magnitudo $M_w < 6,5$. Selain kondisi litologi, keberadaan dan pergerakan Sesar Semangko memengaruhi kondisi geomorfologi di area penelitian. Seberapa tinggi tingkat keaktifan Zona Sesar Semangko mempengaruhi geomorfologi dapat diketahui melalui analisis morfometri. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tingkat aktivitas tektonik di Zona Sesar Semangko. Parameter geomorfometri yang digunakan adalah kurva hipsometrik (HC) dan integral hipsometrik (HI). Data yang digunakan dalam perhitungan HC dan HI adalah 266 SubDAS (Daerah Aliran Sungai) di Zona Sesar Semangko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata SubDAS berada pada tahap dewasa (*mature stage*) berdasarkan kurva hipsometrik. Sebanyak 196 SubDAS memiliki nilai HI antara 0,4 dan 0,5, yang menunjukkan aktivitas tektonik aktif, sedangkan 74 SubDAS memiliki nilai $HI \geq 0,5$. Adapun nilai rata-rata HI adalah 0,5. Hal ini mengindikasikan aktivitas tektonik yang lebih aktif. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa Zona Sesar Semangko berada dalam kondisi tektonik aktif hingga lebih aktif, menunjukkan adanya potensi risiko tektonik yang signifikan di wilayah tersebut.

Abstract. The Semangko Fault is a segment of the Sumatran Fault located in West Lampung, extending 65 km from Semangko Bay to the Suoh Valley. This fault is classified as active, as indicated by several earthquake events with magnitudes of $M_w < 6.5$. In addition to lithological conditions, the existence and movement of the Semangko Fault influence the geomorphological conditions in the study area. The degree of tectonic activity of the Semangko Fault zone and its impact on geomorphology can be assessed through geomorphometric analysis. This study aims to map the

© 2024 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi).
This article is an open-access article
distributed under the terms and conditions
of the Creative Commons Attribution (CC
BY NC)

tectonic activity level within the Semangko Fault zone. The geomorphometric parameters include the hypsometric curve (HC) and hypsometric integral (HI). Data for HC and HI calculations encompass 266 sub-watersheds (SubDAS) within the Semangko Fault zone. The results indicate that, on average, the sub-watersheds are at a mature stage based on the hypsometric curve. A total of 196 sub-watersheds have HI values between 0.4 and 0.5, indicating active tectonic activity, while 74 sub-watersheds have HI values ≥ 0.5 . The average HI value across the study area is 0.5, suggesting heightened tectonic activity. Based on these findings, it can be concluded that the Semangko Fault zone is in an active to highly active tectonic state, indicating a significant tectonic hazard potential in this region.

1. PENDAHULUAN

Provinsi Lampung terletak di ujung selatan Pulau Sumatera dan merupakan wilayah dengan karakteristik geologi yang kompleks, ditandai oleh teran-teran tua (berumur Mesozoikum dan Paleozoikum) yang berkolusi membentuk Sumatera bagian selatan (Barber, 2000; Barber dkk., 2005; Zahirovic dkk., 2014; Metcalfe, 2017; Advokaat dkk., 2018), serta dinamis akibat deformasi oleh subduksi serong ke arah N20°-25°E di barat Sumatera (McCaffrey, 1991). Dinamika tektonik di Sumatera bagian selatan terjadi sejak dimulainya subduksi di tepi barat daya lempeng mikro Sunda pada Zaman Kapur (Katili, 1975; Hamilton, 1979).

Secara regional, Lampung berada di selatan dari lempeng mikro Sunda (termasuk bagian Lempeng Eurasia) yang tersubduksi oleh Lempeng Indo-Australia (Barber dkk., 2005; Hillis dkk., 2008; Carton dkk., 2014; Jie & Jinchang, 2017). Jalur subduksi tersebut merupakan bagian dari jalur tektonik aktif (Irsyam dkk., 2017). Di sisi barat Sumatra terdapat Sesar Sumatra yang berperan dalam pembentukan Bukit Barisan serta memengaruhi aktivitas vulkanisme (Posavec dkk., 1973). Sesar Sumatra terbagi menjadi beberapa 19 segmen, salah satunya adalah Sesar Semangko (Sieh & Natawidjaja, 2000), yang terletak di bagian barat Provinsi Lampung dan melintasi tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Tanggamus, Kabupaten Pesisir Barat, serta Kabupaten Lampung Barat.

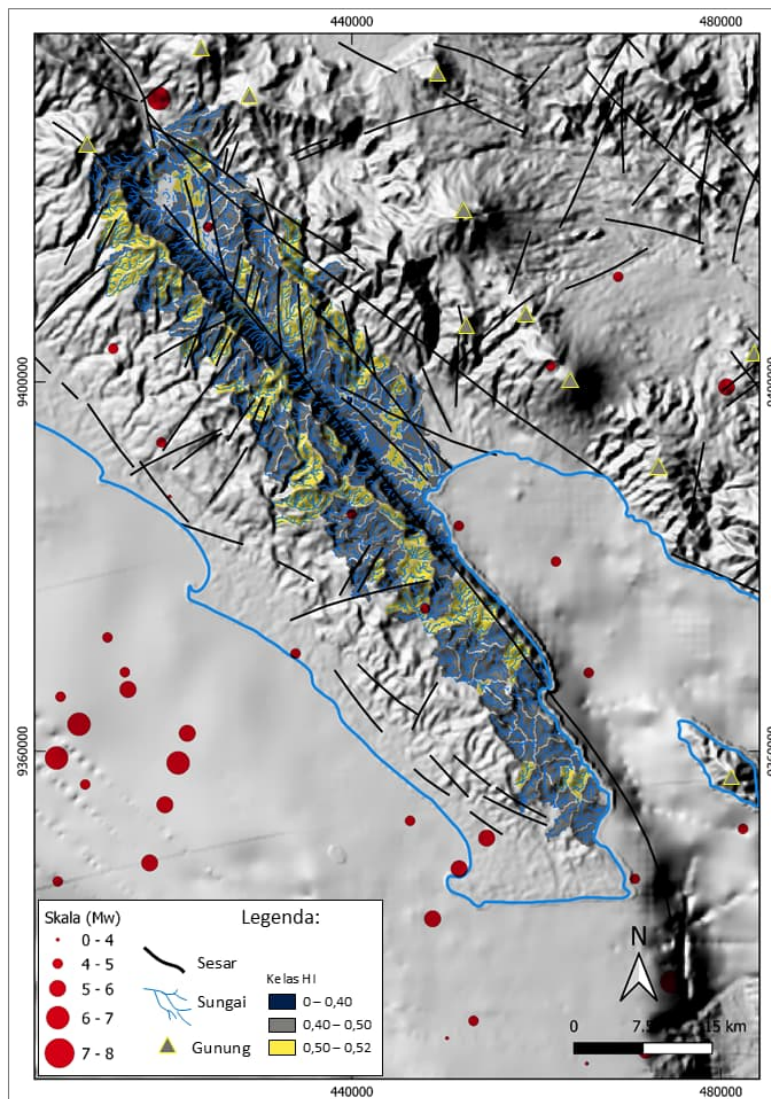
Zona Sesar Semangko memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan bencana geologi seperti gempa bumi, likuifaksi, dan tanah longsor. Beberapa gempa bumi yang terjadi di Zona Sesar Semangko umumnya berkekuatan momen magnitudo (M_w) $< 6,5$ (**Gambar 1**), sementara gempa bumi besar ($M_w > 6,5$) cenderung terjadi dalam rentang waktu 150–200 tahun (Ramdhan dkk., 2021). Gempa bumi besar di sekitar Zona Sesar Semangko meliputi gempa bumi Liwa yang terjadi pada Sesar Kumering (Aribowo, 2016; Aribowo dkk., 2017; Irsyam dkk., 2017; Alif dkk., 2022; Uzzahra, 2023) pada 24 Juni 1933 dengan magnitudo M_w 7,3 (Arifin dkk., 2014), serta gempa bumi pada 15 Februari 1994 dengan magnitudo M_w 6,8 (Widiwijayanti dkk., 1996). Hingga saat ini, Sesar Semangko belum tercatat menghasilkan gempa besar ($M_w > 6,5$), yang mungkin menunjukkan adanya akumulasi tegasan pada bidang kunciannya. Kunciannya ini diperkirakan berada pada kedalaman lebih dari 3 km (Alif dkk., 2020).

Sejauh ini belum ada penelitian analisis hipsometri di Zona Sesar Semangko (area penelitian). Penelitian geomorfometri yang pernah dilakukan oleh Gentana dkk. (2018) menggunakan lima parameter, berada di sebelah timur dari area penelitian yakni di Cekungan drainase Way Belu, di daerah Tanggamus dan Hendrawan dkk. (2023) di daerah Pesawaran.

Tingginya aktivitas seismik di Zona Sesar Semangko, sebagaimana ditunjukkan pada peta

seismisitas dengan interval kedalaman 0–33 km (**Gambar 1**) serta studi 254 gempa bumi dengan magnitudo M_L 0,9 – 4.6 di Teluk Semangko (Supendi dkk., 2022), dapat berdampak langsung pada masyarakat mengingat risiko gempa besar yang sewaktu-waktu dapat terjadi. Hal ini berpotensi menyebabkan kerusakan infrastruktur, kehilangan tempat tinggal, hingga gangguan sosial-ekonomi bahkan kematian. Oleh karena itu, analisis kondisi tektonik aktif sangat penting dilakukan untuk mengidentifikasi potensi bencana di masa depan serta sebagai langkah mitigasi.

Aktivitas tektonik ini dapat diidentifikasi melalui analisis geomorfometri, terutama dengan menggunakan parameter kurva hipsometrik (HC) dan integral hipsometrik (HI), yang dapat mencerminkan pola geomorfologi akibat proses tektonik. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kondisi tektonik aktif di Sesar Semangko melalui analisis parameter geomorfometri, yaitu kurva hipsometrik (HC) dan integral hipsometrik (HI).



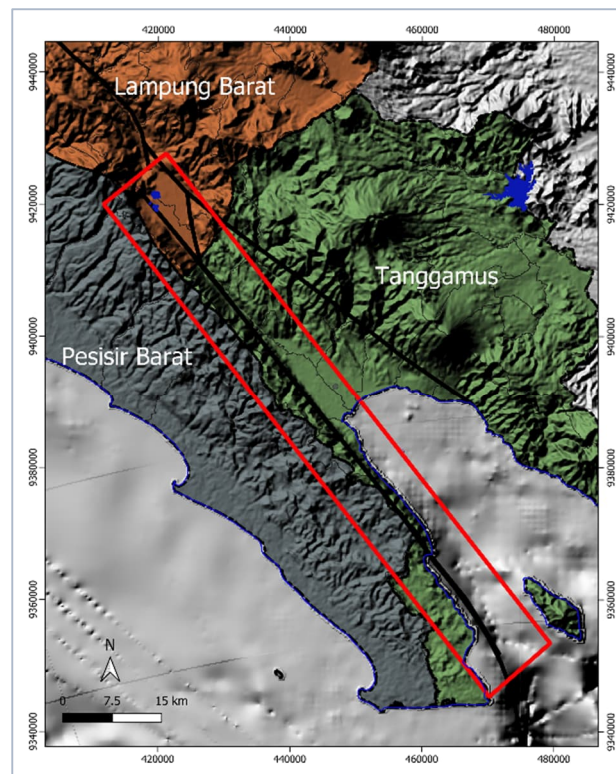
Gambar 1. Titik episentrum gempa bumi kedalaman 0-33 km di Zona Sesar Semangko dan sekitarnya. Sumber data dari katalog gempa bumi USGS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

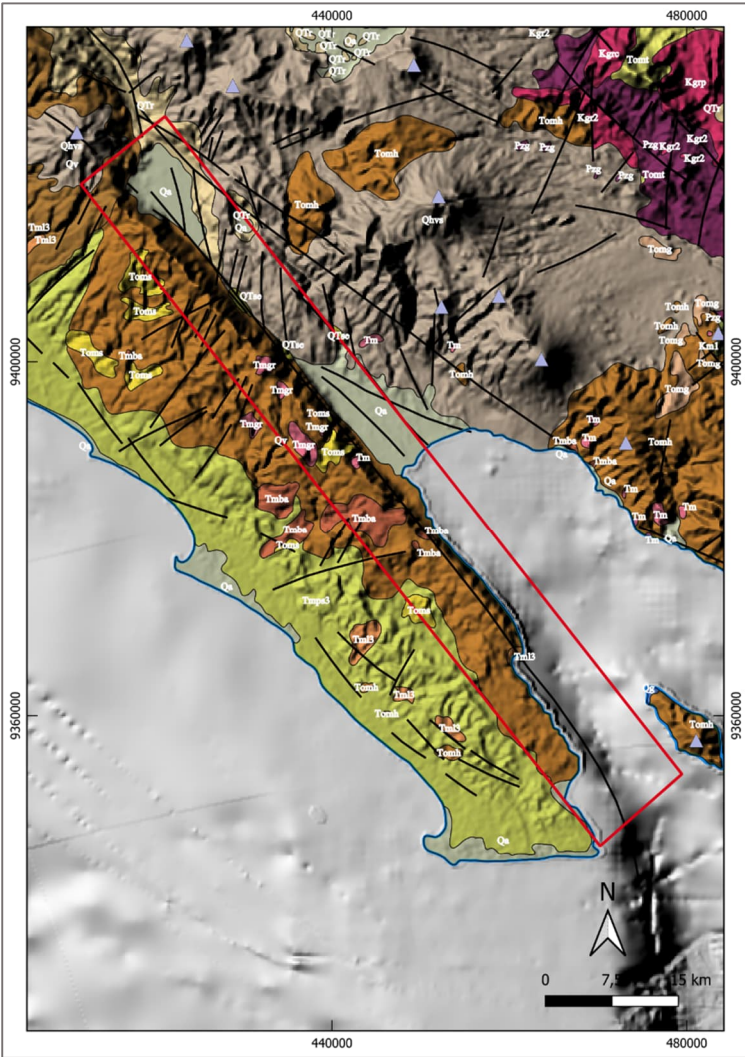
2.1. Regional Geologi

Area penelitian berada di Sesar Semangko meliputi Kab. Tanggamus, Kab. Pesisir Barat, Kab. Lampung Barat (**Gambar 2**). Menurut Amin dkk., (1993) litologi di daerah penelitian dimulai dari yang berumur lebih tua yaitu Formasi Hulusimpang berumur Oligosen disusun oleh satuan breksi gunungapi, lava, tuf bersusunan andesitik-basal, terubah berurat kuarsa dan bermineral sulfida; Formasi Seblat (Tomh) berumur Miosen Awal – Miosen Tengah, disusun oleh satuan perselingan batulempung, batupasir, batutufan, serpih, batulanau, umumnya gampingan, dan lapisan tipis atau bintal batugamping; Batuan terobosan (Tmgr) berumur Miosen Tengah, disusun oleh satuan batugranit; Formasi Lemau (Tml) berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir disusun oleh satuan batupasir tufan atau gampingan, batulempung gampingan dengan

sisipan tipis atau bintal batugamping, mengandung foram dan moluska; Formasi Bal (Tmba) berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, disusun oleh satuan batubreksi gunungapi bersusunan dasit, tuf dasitan dan sisipan batupasir; Formasi Simpangaur (Tmps) berumur Miosen Akhir – Plistosen, disusun oleh satuan batupasir tufan, batulanau tufan, tuf, konglomerat anekabahan, mengandung moluska dan cangkang kerang, setempat sisipan tipis lignit; Formasi Semung (QTsc) berumur Plistosen, disusun oleh satuan batupasir konglomeratan, batupasir dan batulempung; Batuan Gunungapi Kuartar Muda (QTsc) berumur Plistosen – Holosen disusun oleh satuan batupasir konglomeratan, batupasir dan batulempung; dan Aluvium (Qa) berumur Holosen, disusun oleh Bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur. Formasi dan satuan batuan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 1**.



Gambar 2. Area penelitian berada di Sesar Semangko mencakup tiga kabupaten: Kab. Tanggamus, Kab. Lampung Barat, dan Kab. Pesisir Barat.



Gambar 3. Peta geologi di area penelitian (Amin dkk., 1993). Area penelitian ditandai persegi Panjang bewarna merah.

Tabel 1. Stratigrafi di area penelitian (Amin dkk., 1993).

Umur Regional		Simbol			Formasi	Deskripsi
Holosen		Qa			Aluvium	Bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur
		Qhv			Batuan Gunungapi Kuarter Muda	Breksi, lava dan tuf bersusunan andesit-basal; sumber Gn. Tanggamus, Gn. Rindingan (Qhv), Gn. Sekincau (Qhvr)
Plistosen		QTsc			Formasi Semung	Batupasir konglomeratan, batupasir dan batulempung
		Tmps			Formasi Simpangaur	Batupasir tufan, batulanau tufan, tuf, konglomerat anekabahan, mengandung moluska dan cangkang kerang, setempat sisipan tipis lignit
Miosen	Akhir	Tmba	Tml	Tmgr	Formasi Bal (Tmba)	Batubreksi gunungapi bersusunan dasit, tuf dasitan dan sisipan batupasir
					Formasi Lemau (Tml)	Batupasir tufan atau gampingan, batulempung gampingan dengan sisipan tipis atau bintal batugamping, mengandung forum dan moluska
	Tengah	Toms			Batuan terobosan (Tmgr)	Granit (gr)
					Formasi Seblat	Perselingan batulempung, batupasir, batutufan, serpih, batulanau, umumnya gampingan, dan lapisan tipis atau bintal batugamping.
		Awal	Tomh			Formasi Hulusimpang
Oligosen						

2.3. Sesar Sumatra dan Sesar Semangko

Sesar Sumatra pertama kali dinamakan oleh Katili & Hehuwat (1967). Sesar Sumatra adalah sesar yang terbentuk sebagai hasil dari konvergensi Lempeng Indo-Australia yang menyerong ke arah N20°E (Sclater & Fisher, 1974). N31°E di bagian utara, N26,3°E di bagian tengah, dan N25°E di bagian selatan (Newcomb & McCann, 1987). Konvergensi ini membentuk sudut lancip (*oblique convergence*) terhadap Lempeng Eurasia (Sieh & Natawidjaja, 2000) dengan kecepatan 6-14 cm/tahun, sehingga membentuk Sesar Sumatra yang bergerak relatif mengenai (Fitch, 1972).

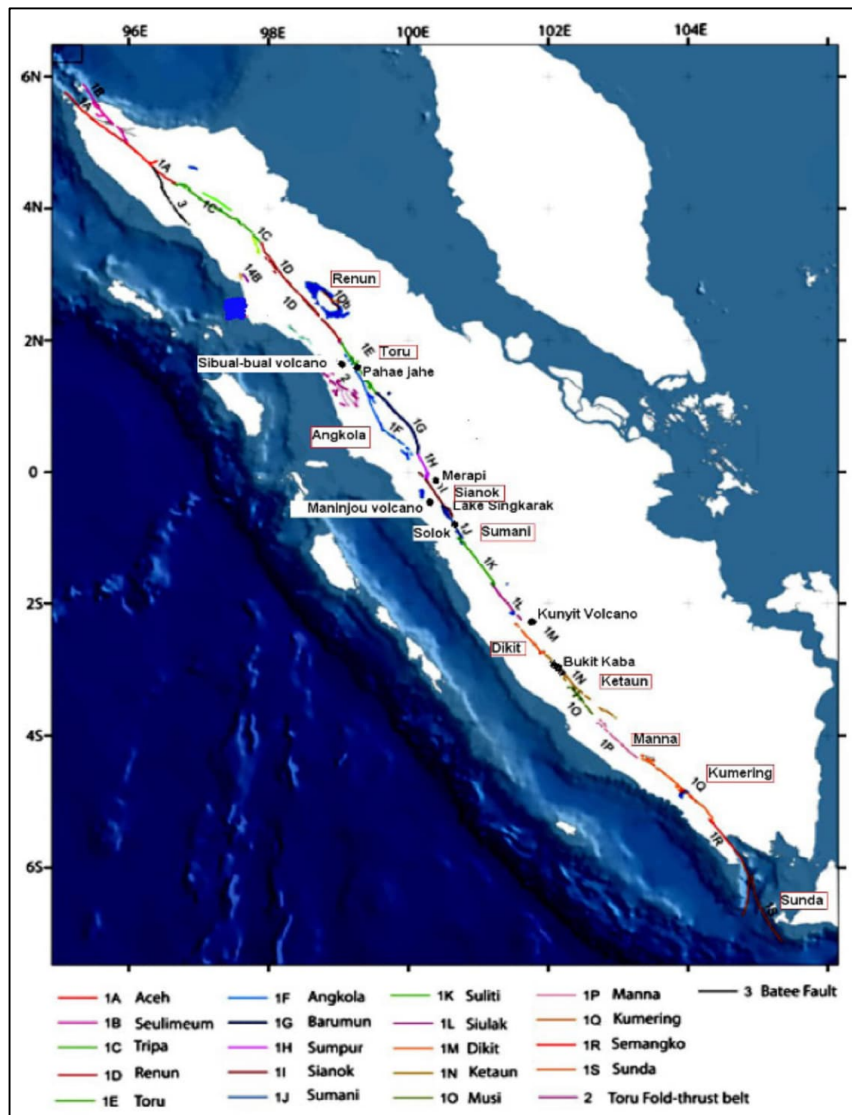
Sesar Sumatra memanjang sejauh 1.900 km dengan arah NW-SE, dimulai dari Selat Sunda hingga Aceh, dan memiliki bentuk geometri sinusoidal dengan lebar sekitar 5-12 km (Sieh & Natawidjaja, 2000). Secara keseluruhan, bentuk Sesar Sumatra adalah sinusoidal. Pembentukan Sesar Sumatra terjadi bersamaan dengan pembukaan Laut Andaman pada kala Miosen Tengah (Curry dkk., 1979; McCarthy & Elders, 1997). Pada kala Miosen Tengah, terjadi peningkatan kompresi akibat percepatan konvergensi Lempeng Indo-Australia, yang mengakibatkan terangkatnya batuan dasar dan terjadinya intrusi granit. Pengangkatan ini membentuk Pegunungan Barisan yang diakomodasi oleh Sesar Sumatra.

Sesar Sumatra yang memotong batuan berumur Mesozoikum di Sumatra Tengah diperkirakan telah bergeser sejauh 150 km. Pergeseran horizontal masih terdapat perpetaan pendapat, berkisar antara 20 km hingga 100 km (Katili, 1969; Posavec dkk., 1972 dalam Huchon & Pichon, 1984), sementara

peneliti lainnya menyebutkan 150 km (Curry dkk., 1979) dan sekitar 20 km (Sieh & Natawidjaja, 2000). Pergeseran Sesar Sumatra mungkin terkait dengan pembukaan Cekungan Andaman sebesar 460 km sejak Miosen Tengah (Curry dkk., 1979). Bukti geologi menunjukkan bahwa kecepatan Sesar Sumatra meningkat ke arah utara, namun tidak seragam. Semakin ke utara, pergeseran Sesar Sumatra semakin besar, yakni 27 mm/tahun di sekitar Danau Toba, dan semakin kecil ke arah selatan, yakni 5 mm/tahun di sekitar Selat Sunda (Natawidjaja & Triyoso, 2007). Sesar transform dari Cekungan Andaman melewati Sumatra, dimulai dari pantai utara Sumatra dan terus ke tenggara (Curry dkk., 1979).

Sesar Sumatra dibagi menjadi 21 segmen sesar (Natawidjaja, 2002; Sieh & Natawidjaja, 2000). Segmen yang termasuk dalam penelitian ini adalah segmen Semangko.

Sesar Semangko adalah bagian dari Sesar Sumatra yang terletak di sebelah barat Lampung dengan panjang 65 km dan berarah NW-SE, dimulai dari Teluk Semangko hingga Lembah Suoh (Sieh & Natawidjaja, 2000). Jejak utama Sesar Semangko tampak sebagai tebing yang membentang sepanjang sisi barat Teluk Semangko dan Lembah Semangko. Tebing ini menunjukkan pergeseran komponen dip-slip, dengan sisi barat berfungsi sebagai *foot wall* (Sieh & Natawidjaja, 2000). Formasi batuan tertua yang terpotong oleh Sesar Semangko adalah Formasi Hulusimpang (Tomh) yang berasal dari Oligo-Miosen Awal (Amin dkk., 1993), sebagian besar berada di blok barat Sesar Semangko. Laju pergeseran Sesar Semangko adalah $16,5 \pm 2$ mm/tahun (Alif dkk., 2020).



Gambar 4. Segmen Sesar Sumatra (Natawidjaja & Triyoso, 2007).

2.4. Hipsometri

Konsep hipsometri pertama kali diperkenalkan oleh Langbein (1947) yang membantu menghasilkan parameter hipsometri, yaitu kurva hipsometrik (HC) dan integral hipsometrik (HI). Hipsometri Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diilustrasikan baik secara grafis melalui kurva hipsometrik (HC) maupun secara kuantitatif melalui integral hipsometrik (HI) (Farhan dkk., 2016). Kurva hipsometrik menggambarkan distribusi area dan ketinggian di dalam DAS (Strahler, 1952; Schumm, 1956) dengan persamaan:

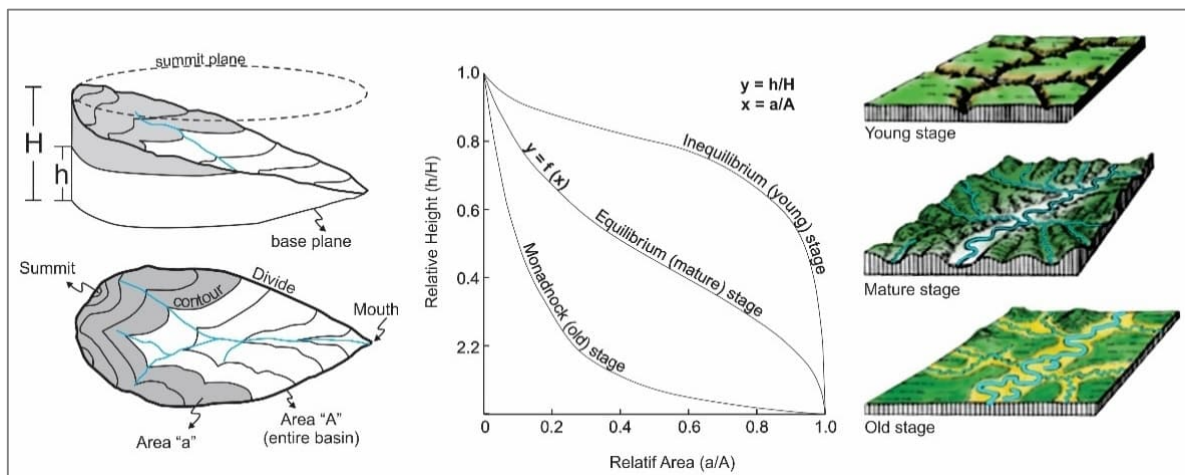
$$x = f(y) \quad (1)$$

dengan x adalah fungsi dari luas kumulatif (a/A) dan y adalah kumulatif tinggi (h/H). Variabel a merujuk pada luas permukaan kontur, A adalah total luas DAS, h adalah tinggi cekungan di dalam kontur, dan H adalah total tinggi cekungan. Kurva hipsometrik dibuat dengan memplot tinggi relatif cekungan terhadap luas relatif cekungan (Strahler, 1952; Keller & Pinter, 2002). Kurva hipsometrik dipengaruhi oleh bentuk topologi Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS yang memanjang akan memiliki kurva hipsometrik yang berbeda dibandingkan dengan DAS yang lebih luas, meskipun proses geologi dan iklim yang

mempengaruhi masing-masing DAS tersebut identik (Willgoose & Hancock, 1998). Salah satu keunggulan kurva hipsometrik adalah kemampuannya untuk membandingkan DAS dengan ukuran yang berbeda, karena luas dan tinggi DAS dipetakan sebagai fungsi dari total luas dan total ketinggian. Oleh karena itu, kurva hipsometrik tidak dipengaruhi oleh perbedaan ukuran dan relief (Keller & Pinter, 2002).

Bentuk kurva hipsometrik berkaitan dengan tahapan perkembangan geomorfik DAS. Kurva hipsometrik yang berbentuk cembung

menunjukkan bahwa DAS berada pada tahap muda (*inequilibrium*), dengan tingkat erosi tidak lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas tektonik pengangkatan, menghasilkan sungai yang sempit dan terjal. Kurva hipsometrik berbentuk huruf 'S' menunjukkan DAS pada tahap dewasa (*equilibrium*), dengan tingkat erosi yang setimbang terhadap aktivitas tektonik, sehingga membentuk sungai yang mulai melandai. Kurva hipsometrik berbentuk cekung menggambarkan DAS pada tahap tua (*monadnock*), dengan tingkat erosi tinggi dan membentuk sungai yang lebar (**Gambar 5**).



Gambar 5. Parameter analisis hipsometri (kiri); Kurva hipsometrik (Strahler, 1952; Keller & Pinter, 2002) (tengah); dan ilustrasi kondisi geomorfologi di setiap kurva hipsometrik.

Kurva hipsometrik dapat diukur dalam bentuk integral hipsometrik (HI), yang mendefinisikan area di bawah kurva hipsometrik sebagai representasi volume cekungan yang belum mengalami erosi (Strahler, 1952; Schumm, 1956). Integral hipsometrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Pike dan Wilson, 1971):

$$HI = \frac{(\text{Ketinggian mean} - \text{Ketinggian minimum})}{(\text{Ketinggian maksimum} - \text{ketinggian minimum})} \quad (2)$$

ketinggian yang dimaksud merujuk pada ketinggian rata-rata (*mean*) dari DAS, sementara ketinggian minimum dan maksimum adalah titik terendah dan tertinggi DAS yang terlihat pada garis kontur.

Integral hipsometrik merupakan indikator makroskopis yang dapat digunakan untuk

mengkaji hubungan kuantitatif antara luas bagian horizontal dari suatu DAS dengan ketinggiannya, yang mencerminkan kondisi perkembangan DAS (Chen dkk., 2003; Hamdouni dkk., 2008; Andreani dkk., 2014). Integral hipsometrik berfungsi sebagai indeks topografi dalam kaitannya dengan proses geomorfologi. Perbedaan bentuk kurva dan nilai integral hipsometrik disebabkan oleh tingkat erosi dan aktivitas tektonik (Weissel & Pratson, 1994), serta tingkat pemotongan dan tahapan evolusi DAS (Strahler, 1952).

Integral hipsometrik mencerminkan ketidakseimbangan antara erosi dan gaya tektonik dalam DAS, yang berguna untuk memahami aliran permukaan dan proses sedimentasi (Weissel dkk., 1994; Jain dkk.,

2001; Weissel dkk., 1994). Integral hipsometrik banyak digunakan dalam analisis geomorfologi, seperti studi perkembangan geomorfologi DAS yang dilakukan pertama kali oleh Strahler (1952), mendeteksi intensitas aktivitas glasial (Sternai dkk., 2011), mengevaluasi peran relatif litologi (resistensi) dan tektonik (Lifton & Chase, 1992), serta penilaian kekuatan relatif aktivitas tektonik di zona orogenik (Rabii dkk., 2017). Nilai integral hipsometrik sensitif terhadap variabel yang berkaitan dengan skala vertikal dan horizontal DAS, seperti luas dan relief cekungan (Hurtrez dkk., 1999; Chen dkk., 2003), bentuk cekungan, dan sistem grid atau perimeter cekungan yang digunakan (Lifton & Chase, 1992; Willgoose & Hancock, 1998), serta penurunan elevasi DAS (Pérez-Peña dkk., 2008). Nilai integral hipsometrik menunjukkan korelasi yang jelas dengan sesar aktif dan wilayah pengangkatan (tektonik aktif) (Rabii dkk., 2017). Nilai ini berkorelasi dengan tingkat pengangkatan (Lifton & Chase, 1992), meskipun secara umum tidak dapat mendeteksi variasi usia pengangkatan pada skala waktu kurang dari beberapa juta tahun karena gangguan (*noise*) dari banyaknya parameter yang menyamarkan sinyal pengangkatan (Rabii dkk., 2017).

Rentang nilai integral hipsometrik $HI \geq 0,5$ dengan bentuk kurva cembung (*young stage*) menunjukkan aktivitas tektonik yang lebih aktif. Nilai $0,4 \leq HI < 0,5$ merupakan nilai intermedier dengan kurva yang mendekati lurus atau sedikit cekung dan cembung (*mature stage*), menunjukkan aktivitas tektonik yang aktif. Sedangkan, nilai $HI < 0,4$ berbentuk cekung (*old stage*) menunjukkan kondisi tektonik kurang aktif (Hamdouni dkk., 2008; Dehbozorgi dkk., 2010; Mulyasari dkk., 2017; Supartoyo dkk., 2013; Chen dkk., 2020).

3. METODE PENELITIAN

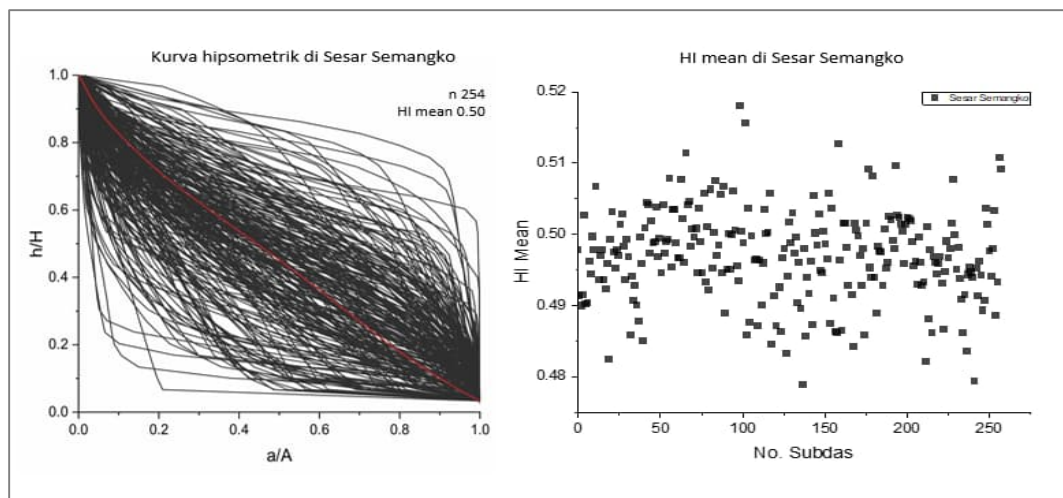
Analisis morfometri memberikan karakterisasi kuantitatif terhadap morfologi cekungan dengan mengidentifikasi variasi atribut spasial dan linear (Burbank & Anderson, 2013; Keller & Pinter, 2002). Analisis

hipsometrik biasanya dilakukan berdasarkan DAS di wilayah penelitian, namun dalam penelitian ini penulis menggunakan SubDAS. Penggunaan SubDAS dalam analisis morfometri bertujuan untuk mengamati distribusi parameter morfometri dengan lebih rinci dibandingkan dengan menggunakan DAS. SubDAS diinterpolasi secara otomatis dari data DEMNAS menggunakan Global Mapper, dan kemudian diedit menggunakan ArcGIS dan QGIS, termasuk dalam pembuatan sungai. Setelah SubDAS dibuat, perhitungan dilakukan di Excel untuk mendapatkan kurva hipsometrik (HC) dan nilai integral hipsometrik (HI). Kurva garis dan plot titik hipsometrik dibuat menggunakan aplikasi Origin. Kurva hipsometrik diinterpretasi untuk mengetahui tingkat erosi dan aktivitas tektonik. Nilai integral hipsometrik (HI) dipetakan bersama SubDAS dan dalam bentuk interpolasi.

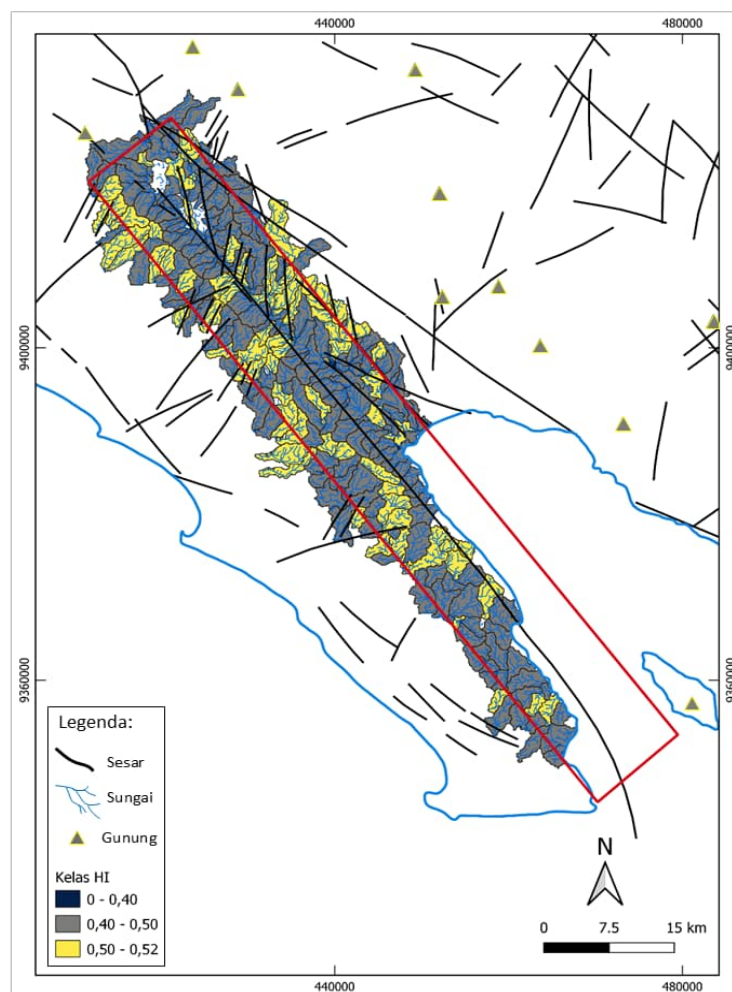
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deliniasi SubDAS di Sesar Semangko diperoleh 266 SubDAS. Kurva hipsometrik rata – rata berada di kurva tahap dewasa (*mature stage*) dengan nilai rata – rata integral hipsometrik (HI) 0,5 (**Gambar 6**). Nilai $0,4 \leq HI < 0,5$ (kelas 2) untuk tektonik aktif sebanyak 192 SubDAS, nilai $HI \geq 0,5$ (kelas 1) untuk tektonik lebih aktif sebanyak 74 SubDAS. Sedangkan nilai $HI < 0,4$ (kelas 3) untuk tektonik kurang aktif tidak ada. Merujuk kepada rentang nilai HI tersebut maka disimpulkan kondisi tektonik di Sesar Semangko diinterpretasi sebagai tektonik aktif dan tektonik lebih aktif.

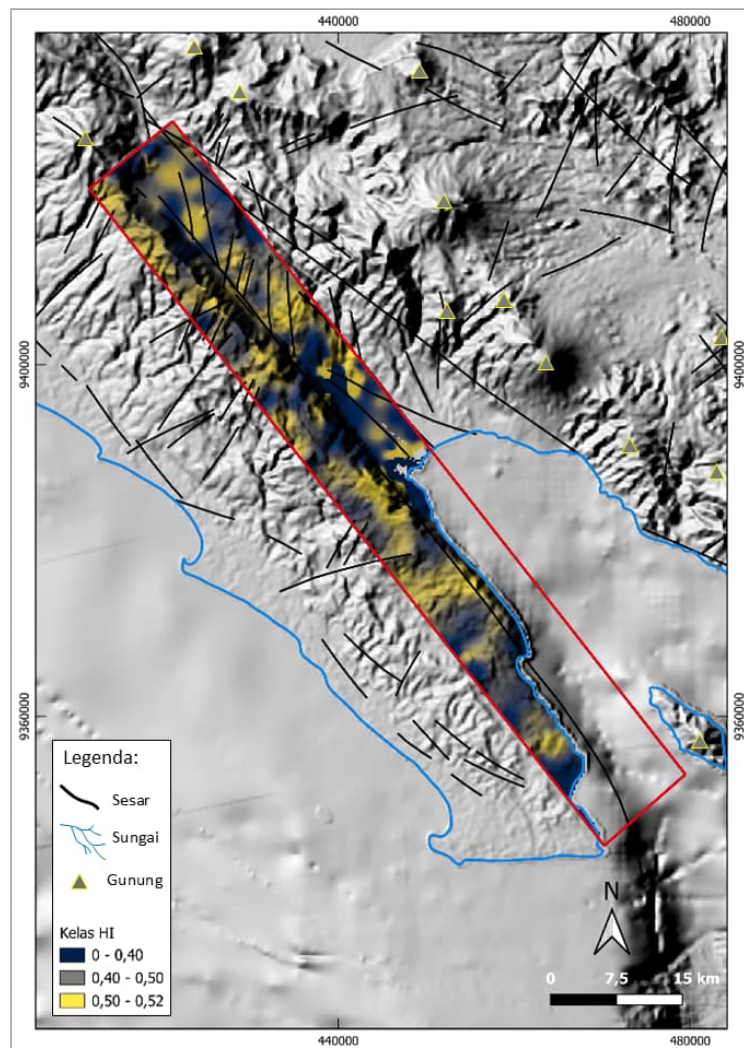
Hasil interpolasi nilai HI pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa sebagian besar area penelitian berada dalam kondisi tektonik yang lebih aktif (ditandai dengan warna kuning). Hal ini diinterpretasikan bahwa tingkat deformasi tinggi (warna kuning, $HI \geq 0,5$) ditandai oleh kehadiran sesar di bagian utara area penelitian. Kelas HI untuk setiap SubDAS yang ada di area penelitian dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Kurva hipsometrik dan plot nilai integral hipsometrik (HI) dari 266 SubDAS di area penelitian.



Gambar 7. Nilai HI SubDAS di Sesar Semangko. Warna kuning adalah tektonik lebih aktif, warna abu – abu adalah tektonik aktif.



Gambar 8. Interpolasi nilai HI di Zona Sesar Semangko.

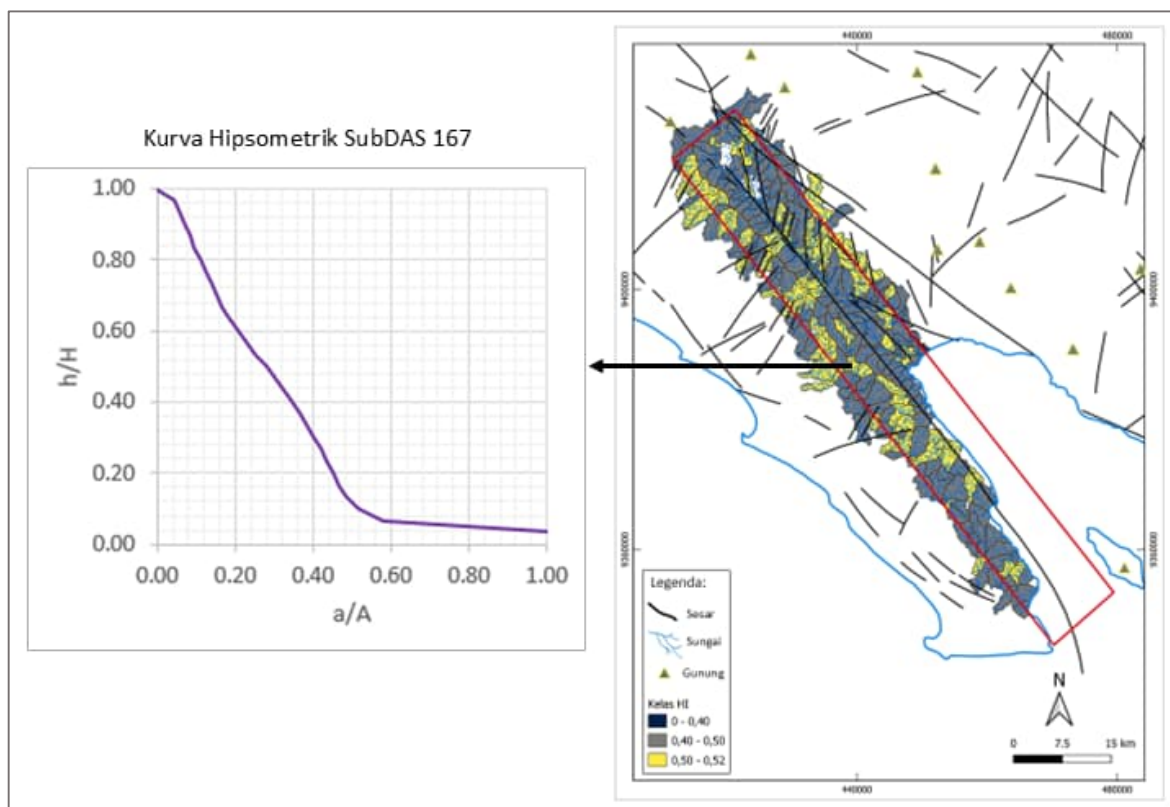
Analisis geomorfometri yang dilakukan oleh Gentana dkk. (2018) menggunakan lima parameter geomorfometrik (tanpa parameter hipsometri) di cekungan drainase Way Belu, yang terletak di sebelah timur area penelitian. Di area tersebut terdapat sesar berarah NW–SE yang terhubung dengan Sesar Semangko sebagai sesar utama. Hasil penelitian menunjukkan adanya aktivitas tektonik sedang hingga tinggi. Keterkaitan antara hasil penelitian ini dan penelitian Gentana dkk., (2018) menunjukkan bahwa percabangan sesar dari sesar utama (Sesar Semangko) mengalami sedikit penurunan aktivitas tektonik dibandingkan dengan aktivitas tektonik pada sesar utama karena konvergensi subduksi

Lempeng Indo-Australia melibatkan partisi slip mulai dari palung hingga Pulau Sumatra, yang sebagian besar stres konvergensi diakomodasi dan diakumulasi oleh *megathrust* di prisma akresi dan Sesar Sumatra. Oleh karena itu, semakin jauh dari Sesar Sumatra yang mengakomodasi sebagian besar stres di Pulau Sumatra akibat subduksi, aktivitas tektonik akan semakin berkurang.

Ada beberapa SubDAS yang menunjukkan anomali, salah satunya SubDAS no. 167 di daerah berbukit dengan elevasi yang cukup tinggi (**Gambar 9**) menunjukkan kurva hipsometrik relatif tahapan tua dengan nilai HI 0,50. Nilai tersebut masuk dalam kategori tektonik aktif. Secara umum kurva tersebut

dibagi menjadi dua relif yakni kurva terjal (kiri) dan kurva landai (kanan). Pada kurva yang landai diinterpretasikan sebagai bagian topografi yang tererosi kuat, sedangkan bagian kurva terjal dipengaruhi oleh struktur geologi dan litologi (resistensi). Oleh karena SubDAS tersebut termasuk dalam tektonik aktif yakni pengangkatan yang disertai tingkat erosi tinggi maka bentuk kurva menjadi anomali. Rata – rata nilai HI SubDAS di Sesar Semangko adalah 0,4 – 0,5 menunjukkan proses erosi cukup tinggi dengan kondisi tektonik aktif. Pengaruh kondisi tersebut disebabkan adanya sesar aktif. Hasil ini menguatkan bahwa Sesar Semangko

merupakan sesar aktif. Bukti lain yang mendukung adalah kejadian gempa bumi di Zona Sesar Semangko. Setidaknya terdapat enam kejadian gempa bumi, dimulai dari tenggara hingga barat laut Sesar Semangko, yaitu dengan magnitudo Mw 4,8 pada 2 Februari 1985 dengan kedalaman 33 km; Mw 4,7 pada 3 Mei 2013 dengan kedalaman 15 km; Mw 4,6 pada 24 Maret 2004 dengan kedalaman 10 km; Mw 4,5 pada 28 September 2023 dengan kedalaman 10 km; Mw 4,3 pada 18 Juni 2016 dengan kedalaman 15 km; dan Mw 6,8 pada 15 Februari 1994 (**Gambar 1**).



Gambar 9. Anomali kurva hipsometrik SubDAS 167 di Zona Sesar Semangko.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kurva hipsometrik (HC) dan integral hipsometrik (HI) tingkat kondisi tektonik di Sesar Semangko diklasifikasikan sebagai tektonik aktif dan lebih aktif. Analisis ini memperlihatkan bahwa variabilitas morfologi di sepanjang Sesar Semangko sangat

dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang intensif. Hasil interpolasi nilai HI pada setiap SubDAS menunjukkan bahwa kondisi tektonik di kawasan ini berkaitan erat dengan keberadaan struktur geologi. Zona yang mengalami deformasi lebih intensif—seperti daerah dengan banyak struktur sesar—menunjukkan tingkat aktivitas tektonik yang

lebih tinggi, yang pada gilirannya mengontrol karakteristik morfologi di area tersebut. Fenomena ini menegaskan bahwa intensitas deformasi tektonik memiliki peran penting dalam membentuk dan mengendalikan kondisi morfologi wilayah Zona Sesar Semangko.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Prof. Benyamin Sapiie, Ph.D. yang telah memberikan dukungan kepada Penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Advokaat, E. L., Bongers, M. L. M., Rudyawan, A., BouDagher-Fadel, M. K., Langereis, C. G., & van Hinsbergen, D. J. J. (2018). Early Cretaceous origin of the Woyla Arc (Sumatra, Indonesia) on the Australian plate. *Earth and Planetary Science Letters*, 498, 348–361.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.07.001>
- Alif, S. M., Fattah, E. I., & Kholil, M. (2020). Geodetic slip rate and locking depth of east Semangko Fault derived from GPS measurement. *Geodesy and Geodynamics*, 11(3), 222–228.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.04.002>
- Alif, S. M., Ferlia Cahyani, P., Anggara, O., Dayanti, M., & Rizqiansyah, A. (2022). *Slip Rate of Kumering Fault in Lampung Province Calculated from GPS Data from 2007 to 2021* (Vol. 5, Issue 2).
- Amin, T. C., Sidarto, Santosa, S., & Gunawan, W. (1993). *Peta geologi lembar Kotaagung, Sumatera*.
- Aribowo, S. (2016). *Arsitektur sesar aktif Segmen Kumering di antara Danau Ranau hingga Lembah Suoh*. Universitas Padjadjaran.
- Aribowo, S., Muslim, D., Natawidjaja, D. H., & Daryono, M. R. (2017). Sub-segmentasi sesar pada segmen Kumering antara Danau Ranau hingga Lembah Suoh, Lampung Barat. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 8(1), 16.
<https://doi.org/10.34126/jlbg.v8i1.168>
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2014). Arifin dkk. 2014. Penentuan zona rawan guncangan bencana gempa bumi berdasarkan analisis nilai amplifikasi HVSR mikrotremor dan analisis periode dominan daerah Liwa dan sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), 17.
<https://doi.org/10.23960/jge.v2i01.217>
- Barber, A. J. (2000). The Origin of the Woyla Terranes in Sumatra and the Late Mesozoic Evolution of the Sundaland Margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 713–738.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00024-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00024-9)
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. S. (2005). *Sumatra: geology, resources and tectonic evolution*. Geological Society of London.
<https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2005.031>
- Burbank, D., & Anderson, R. (2013). Tectonic geomorphology. *Environmental & Engineering Geoscience*, 19, 198–200.
<https://doi.org/10.2113/gseageosci.19.2.198>
- Carton, H., Singh, S. C., Hananto, N. D., Martin, J., Djajadihardja, Y. S., Udrek, Franke, D., & Gaedicke, C. (2014). Deep seismic reflection images of the Wharton Basin oceanic crust and uppermost mantle offshore Northern Sumatra: Relation with active and past deformation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(1), 32–51.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2013JB010291>
- Chen, Y. C., Sung, Q., & Cheng, K. Y. (2003). Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56(1–2), 109–137.
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00059-X)
- Chen, Y.-C., Tsai, H., Sung, Q., & Wang, T. (2020). Hypsometric curve patterns and elevation frequency histograms of active orogen. *Journal of Geology and Geoscience*, 4(1), 14.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121(3–4), 329–341.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.05.002>
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1–2), 150–173.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Farhan, Y., Elgaziri, A., Elmaji, I., & Ali, I. (2016). Hypsometric analysis of Wadi Mujib-Wala watershed (Southern Jordan) using remote sensing and GIS techniques. *International*

- Journal of Geosciences*, 07(02), 158–176.
<https://doi.org/10.4236/ijg.2016.72013>
- Fitch, T. J. (1972). Plate convergence, transcurrent faults, and internal deformation adjacent to Southeast Asia and The Western Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 77(23), 4432–4460.
- Gentana, D., Sulaksana, N., Sukiyah, E., & Yuningsih, E. (2018). Index of active tectonic assessment: quantitative-based geomorphometric and morphotectonic analysis at Way Belu Drainage Basin, Lampung Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8, 2460–2471.
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.6.6089>
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of the Indonesia Region*. Geological Survey Professional Paper.
- Hendrawan, R., Draniswari, W., Bakhtiar, A., & Widiatama, A. (2023). Geomorphic Indices And Fault Segmentation Indication Of Menanga Fault At Pesawaran, Lampung. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 9(3), 184–193.
[doi:https://doi.org/10.23960/jge.v9i3.287](https://doi.org/10.23960/jge.v9i3.287)
- Hillis, R., Sandiford, M., Reynolds, S., & Quigley, M. (2008). *Present-day stresses, seismicity and Neogene-to-Recent tectonics of Australia's "passive" margins: intraplate deformation controlled by plate boundary forces*.
- Huchon, P., & Le Pichon, X. (1984). Sunda Strait and Central Sumatra Fault. *Geology*, 12(11), 668–672.
[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<668:SSACSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<668:SSACSF>2.0.CO;2)
- Hurtrez, J.-E., Sol, C., & Lucazeau, F. (1999). Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal). *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 799–808.
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Ariska, R., Hidayati, S., Triyoso, W., Rahma, H., Didiek, D., Lutfi, F., & Sunarjito. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017* (1st ed.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Jain, S. K., Kumar, S., & Varghese, J. (2001). Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management*, 15(1), 41–54.
<https://doi.org/10.1023/A:1012246029263>
- Jie, C., & Jinchang, Z. (2017). Tectonics of the Indo-Australian Plate near the Ninetyeast Ridge constrained from marine gravity and magnetic data. *Journal of Ocean University of China*, 16(3), 403–410.
<https://doi.org/10.1007/s11802-017-3314-8>
- J. R. Curray, D. G. Moore, L. A. Lawver, F. J. Emmel, R. W. Raitt, M. Henry, R. K. (1979). Tectonics of the Andaman Sea and Burma: Convergent margins. *American Association of Petroleum Geologist*, A109, 189–198.
- Katili, J. A. (1969). *Large transcurrent faults in Southeast Asia with special reference to Indonesia* (hlm. 1–20). National Institute of Geology and Mining Bandung.
- Katili, J. A., & Hehuwat, F. (1967). On the occurrence of large transcurrent fault in Sumatra, Indonesia. *Journal of Geosciences Osaka City University*, 10, 5–17.
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape* (P. Lynch, Ed.; 2nd ed.). Prentice Hall.
- Langbein, W. B. (1947). *Topography characteristics of drainage basins*.
- Lifton, N. A., & Chase, C. G. (1992). Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. *Geomorphology*, 5(1), 77–114.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0101-555X\(92\)90059-W](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0101-555X(92)90059-W)
- McCaffrey, R. (1991). Slip vectors and stretching of the Sumatran fore arc. *Geology*, 19(9), 881–884.
[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0881:SVASOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0881:SVASOT>2.3.CO;2)
- McCarthy, A. J., & Elders, C. F. (1997). Cenozoic deformation in Sumatra: oblique subduction and the development of the Sumatran Fault System. *Petroleum Geology of Southeast Asia*, 126(Special Publication), 355–363.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.126.01.21>
- Metcalf, I. (2017). Tectonic evolution of Sundaland. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 63(June), 27–60.
<https://doi.org/10.7186/bgsm63201702>
- Mulyasari, R., Brahmantyo, B., & Supartoyo. (2017). Morphometric analysis of relative tectonic activity in the Baturagung Mountain, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/71/1/012006>

- Natawidjaja, D. H. (2002). *Neotectonics of the Sumatra Fault and paleogeodesy of the Sumatra subduction zone*. California Institute of Technology Pasadena.
- Natawidjaja, D. H., & Triyoso, W. (2007). The Sumatran Fault Zone from source to hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 01(01), 21–47. <https://doi.org/10.1142/s1793431107000031>
- Newcomb, K. R., & McCann, W. R. (1987). Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc. Dalam *Journal of Geophysical Yrch* (Vol. 92, Nomor B1, hlm. 421–439). <https://doi.org/10.1029/JB092iB01p00421>
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Booth-Rea, G., Azor, A., Delgado, J., & González-Lodeiro, F. (2008). Hypsometric integral of the Granada basin determined using local indices of spatial autocorrelation (LISA) with GIS. *Geotemas*, 10(January), 723–726.
- Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Bulletin of the Geological Society of America*, 82(4), 1079–1084. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)
- Posavec, M., Taylor, D., Leeuwen, Th., Van, & Spector, A. (1972). *Tectonic control of volcanism and complex movements along the Sumatran Fault System* (hlm. 43–60). Geological Society of Malaysia Bulletin.
- Rabii, F., Achour, H., Rebai, N., & Jallouli, C. (2017). Hypsometric integral for the identification of neotectonic and lithology differences in low tectonically active area (Utica-Mateur region, north-eastern Tunisia). *Geocarto International*, 32(11), 1229–1242. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1195890>
- Ramadhan, M., Priyobudi, Imananta, R. T., Muzli, Supendi, P., Perdana, Y. H., Nugraha, J., Jatnika, J., Ali, Y. H., Panjaitan, A. L., Nugraha, M. F., Kristyawan, S., Sembiring, A. S., Setyahagi, A. R., & Yogaswara, D. S. (2021). *Katalog gempabumi Indonesia: relokasi hiposenter dan implikasi tektonik* (Daryono (ed.)). BMKG.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67(5), 597–646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Sclater, J. G., & Fisher, R. L. (1974). Evolution of the east: Central Indian Ocean, with emphasis on the tectonic setting of the Ninetyeast ridge. *Bulletin of the Geological Society of America*, 85(5), 683–702. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<683:EOTECI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<683:EOTECI>2.0.CO;2)
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105(No. B12), 28,295–28326.
- Sternai, P., Herman, F., Fox, M., & Castelltort, S. (2011). Hypsometric analysis to identify spatially variable glacial erosion. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 116. <https://doi.org/10.1029/2010JF001823>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *GSA Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Supartoyo, Sadisun, I. A., Suparka, E., & Abdullah, C. I. (2013). *Identification of Cimandiri Fault activity at Sukabumi area, West Java, Indonesia (based on morphometry analysis)* (hlm. 76–83). ESDM.
- Supendi, P., Widiyantoro, S., Rawlinson, N., Wibowo, A., Priyobudi, Palgunadi, K., Nugraha, A., Imran, I., Marliyani, G., Daryono, D., Prayitno, B., Sadly, M., Karnawati, D., Sari, N., & Sugiharto, A. (2022). Analysis of the 2021 Semangko Bay earthquake sequence in Southern Sumatra, Indonesia, using broadband seismic network data. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220210304>
- Uzzahra, S. A. (2023). *Kajian deformasi Sesar Sumatra Segmen Komering berdasarkan data pengamatan GPS tahun 2020-2022*. Universitas Lampung.
- Weissel, J. K., & Pratson, L. F. (1994). The length-scaling properties of topography. *Journal of Geophysical Research*, 99(94), 13,997–14,012.
- Weissel, J., Pratson, L., & Malinverno, A. (1994). The length-scaling properties of topography. *Journal of Geophysical Research*, 99. <https://doi.org/10.1029/94JB00130>
- Willgoose, C., & Hancock, G. (1998). Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(7), 611–623. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199807\)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199807)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y)
- Widiwijayanti, C., Déverchère, J., Louat, R., Sébrier, M., Harjono, H., Diamant, M., & Hidayat, D. (1996). Aftershock sequence of the 1994, Mw 6.8,

Liwa earthquake (Indonesia): Seismic rupture process in a volcanic arc. *Geophysical Research Letters*, 23(21), 3051–3054. <https://doi.org/10.1029/96GL02048>

Zahirovic, S., Seton, M., & Müller, R. D. (2014). The Cretaceous and Cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia. *Solid Earth*, 5(1), 227–273. <https://doi.org/10.5194/se-5-227-2014>