



## Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi  
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>  
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 23, No.3  
Desember 2025

### TEKTONIK DAN ASPEK KEBENCANAAN DI PULAU SUMATRA

Iyan Haryanto<sup>1</sup>, Irawati<sup>2</sup>, Faisal Helmi<sup>1</sup>, Billy G. Adhiperdana<sup>1</sup>, Abdurrokhim<sup>1</sup>, Nanda Natasia<sup>1</sup>,  
M. Kurniawan Alfadli<sup>1</sup> dan Edy Sunardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup>Universitas Islam Bandung

\*Email: [ian.haryanto@unpad.ac.id](mailto:ian.haryanto@unpad.ac.id)

#### ABSTRAK

Struktur geologi di Pulau Sumatra dilatarbelakangi oleh tumbukan lempeng miring antara Lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia. Peristiwa tektonik ini menyebabkan terjadinya tegasan strike slip sehingga pola struktur yang terbentuk di pulau ini didominasi oleh sesar mendatar dan dua diantaranya bersifat regional yaitu Sesar Sumatra dan Sesar Mentawai. Berdasarkan latar belakang tektonik di atas, maka setiap struktur sesar yang memiliki pola yang sama dengan kedua sesar regional di atas, selalu disimpulkan sebagai sesar mendatar juga.

Data lapangan menunjukkan tidak semua struktur sesar naik berada di dalam zona transpresional dari mendatar regional yang melengkung (bend fault) atau bergeser (steep over) seperti yang terjadi di daerah Bukit Garba, yaitu sesar-sesar naiknya terbentuk langsung oleh tektonik kompresi. Tektonik kompresi juga terjadi di daerah tinggian seperti prisma akresi dan jalur orogenesis yang pembentukannya memerlukan gaya yang besar dan bersifat regional. Secara genetis peristiwa tektonik harus dilatarbelakangi oleh sistem tegasan kompresi dibandingkan strike slip. Namun demikian karena latar belakang tumbukan lempengnya bersifat miring, maka sebagian dari sesar-sesar naik di Pulau Sumatra bersifat oblik yaitu naik mendatar.

**Kata Kunci:** *bend fault, orogenesis, pop-up, strike slip, steep over, subduksi miring.*

#### ABSTRACT

*The geological structure of Sumatra Island is constructed by the oblique collision of the Indo-Australian Plate with the Eurasian Plate. This tectonic occurrence induces strike-slip stresses, resulting in a structural pattern predominantly characterised by strike-slip faults, among which two are regional: the Sumatra Fault and the Mentawai Fault. Based on the aforementioned tectonic context, any fault structure exhibiting a similar pattern to these two regional faults is typically classified as a strike-slip fault.*

*Field observations reveal that not all thrust fault structures are situated within transpressional zones of regionally curved (bend faults) or steepened (steep-over) faults, as observed in the Garba Hills area. These thrust faults are directly formed by compressional tectonics. Compressional tectonics are also active in areas of high elevation, such as accretionary prisms and orogenic zones, whose formation necessitates substantial forces and is of regional extent. Tectonic events, in a genetic sense, are primarily driven by a compressional stress system rather than strike-slip mechanisms. Nevertheless, due to the inclined nature of the plate collision background, some thrust faults on Sumatra Island are oblique, rising horizontally.*

**Keywords:** *bend fault, orogenesis, pop-up, strike slip, steep over, oblique subduction.*

#### PENDAHULUAN

Struktur geologi Pulau Sumatra dikontrol oleh subduksi miring antara lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia. Lempeng India-Australia bergerak ke arah utara sekitar N6°E dengan kecepatan sekitar 0.58 mm/tahun. Jalur tumbukan kedua lempeng di atas berarah baratlaut-tenggara sekitar N330°E (Barber, dkk., 2005).

Peristiwa tumbukan lempeng di atas membentuk struktur geologi yang didominasi oleh sesar mendatar, dua diantaranya bersifat regional, yaitu Sesar Sumatra dan Sesar Mentawai. Struktur sesar mendatar lainnya yang ukurannya lebih kecil diantaranya adalah Sesar Kualabate di bagian barat Aceh, Sesar Pasaman di Sumatra Utara-Sumatra Barat, Sesar Lematang dan sesar Musi di Sumatra Selatan. Sesar mendatar

yang umurnya jauh lebih tua dan dahulunya sebagai batas pertemuan lempeng adalah Sesar Raub-Bentong (Barber, dkk. 2005; Metcalfe, 2011). Struktur geologi lainnya yang terbentuk di Pulau Sumatra adalah sesar naik dan sesar normal, keduanya memiliki orientasi yang relatif sejajar hingga membentuk sudut lancip terhadap sesar mendatar regionalnya, sehingga diyakini pembentukannya berasosiasi dengan tegasan kopel (*shear zone*) sebagai akibat tumbukan miring. Berdasarkan latar belakang tektonik tersebut banyak peneliti terdahulu meyakini struktur sesar naik dan struktur lipatan di Pulau Sumatra sebagai bagian dari tipe struktur *positive flower structure*. Melalui mekanisme tipe struktur inilah batuan berumur tua (Mesozoikum) terangkat dan tersingkap ke permukaan, misalnya batuan basement di Pegunungan Tigapuluh (Sapiie, dkk., 2005) dan di beberapa lokasi lainnya seperti Pegunungan Garba dan Pegunungan Duabelas dilatarbelakangi oleh tipe struktur di atas.

Dari uraian di atas dapat memberikan kesan bahwa sistem tegasan kompresi di Pulau Sumatra kurang berperan langsung terhadap pembentukan struktur lipatan dan sesar-sesar naik. Kedua struktur geologi ini hanya terbentuk di dalam segmen sesar mendatar yang melengkung (*bend fault*) atau loncat (*steep over fault*). Faktanya di dalam sistem tumbukan miring di Sumatra juga membentuk prisma akresi yang di dalamnya berkembang sesar-sesar naik, demikian pula yang terjadi di daerah transisi antara batas tinggian dan cekungan belakang busur yang dibatasi oleh sesar-sesar naik.

Tujuan makalah ini adalah untuk mengetahui sampai sejauh mana tumbukan subduksi miring di Pulau Sumatra membentuk sesar-sesar naik yang sifatnya primer dan bagaimana dampaknya terhadap lingkungan khususnya dari aspek kebencanaan yang kemudian dikaitkan dengan aspek hukum lingkungan.

#### METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan dimulai dengan membuat analisis bentang alam di beberapa wilayah melalui citra indraja berupa *Digital Elevation Models* (DEM). Kelurusan struktur ditafsirkan dengan adanya bentuk punggung perbukitan, perbedaan elevasi yang kontras serta dari pola pengaliran sungainya.

Melalui metoda ini akan dibuat penafsiran pola struktur yang ditampilkan dalam bentuk Peta Kelurusan Struktur Geologi. Metoda selanjutnya dengan melakukan pemetaan geologi permukaan di beberapa lokasi untuk mengetahui pola struktur hingga latar belakang pembentukannya. Semua data

struktur yang didapatkan di lapangan, dikorelasikan, diperbandingkan dan dianalisis, sehingga diketahui latar belakang tektonik dan pola struktur geologinya. Hasil penelitian geologi ini ditindaklanjuti dengan membuat analisis dampak lingkungan dan terhadap masyarakat khususnya dari aspek ilmu hukum lingkungan.

#### PEMBAHASAN

Melalui analisis citra indraja diketahui pola punggung perbukitan dan lembah di Pulau Sumatra didominasi arah barat-laut-tenggara dan kedudukannya relatif sejajar dengan jalur subduksi miring di sebelah barat Pulau Sumatra (Gambar 1). Sebagian besar pola punggung perbukitan memiliki bentuk memanjang dan sebagian lainnya memiliki bentuk *ellipsoid*. Bentuk perbukitan memanjang dapat diinterpretasikan sebagai produk langsung dari tektonik kompresional, sedangkan punggung perbukitan dengan bentuk *ellipsoid* dapat terjadi dengan dua mekanisme, yaitu dikontrol oleh struktur lipatan menunjam dengan geometri *hinge line* yang membusur. Mekanisme yang kedua terbentuk di dalam segmen transpresional dari sistem sesar mendatar yang melengkung (*bend fault*) atau loncat/bergeser terpisah (*steep over*). Mekanisme tektonik yang kedua umumnya menghasilkan sejumlah bukit soliter dengan kedudukan satu dengan lainnya menyerong (*en-echelon*).

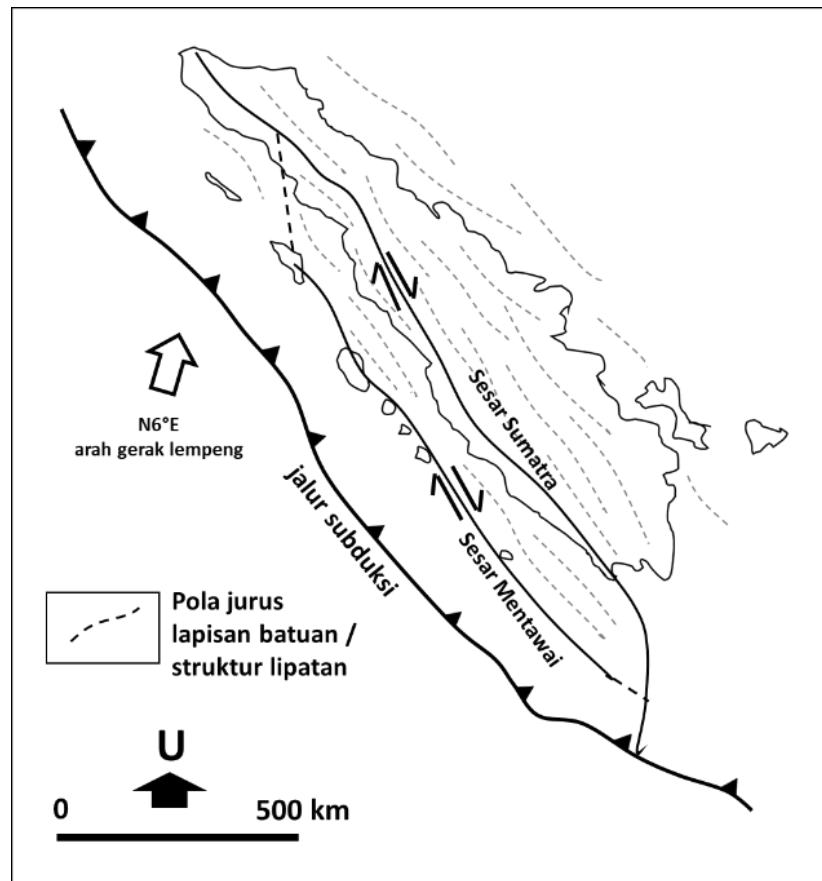
Morfologi Bukit Barisan umumnya dikontrol oleh struktur lipatan dan sesar-sesar naik dengan tipe imbrikasi (*imbricated thrust system*). Pola struktur ini juga berkembang di dalam lingkungan prisma akresi dan di bagian tepi jalur orogenesis dengan cekungan belakang busurnya (*wedge-top*). Untaian pulau-pulau kecil di sebelah barat Pulau Sumatra berada di lingkungan prisma akresi yang lazimnya berasosiasi dengan sesar-sesar naik (Gambar 1). Kesimpulan ini didukung dari data rekaman seismik, yaitu di sepanjang jalur prisma akresi dilintasi oleh Sesar Mentawai sebagai sesar mendatar regional (Permana, dkk., 2010) (Gambar 2). Secara teoritis, untaian pulau-pulau kecil di sebelah barat Pulau Sumatra dapat terbentuk melalui mekanisme *pop-up* dari Sesar Mentawai yang bersifat *transpresional*, dan dapat pula terjadi melalui mekanisme sesar oblik naik akibat langsung dari subduksi miring dari ujung utara hingga selatan Pulau Sumatra.

Dari kumpulan data *strike dip* lapisan batuan sedimen yang diukur langsung di lapangan, menunjukkan sebagian besar berarah barat-laut-tenggara sejajar dengan pola punggung perbukitannya. Data ini menunjukkan pola punggung perbukitan sedimen lebih dikendalikan oleh struktur

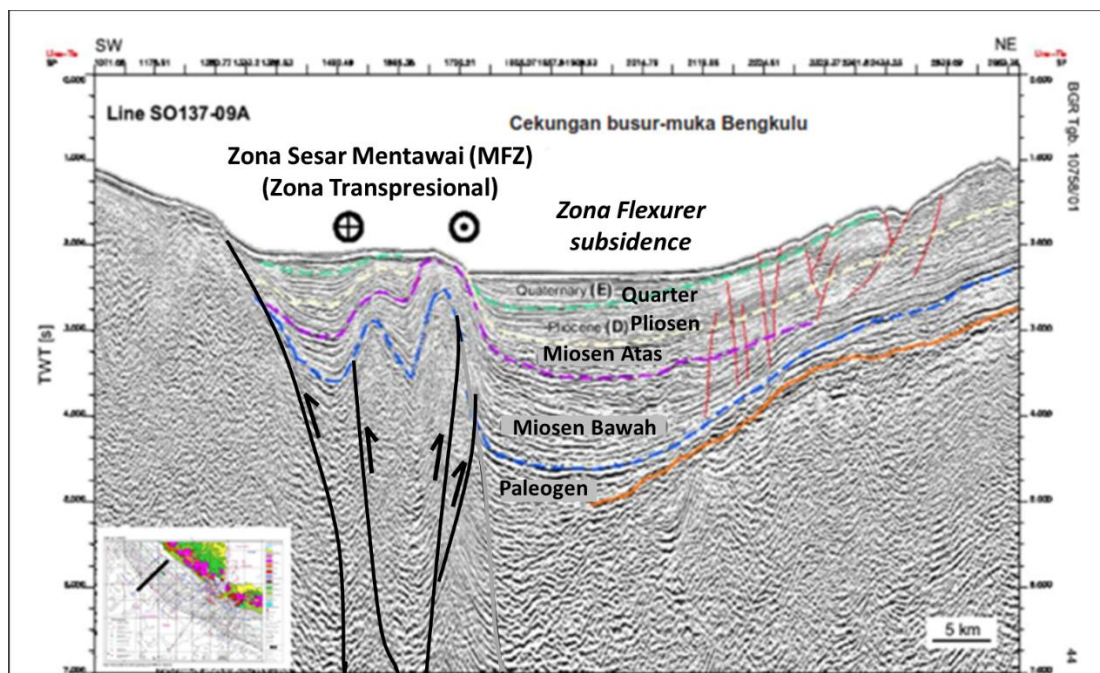
lipatan dan sesar naik, dibandingkan struktur sesar mendatarnya. Salah satu bukti yang memperkuat kesimpulan ini adalah dari hasil interpretasi pola jurus yang menunjukkan Bukit Garba dikontrol oleh struktur antiklin menunjam. Struktur lipatan inilah yang menyebabkan batuan sedimen Palogen-Neogen menyebar melingkari basement hingga ke bagian ujung tunjaman antiklinnya. Apabila sebaran batuan sedimen di lokasi ini saling sejajar dengan tubuh singkapan batuan dasarnya, maka bisa terjadi di dalam struktur geologi berupa *positive flower structure*. Namun faktanya di daerah tersebut tidak dijumpai struktur sesar mendatar yang ukurannya regional seperti Sesar Sumatra, Sesar Musi, Sesar Pematang dan sesar mendatar lainnya yang berukuran lebih besar. Keberadaan struktur sesar di Bukit Garba yang digambarkan pada lembar peta geologi regional Lembar Lahat dinyatakan sebagai sesar-sesar mendatar yang berukuran lokal atau kecil (Gafoer, dkk., 1993). Struktur sesar seperti yang digambarkan pada seluruh peta regional di Pulau Sumatra, kemungkinan besar sebagai naik atau setidaknya sebagai sesar oblik (naik mendatar), bukan sebagai sesar mendatar atau sesar mendatar naik (Gambar 3). Tersingkapnya batuan berumur tua (batuan dasar dan batuan sedimen Paleogen) di dalam zona Sesar Sumatra terjadi melalui mekanisme *positive flower structure* (Gambar 3).

Di ujung timur rangkaian Bukit Barisan Sumatra Tengah, yaitu di daerah Kampar dan sekitarnya, tersingkap batuan sedimen berumur Paleogen. Rangkaian perbukitan

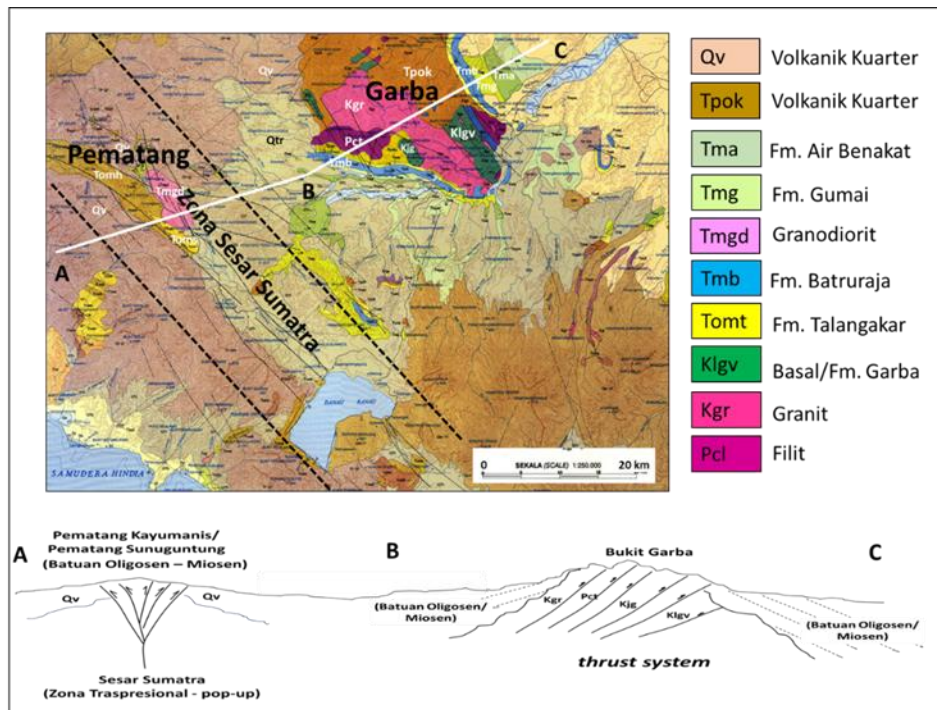
sebagai batas jalur orogenesis dengan cekungan belakang busur di sebelah timurnya. Melalui pemetaan struktur geologi di daerah Kampar, hampir semua struktur lipatan pada batuan berumur Palogen hingga Neogen termasuk ke dalam jenis lipatan terbuka (*open fold*) hingga lipatan sedang (*moderate fold*), hanya pada satu lokasi yang memiliki kemiringan lapisan yang terjal pada batuan berumur Neogen (N270E/80) yang disimpulkan pembentukannya berhubungan dengan sesar naik berukuran kecil atau lokal. Indikasi struktur sesar yang ditemukan di lapangan berupa cermin sesar, lipatan seret dan breksi sesar yang pembentukannya berasosiasi dengan sesar naik hingga sesar *oblique* naik. Mengacu kepada penampang ideal sistem tumbukan lempeng di Pulau Sumatra, daerah Kampar dan sekitarnya sebagai *wedge-top* yang di dalamnya berkembang sesar-sesar naik yang berstatus sebagai *fore thrust*. Ke arah timur dari zona *wedge-top* merupakan bagian dari cekungan belakang busur dengan bentang alam berupa perbukitan bergelombang lemah yang disusun oleh batuan sedimen marin berumur Neogen Atas hingga endapan Kuartar. Melalui sesimik di bagian *central deep*, struktur geologi yang berkembang di dalam batuan sedimen berumur Paleogen-Neogen didominasi oleh struktur lipatan dan sesar-sesar naik. Data ini memperkuat kesimpulan sebelumnya bahwa tipe struktur geologi di bagian timur dari rangkaian perbukitan Barisan adalah sistem sesar naik yang berimbrikasi (*imbricate thrust system*)



Gambar 1. jalur subduksi dan pola struktur di Pulau Sumatra. Kedudukan sesar mendatar regional, pola struktur lipatan serja jalur subduksi relatif saling sejajar. Pola struktur di atas lazim terbentuk di dalam habitat struktur *strike slip*.



Gambar 2. Struktur lipatan, sesar naik dan sesar mendatar (Sesar Mentawai) di lingkungan prisma akresi dan cekungan depan busur (Heryanto, 2007; dimodifikasi)



Gambar 3. Tipe struktur melatarbelakangi tersingkapnya batuan berumur tua ke permukaan. Di dalam zona Sesar Sumatra, batuan tertua (Oligosen-Miosen) tersingkap di dalam zona *transpresional* Sesar Sumatra (*positive flower structure*), sedang di lokasi Bukit Garba batuan tertua (Mesozoikum) tersingkap akibat sesar-sesar naik (*thrust system*). Penjelasan di dalam teks.

Di daerah Natal Sumatra Utara, pola struktur geologi yang berkembang di dalamnya, berhubungan juga dengan tektonik kompresi dengan indikasi, antara lain kedudukan kedudukan lapisan batuanannya memiliki kemiringan di atas  $40^\circ$ , ditemukan banyak struktur lipatan seret dengan densitas struktur kekar yang relatif tinggi. Secara regional daerah ini berada di dalam lingkungan tektonik cekungan depan busur yang di dalamnya lazim berkembang struktur geologi yang berhubungan dengan sistem sesar naik yang disertai pergeseran secara lateral.

Di daerah Mana Provinsi Bengkulu, struktur geologinya masih mengikuti Pola Sumatra, walaupun di beberapa lokasi ditemukan kedudukan *strike dip* lapisan batuan dengan arah berlainan. Perbedaan pola jurus di lokasi ini mengindikasikan adanya lipatan seret yang diakibatkan oleh sesar mendatar. Sesar mendatar ini berstatus sebagai *tear fault* dengan kedudukan relatif barat-timur. Di

lokasi ini banyak ditemukan lapisan batuan dengan kemiringan terjal di atas  $50^\circ$  hingga tegak (Gambar 3). Indikasi adanya struktur sesar selain ditentukan dari hasil interpretasi citra indraja, juga berdasarkan data lapangan berupa lipatan seret, adanya perubahan sudut kemiringan lapisan yang sangat kontras dalam jarak yang berdekatan, banyak ditemukan lapisan batuan tegak di sepanjang kelurusan Sungai Mana dan berdasarkan hasil rekontruksi pola jurus menunjukkan adanya indikasi pensesaran. Lapisan batuan tegak dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu terjadi di dalam zona *steep over* yang bersifat *transpresional* (*positive flower structure*) atau murni terjadi di dalam sistem sesar naik (*thrust system*). Dikaitkan dengan aktivitas tumbukan lempeng sekarang, daerah Mana ini berada di dalam lingkungan tektonik cekungan depan busur yang diapit oleh dua sesar mendatar regional, yaitu Sesar Mentawai dan Sesar Sumatra.



Gambar 3. Tektonik kompresional membentuk lapisan tegak, densitas kekar yang tinggi serta lipatan seret, sebagai indikasi adanya sesar-sesar naik.

Fenomena sistem sesar naik juga dapat diamati melalui geomorfologinya, yaitu orientasi lembah dan tinggian memiliki pola yang relative sama. Geometri lembah dengan bentuk memanjang sempit dapat disimpulkan sebagai *piggie back basin*, misalnya depresi Kampar. Bentuk lembah *ellipsoid* sebagai *pull apart basin*, contohnya Danau Singkarak, Danau Maninjau, Danau Toba dan kemungkinan juga Danau Ranau.

Keberadaan struktur sesar di Pulau Sumatra umumnya bersifat aktif, seperti Sesar Sumatra dan Sesar Mentawai. Sesar Sumatra terletak di jalur perbukitan yang umumnya memiliki kemiringan lereng sedang hingga terjal, sehingga ketika terjadi peristiwa gempa bumi sering diikuti dengan longsor. Di lokasi lain seperti Gempa Nias menyebabkan kerusakan lingkungan. Kedua peristiwa gempa bumi di atas berimplikasi terhadap kepemilikan dan perubahan fungsi lahan yang tentunya bersinggungan dengan kepentingan masyarakat, khususnya yang berkaitan dengan hukum kebencanaan alam.

Hukum kebencanaan alam, yaitu hukum yang mengatur tentang pencegahan, penanggulangan dan pemulihan akibat bencana. Hukum kebencanaan bertujuan untuk memberikan perlindungan hukum kepada masyarakat yang terdampak oleh bencana alam. Pentingnya hukum kebencanaan, karena akibat dari bencana alam tersebut berkaitan dengan nasib masyarakat yang terdampak dari bencana tersebut dan terkait dengan langkah-langkah hukum yang harus dilakukan untuk menanggulangi dampak dan akibat dari pasca bencana alam tersebut. Akibat hukum bencana alam selain terkait dengan aspek lingkungan, juga terkait berbagai aspek hukum lainnya. Dewasa ini telah berlaku prinsip keadilan ekologi, berdasarkan prinsip tersebut, maka lingkungan harus masuk dalam wilayah politis, artinya seluruh komunitas lingkungan harus menjadi bahan

pertimbangan dalam menetapkan suatu kebijakan (Wulfhorst dan Anne, 2004). Keadilan ekologi meliputi dua aspek penting, yaitu perlindungan dan penegakan hukum lingkungan dan keadilan distribusi atas manfaat lingkungan. Semua aspek-aspek tersebut dalam konteks keadilan ekologi dipegang dan menjadi tanggung jawab negara sebagai agen moral. (Irawati dkk, 2021)

Untuk menanggulangi akibat dari bencana alam pemerintah telah menetapkan Undang-Undang No 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana Alam, Peraturan Pemerintah No 21 Tahun 2008 Tentang penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, Peraturan Menteri Dalam Negeri No 33 Tahun 2011 Tentang Pedoman Penanggulangan Bencana di Daerah. Selain telah membentuk berbagai aturan Pemerintah juga telah membentuk Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Namun demikian akibat dari bencana alam lebih luas lagi, tidak hanya merelokasi penduduk yang terdampak, juga perlu memperhatikan hak-haknya yang melekat yaitu hak keperdataan. Hak hak keperdataan terkait dengan hak atas benda tetap dan benda bergerak serta status hukum dari hak keperdataan pasca terjadinya bencana alam. Aspek hukum yang terkait dengan hukum kebencanaan selain hukum tanah juga hukum administrasi negara dan HAM. Aturan ini perlu disosialisasikan sehingga masyarakat yang berdampak paham akan hak-hak dan kewajibannya.

## DISKUSI

Bentangalam di Pulau Sumatra memiliki kemiripan dengan yang terdapat di Pulau Jawa, Sumatra dan Papua, namun latar belakang tektoniknya berlainan yaitu morfologi lembah sempit dan memanjang disimpulkan sebagai *piggie back basin* dari sistem subduksi, sedangkan di Pulau Sumatra bentuk bentangalam seperti itu disimpulkan sebagai akibat *pull-apart* dan *pop-up* dari

sistem sesar mendatar regional. Kesimpulan ini memberikan kesan tidak ada atau sedikit peran tektonik kompresional di Pulau Sumatra, seluruhnya didominasi oleh sistem tegasan *strike slip*. Kesimpulan ini agak membingungkan karena terbentuknya tinggian prisma akresi dan tinggian bukit barisan dengan dimensi yang besar memerlukan gaya kompresi yang sangat besar dibandingkan tegasan *strike-slip*. Tektonik kompresional juga dibuktikan dengan terbentuknya pola struktur lipatan dan sesar-sesar naik di lingkungan di lingkungan cekungan depan busur. Walaupun sebagian dari sesar-sesar naik ini berada di dalam zona transpresional dari jalur sesar yang melengkung (*bend fault*), namun ditemukan juga sesar-sesar naik yang berhubungan dengan struktur lipatan ketat dan posisinya relatif jauh dari sistem sesar mendatar.

### KESIMPULAN

Sesar Sumatra dan Sesar Mentawai adalah contoh dua sesar mendatar regional yang dilatarbelakangi oleh sistem tumbukan lempeng miring antara lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia. Kedua sesar tersebut dijadikan acuan untuk struktur sesar lainnya yang memiliki arah yang sama. Fakta di lapangan menunjukkan indikasi struktur sesar banyak berhubungan dengan tipe struktur sesar naik (*thrust system*), berasosiasi dengan struktur lipatan ketat dan memiliki dimensi yang besar hingga mencapai ratusan kilometer, sedangkan sesar-sesar naik yang terbentuk melalui mekanisme *pop-up* pada zona transpresional, umumnya bersifat lokal hanya mencapai puluhan kilometer.

Alasan kedua bahwa tektonik kompresional di Pulau Sumatra lebih dominan dibandingkan dengan sistem tegasan *strike slip*, adalah subduksi miring di sebelah barat Pulau Sumatra juga membentuk tinggian berupa prisma akresi dan jalur orogenesis yang keduanya memerlukan gaya kompresi yang sangat besar dibandingkan tegasan *strike slip*. Walaupun tektonik kompresi bekerja lebih dominan, namun di dalamnya bekerja tegasan *strike slip*, sehingga sistem struktur sesar naik di Pulau Sumatra (*thrust system*) juga bersifat oblik (naik mendatar).

### DAFTAR PUSTAKA

- Barber, A.J., Crow, M.J., Milsom, J.S. 2005. Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution. Geological Society Memoirs. No. 31. pp 1-290.
- Heryanto, R. 2007. Kemungkinan keterdapatan hidrokarbon di Cekungan Bengkulu. Jurnal geologi Indonesia. Vol.2, No.3. pp. 119-131.

- Irawati, Rini Irianti, Nurul Chotijah. 2021. The Concept of Economic and Social Justice in the Management of Fisheries on the High Seas, *Advances in Social Science, 4th Social and Humanities Research Symposium Education and Humanities Research, Vol 568, pp.243-246*.
- Metcalf, I. 2011. Tectonic framework and Pjhanerozoic evolution of Sundaland. *Gondwana Research* 19. pp 3-21.
- Permana, H., handayani, L., Gaffar, E.Z. 2010. Studi Awal Pola Struktur Muka Busur Aceh, Sumatra Bagian Utara (Indonesia): Penafsiran dan Analisis Peta Batimetri. Jurnal Geologi Kelautan. Vol. 8, No.3, pp. 105-118.
- Sapiie, B., Hadiana, M., Nugraha, I., Sayentika. 2005. Analogue Modeling Of Rift Mechanism In The Paleogene Graben Sistem Of Western Indonesia. Proceedings Indonesian Petroleum Association. 3<sup>th</sup> Annual Convention and Exhibition. P. 593-604.
- Wulforth, J.D. Haugstad, A.K. 2004. *Future as fairness ecological Justice and Global Citizenship*, Amsterdam, pp. 2-3.

