

DEFORMASI KOMPLEKS DI PULAU SIMEULUE, SUMATRA: INTERAKSI ANTARA STRUKTUR DAN DIAPIRISME

COMPLEX DEFORMATION IN SIMEULUE ISLAND, SUMATRA: INTERPLAY BETWEEN STRUCTURE AND DIAPIRISM

**Sonny Aribowo¹, Lina Handayani², Nugroho D. Hananto², Karit L. Gaol²,
Syuhada³, Titi Anggono³**

¹ UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana, Liwa

² Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI,

³ Pusat Penelitian Fisika LIPI

ABSTRAK. Kompleks prisma akresi memiliki karakteristik morfologi yang unik sebagai hasil dari proses deformasi dan sedimentasi yang berkembang di daerah tersebut. Pulau Simeulue merupakan salah satu contoh pulau yang terbentuk pada prisma akresi. Studi geologi dilakukan untuk menggambarkan keadaan struktur geologi yang terbentuk di Pulau Simeulue yang berhubungan dengan mekanisme pembentukan sesar-sesar anjak pada prisma akresi, pembentukan kompleks batuan bancuh dan mekanisme kubah lumpur. Morfologi dan struktur geologi Pulau Simeulue dipetakan melalui interpretasi citra dan survey lapangan. Citra yang digunakan dalam studi ini adalah citra Landsat TM5, Landsat 8 dan Aster-GDEM. Tumbukan di bagian muka deformasi mengakibatkan berkembangnya struktur berupa sesar-sesar naik dan anjak dimana di bagian utara-timurlaut cenderung lebih naik daripada bagian selatan-baratdaya. Berdasarkan hasil interpretasi citra, sesar-sesar yang berkembang tersebut umumnya merupakan sesar-sesar anjak berarah palung (*trenchward-vergence thrusts*). Berdasarkan hasil pengukuran fitur struktur di lapangan dan rekonstruksi lipatan di Pulau

Simeulue, perkembangan struktur anjak juga terjadi secara *out-of-sequence* yang mengakibatkan teraktifkannya sesar anjak berarah busur (*arcward-vergence thrusts*). Sesar anjak berarah palung dapat diinterpretasikan sebagai *backthrust fault* dari sebuah mekanisme *backstop* di bagian belakang prisma akresi. Sesar-sesar anjak ini dapat dikaitkan dengan keberadaan kubah lumpur (*mud diapir*) yang jejaknya juga ditemukan di beberapa lokasi di Pulau Simeulue. Hal-hal tersebut mendukung teori bahwa kompleks batuan mélange di Pulau Simeulue terbentuk melalui proses *mud diapirism* yang muncul melalui sesar-sesar anjak.

Kata kunci: Pulau Simeulue, kompleks mélange, prisma akresi, sesar anjak, mud diapir, kompleks subduksi.

ABSTRACT. *The accretionary prism complex has unique morphological characteristic as a result of deformation and sedimentation processes that develop in the area. Simeulue Island is one example of the islands in the accretionary complex. Geological study was arranged to map geological structure and morphology of Simeulue Island by satellite images interpretation and field survey. We use Landsat TM 5, Landsat 8 and Aster-GDEM imageries for morphology and structural geology interpretation. The collision in the deformation front has generally developed reverse and thrust faults in the Simeulue Island. The north-northeast blocks tend to be higher than the south-southwest blocks. Based on imagery interpretation, the dominant thrusts are the trenchward-vergence*

Naskah masuk : 11 Juni 2014
Naskah Revisi : 9 Oktober 2014
Naskah diterima : 19 November 2014

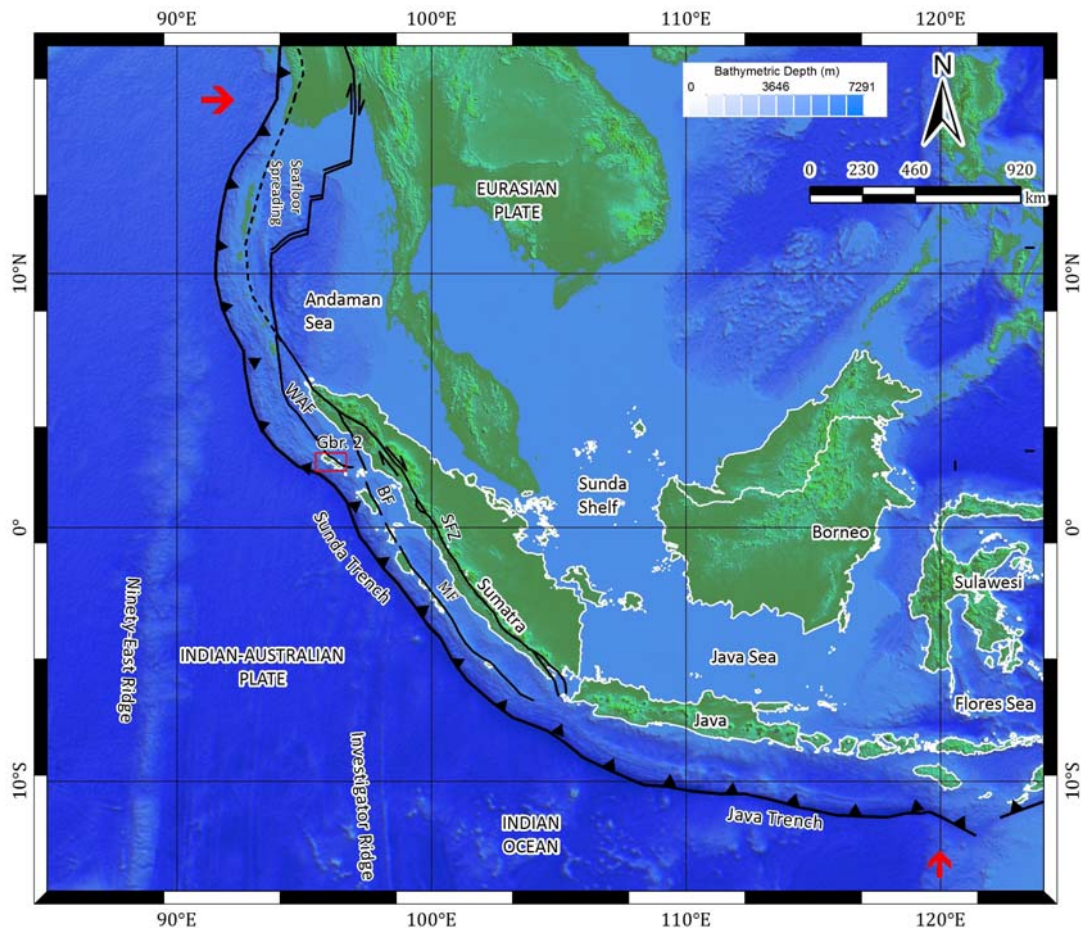
Sonny Aribowo
UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi
Bencana, Liwa, Pekon Padangdalam, Kecamatan
Balikbukit, Liwa, Lampung Barat
email : aribowo.son@gmail.com

thrusts. Measurement of structural features and folds reconstruction indicated the existence of the out-of-sequence thrusts, which might activated the arcward-vergence thrust. This arcward-vergence thrust could be interpreted as a backthrust fault of a backstop mechanism in the inner accretionary prism. The thrusts might be correlated to the mud diapirisms that were also found in some locations in the island. The finding of thrusts and mud diapirism traces concurred to the theory that the mélangé complexes in subduction zones were formed through mud diapirism that facilitated by backthrust faults.

Keywords: Simeulue Island, mélangé complex, accretionary prism, backthrust faults, mud diapir subduction complex.

PENDAHULUAN

Pulau Simeulue merupakan salah satu pulau yang terbentuk di bagian barat pulau Sumatra serta bagian dari prisma akresi zona subduksi Sunda. Zona subduksi Busur Sunda yang terbentang dari Andaman hingga Sumba memiliki karakter busur muka yang bervariasi. Adanya deretan pulau-pulau kecil di sepanjang sisi barat Sumatera berkaitan erat dengan pengangkatan dan menunjukkan tingginya tingkat sedimentasi di daerah ini, dimana pembentukannya berkaitan erat dengan pasokan sedimen dalam jumlah besar dari India ke arah Busur Sunda. Pulau-pulau tersebut antara lain Pulau Simeulue, Pulau Nias, Kepulauan Pagai-Sipora, Kepulauan Mentawai, Pulau Siberut, dan Pulau Enggano. Sementara di sepanjang busur selatan Jawa hingga Sumba



Gambar 1. Peta topografi regional Busur Sunda, tanda panah merah merupakan batas-batas dari Busur Sunda. Batimetri regional bersumber dari *British Oceanographic Data Centre* (2009). MF : Mentawai Fault (Diament, 1992), SFZ : *Sumatran Fault Zone* (Sieh dan Natawidjaja, 2000), BF : *Batee Fault*, WAF : *West Andaman Fault* (Malod dan Kemal, 1996).

tidak ditemukan pulau-pulau kecil, walaupun peta batimetri menunjukkan adanya tinggian di sepanjang daerah busur muka.

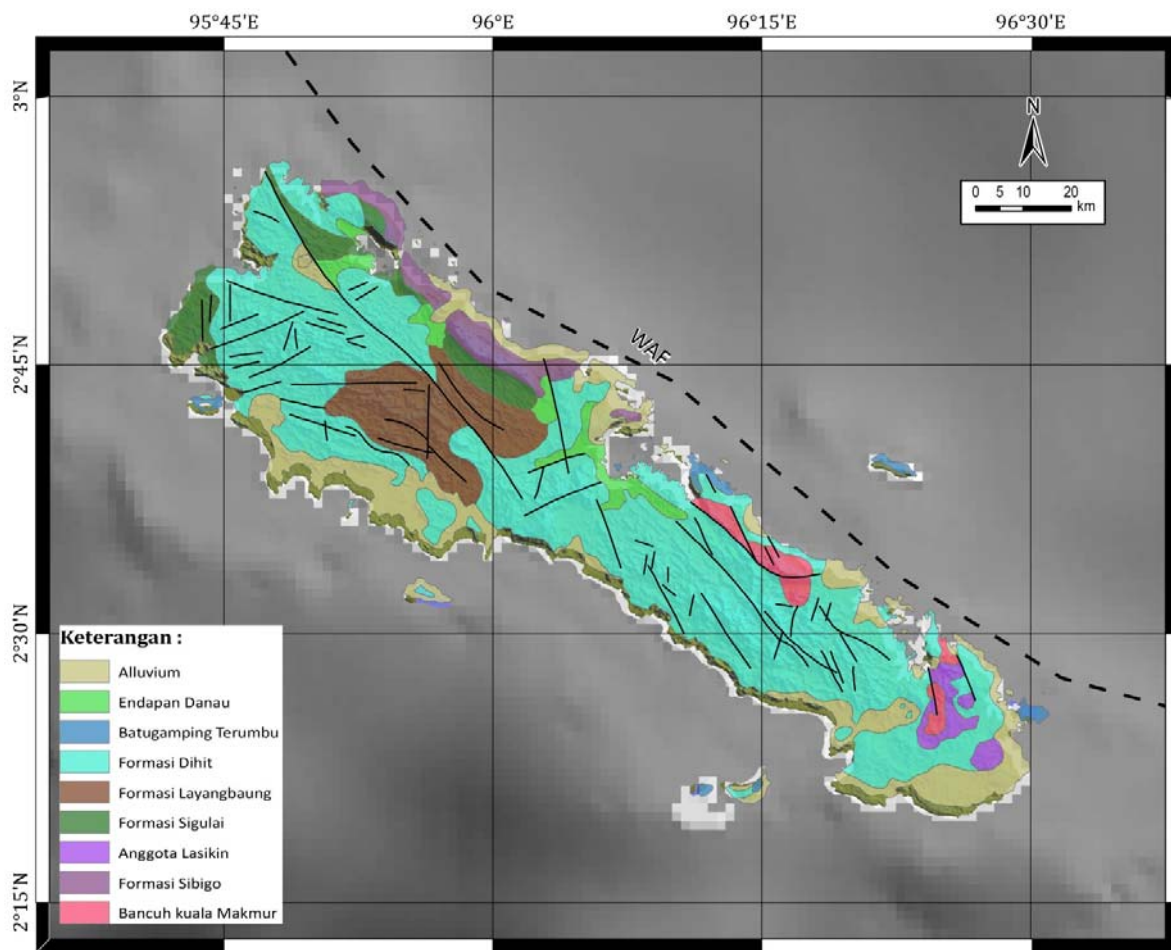
Posisi Pulau Simeulue berada di bagian utara busur muka Sumatera sangat dipengaruhi oleh aktifitas tektonik yang sangat aktif (Gambar 1). Di sepanjang busur muka Sumatera terdapat Zona Sesar Mentawai (MFZ) yang terpetakan dimulai dari sekitar Kepulauan Mentawai hingga di ujung selatan Busur Muka Sumatera (Mukti *et al.*, 2012; Diament *et al.*, 1992). Zona sesar ini terbentuk di antara pulau-pulau prisma akresi dengan cekungan busur muka. Sementara di bagian utara Zona Sesar Mentawai telah terpetakan Sesar Andaman Barat (WAF) dan Sesar Batee (BF) (Malod & Kemal, 1996). Di sepanjang Pulau Sumatera sendiri terdapat Zona Sesar Sumatera (SFZ) yang terbentang dari Andaman di ujung utara sampai ujung selatan Pulau Sumatra dengan pergerakan sesar mengangan (Sieh & Natawidjaja, 2000). Zona-zona sesar mengangan ini terdiri dari beberapa segmen sesar dengan pergerakan tertinggi di Andaman dan terkecil di daerah lampung 6 ± 4 mm/ tahun (Bellier *et al.*, 1991) dan 10 ± 4 mm/thn (Pramumijoyo *et al.*, 1994). Zona-zona sesar ini terbentuk sebagai akibat dari penunjaman miring zona subduksi di sepanjang Sumatera (Malod & Kemal, 1996; Mc Caffrey, 1992).

Prisma akresi mempunyai ciri morfologi dan struktur yang khas, yang telah dikenali dari data-data seismik refleksi (Davis *et al.*, 1983; Karig *et al.*, 1979; Schluter *et al.*, 2002; Kopp *et al.*, 2008, Mukti *et al.*, 2013). Selain struktur yang khas, daerah prisma akresi juga ditandai oleh kehadiran batuan bancuh. Karig *et al.* (1979) dan Moore & Karig (1980) mengatakan bahwa bancuh merupakan hasil dari aliran debris dan reaktifasi kompleks akresi secara terus-menerus yang juga membentuk bidang-bidang sesar naik. Namun untuk kasus pulau-pulau di sisi barat Sumatra, tampaknya kompleks batuan bancuh terbentuk sebagai akibat kubah lumpur (*mud diapir*) di daerah cekungan sedimen di puncak kompleks akresi. Bahkan *over pressure* pembentuk *diapiric mélange* masih dalam proses pembentukan saat ini (Barber, 2013).

Marschall & Schumacher (2012) yang menggabungkan hasil penelitian petrologi, geofisika, geokimia dan model numerik telah menggambarkan pembentukan bancuh pada prisma akresi dalam dua tahapan proses. Pertama, formasi batuan bancuh terbentuk di pertemuan antara lempeng tersubduksi dan mantel. Kemudian, material bancuh yang memiliki densitas relatif lebih rendah naik dari permukaan lempeng tersubduksi ke permukaan dalam bentuk kubah lumpur. Salah satu kemungkinan jalan untuk naik ke permukaan adalah melalui sesar anjak balik (Hulme *et al.*, 2010; Kopf, 2002).

Sepanjang busur Sumatra, salah satu struktur geologi yang unik adalah ditemukannya bukti adanya sesar anjak balik (*backthrust*) di daerah prisma akresi (Mukti *et al.*, 2012). Apabila struktur sesar anjak balik ini dicermati pada penampang seismiknya, akan tampak bahwa sesar anjak balik pada segmen yang telah mengalami gempa besar akan menunjukkan adanya penguatan sinyal seismiknya (Singh *et al.*, 2011b). Penguatan sinyal pantulan seismik ini boleh jadi disebabkan karena bertambahnya kandungan cairan (fluida) di sepanjang sesar anjak balik yang disebabkan oleh perubahan tekanan sepanjang sesar anjak balik tersebut. Data seismik juga menunjukkan bahwa sesar anjak balik ini menerus hingga ke dasar samudera (Singh *et al.*, 2011a). Pada bagian selatan cekungan muka busur Sumatra di Kepulauan Mentawai, diketahui bahwa sesar anjak balik ini berkaitan dengan adanya kubah lumpur (*mud diapir*) (Mukti *et al.*, 2012).

Analisis data seismik refleksi di lepas pantai barat Pulau Simeulue menunjukkan bahwa prisma akresi ini merupakan prisma akresi yang sempit dengan lebar rata-rata 100 km dan curam. Ujung dari prisma akresi yang dekat dengan palung menunjukkan sesar anjak yang berarah ke palung dan ke darat (McNeill & Henstock, 2013). Sementara itu di bagian barat laut Pulau Simeulue, perkembangan prisma akresi menunjukkan sesar anjak yang mengarah ke palung dimana bagian yang naik adalah blok yang berada di timurlaut (Berglar *et al.*, 2010).

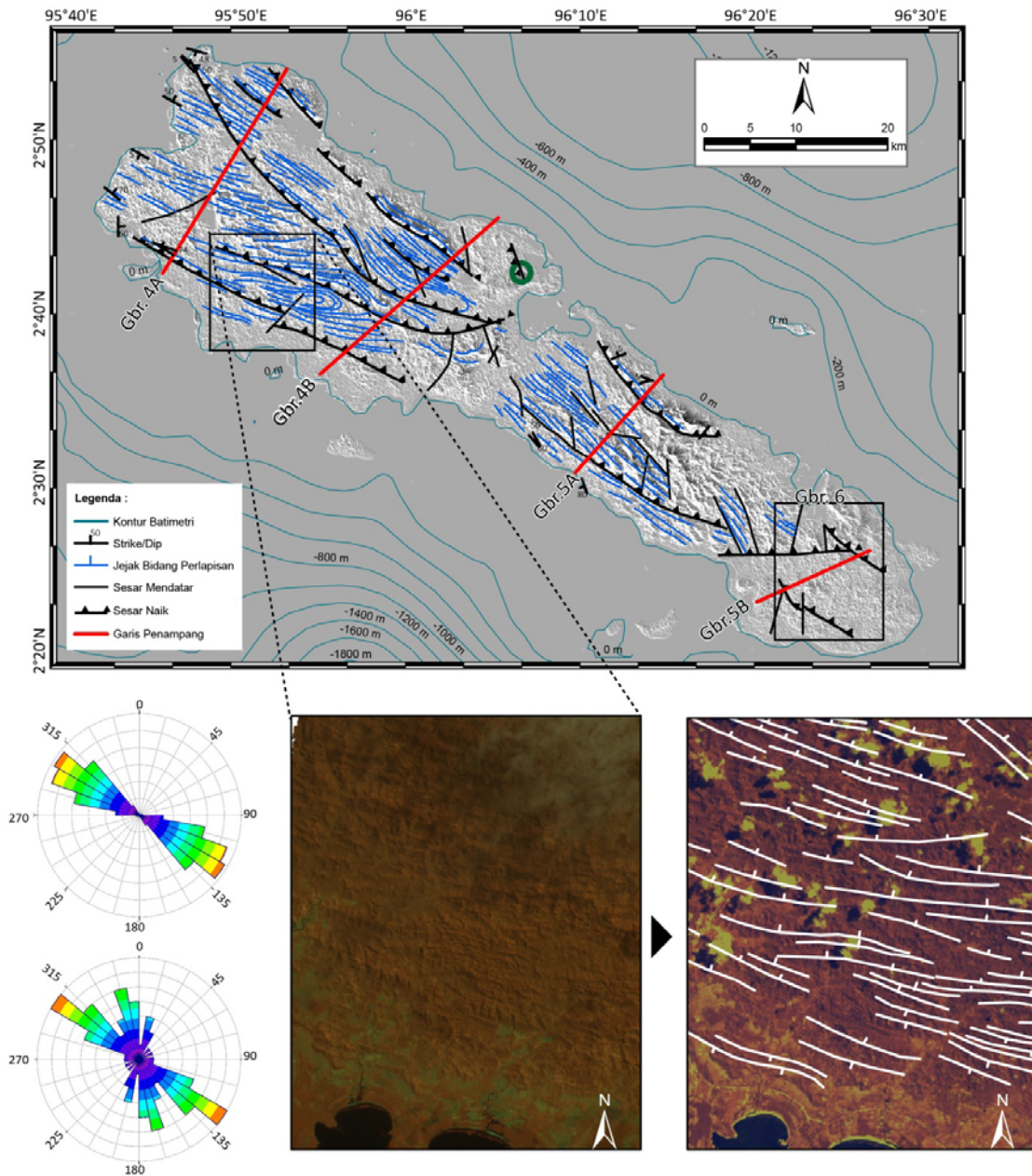


Gambar 2. Peta geologi regional Pulau Simeulue (modifikasi dari Endharto dan Sukido, 1994). Batimetri regional bersumber dari *British Oceanographic Data Centre* (2009).

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Pulau Simeulue umumnya tersusun atas batuan sedimen yang berupa batupasir, batulempung dan batugamping yang termasuk ke dalam Formasi Sibigo, Anggota Lasikin, Formasi Sigulai, Formasi Layabaung, Formasi Dihit, dan kompleks batugamping terumbu. Endapan batuan sedimen ini berumur Miosen Awal-Holosen. Batuan mélange yang muncul di Pulau Simeulue termasuk ke dalam Bancuh Kuala Makmur yang berumur Oligosen (Gambar 2) (Endharto & Sukido, 1994; Aldiss *et al.*, 1993). Sementara itu, sedimen pada busur muka Sumatera diendapkan pada Plio-Plistosen (Barber & Crow, 2005). Struktur geologi yang berkembang antara lain lipatan-lipatan yang terbentuk selama Pliosen Akhir hingga Plistosen dan sesar-sesar dengan arah sesar utama timurlaut-baratdaya dan

baratlaut-tenggara (Endharto & Sukido, 1994; Aldiss *et al.*, 1993).

Studi ini bertujuan untuk menggambarkan keadaan struktur geologi yang terbentuk di Pulau Simeulue yang berhubungan dengan mekanisme pembentukan sesar-sesar anjak pada prisma akresi, mencari lokasi-lokasi adanya kompleks batuan bancuh serta mengenali daerah-daerah yang mungkin merupakan lokasi kubah lumpur. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan melakukan interpretasi citra Landsat dan survey lapangan untuk mendapatkan data geologi, baik itu litologi dan struktur, untuk membantu memahami karakter pulau sebagai bagian dari kompleks subduksi. Selain itu, dengan asumsi bahwa kubah lumpur terbentuk melalui mekanisme sesar naik (*thrust*), maka penemuan lokasi kubah lumpur boleh jadi akan



Gambar 3. Peta hasil interpretasi pada citra. Lingkaran hijau menunjukkan lokasi pengukuran bidang sesar dengan nilai $N330^{\circ}E/20^{\circ}$, pitch 20° S. Diagram mawar bagian atas menunjukkan arah dominan bidang perlipisan. Diagram mawar bagian bawah menunjukkan arah dominan bidang sesar. Gambar citra yang belum diinterpretasi merupakan potongan citra Landsat 5 dan gambar citra dengan interpretasi bidang perlipisan merupakan potongan citra Landsat 8.

menunjukkan letak sesar naik yang tengah aktif. Pemetaan geologi juga diharapkan dapat bermanfaat dalam memetakan tingkat resiko bahaya kegempaan yang ditinjau dari sebaran jenis batuan dasar.

METODE

Interpretasi Citra

Data yang digunakan dalam interpretasi citra adalah data citra Landsat TM5, Landsat 8 dan Aster-GDEM, kedua jenis citra ini diunduh dari

portal USGS: *earth explorer.usgs.gov*. Landsat TM (p130/r58) dengan tanggal akuisisi 11 Juli 1988 digunakan sebagai data dasar interpretasi citra dan Landsat 8 (p130/r058 dan p131/r058) dengan tanggal akuisisi 9 Februari 2014 dan 8 Juni 2014 digunakan sebagai pembandingan untuk keadaan yang aktual. Kombinasi band 4, 5, dan 7 digunakan pada Landsat TM5 dan Landsat 8 menggunakan kombinasi band 6, 7, 9 dengan fusion band 8. Dua citra Aster-GDEM (N02E95 dan N02E96) digunakan untuk membuat penampang model elevasi digital dari daerah penelitian yang memainkan peranan penting dalam interpretasi morfologi, selain itu juga digunakan untuk membantu interpretasi struktur geologi.

Interpretasi kondisi struktur geologi dilakukan secara manual dengan melakukan deliniasi pada kelurusan-kelurusan yang tampak pada citra, kelurusan-kelurusan tersebut bisa merupakan sesar, jejak bidang perlapisan maupun fitur linear lainnya (Gambar 3). Penarikan kelurusan untuk struktur geologi hanya dilakukan untuk sesar-sesar utama (*major faults*). Interpretasi geologi pada citra kemudian dibandingkan dengan peta geologi regional, yaitu Peta Geologi Lembar Sinabang (Endharto dan Sukido, 1994).

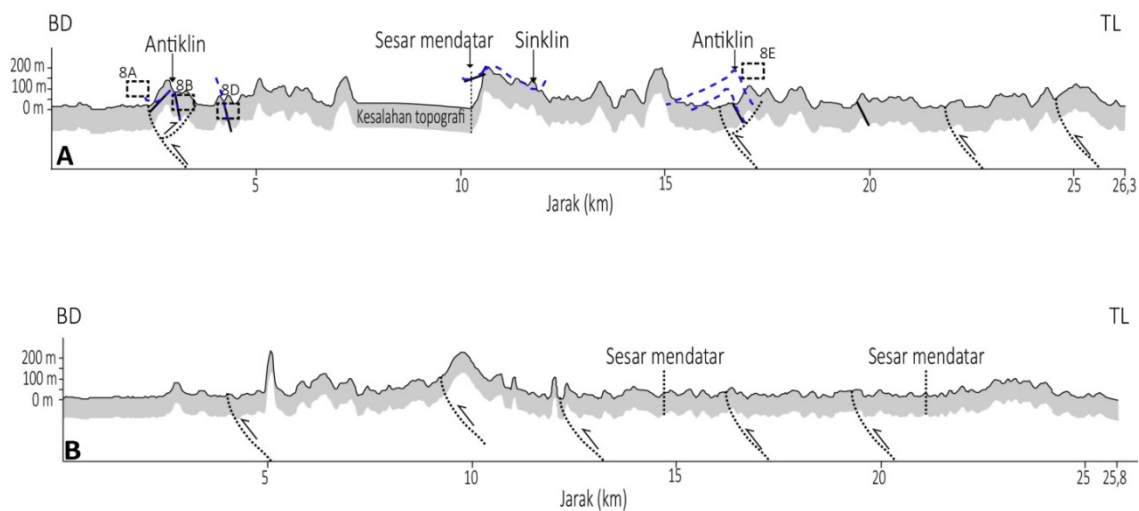
Pengamatan lapangan

Pengamatan lapangan diperlukan untuk mengkonfirmasi hasil interpretasi citra. Pengamatan lapangan meliputi dua aspek. Pertama, pengamatan kenampakan morfologi, diantaranya pengamatan lembah, punggung dan tinggian. Data tersebut direkam ke dalam bentuk fotografi dan gambar sketsa. Kedua, pengamatan geologi dan perekaman data geologi berupa data struktur dan litologi. Untuk data struktur, dilakukan perekaman *strike-dip* bidang perlapisan, cermin sesar, perubahan *dip* bidang perlapisan dan kelurusan morfologi. Perekaman *strike-dip* bidang perlapisan membantu proses rekonstruksi lipatan yang dilakukan dengan metoda interpolasi dengan domain linier (Bons, 2009)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Pulau Simeulue

Secara umum morfologi Pulau Simeulue merupakan pedataran dan perbukitan. Pedataran umumnya terdapat di sekeliling pantai Simeulue. Perbukitan umumnya berkembang di bagian tengah pulau dan merupakan perbukitan sedimen, mengingat bahwa batuan penyusun utama adalah



Gambar 4. Ilustrasi penampang melintang memotong Pulau Simeulue di bagian barat daya dan tengah pulau. Garis biru putus-putus merupakan rekonstruksi lipatan. Garis hitam tebal menunjukkan arah dan besar *dip*. Plot lokasi sesar anjak berdasarkan interpretasi citra. Keterangan lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.

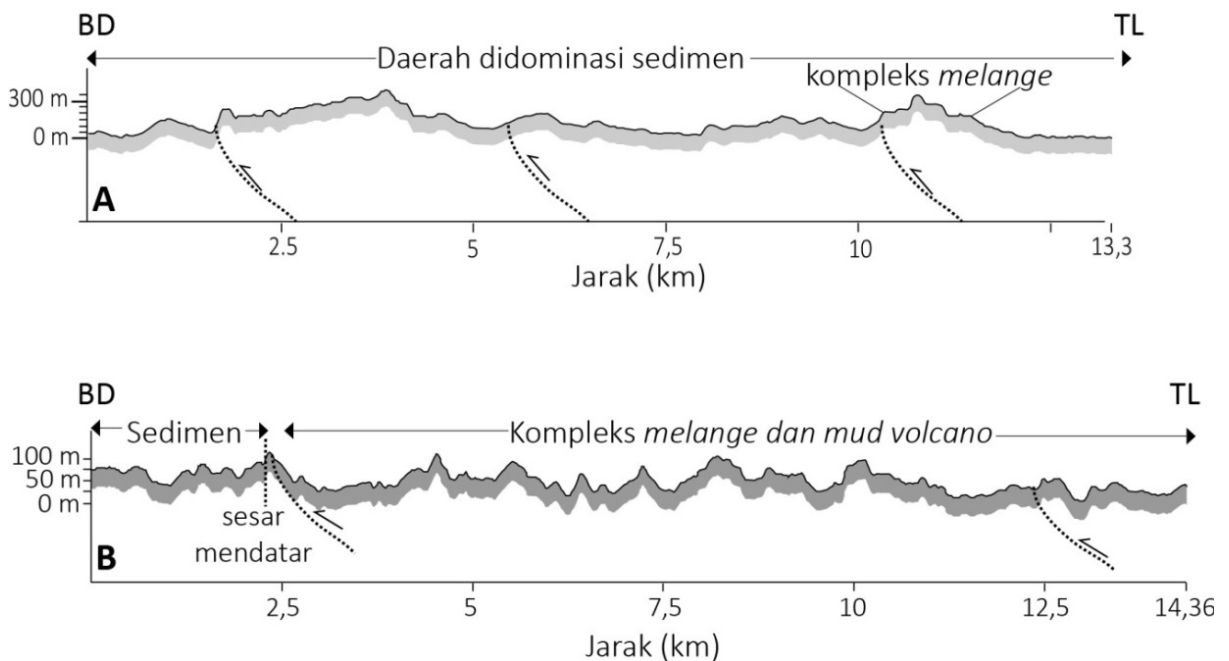
batuan sedimen. Tampak pada citra Landsat maupun Aster-GDEM, rona-rona yang menunjukkan jejak bidang perlapisan. Jejak bidang perlapisan ini tampak pada citra memiliki kemiringan umumnya berarah utara-timurlaut dengan nilai *dip* bervariasi (Gambar 3).

Empat penampang memotong Pulau Simeulue dibuat untuk menggambarkan morfologi daratan Pulau Simeulue, data yang digunakan untuk membuat penampang adalah model elevasi digital dari citra Aster-GDEM. Berturut-turut di bagian barat laut, dua di bagian tengah pulau dan satu di bagian tenggara pulau (Gambar 3). Dengan merujuk kepada peta geologi regional (Endharto & Sukido, 1994), kami menginterpretasikan bahwa penampang di bagian barat laut dan tengah tersusun oleh umumnya batuan sedimen, terlihat pada tekstur morfologi penampang, menunjukkan tekstur yang relatif halus (Gambar 4, 5A). Hal yang berbeda terlihat pada penampang yang diinterpretasikan memotong kompleks melange, dimana tekstur permukaan penampang terlihat lebih kasar (Gambar 5B). Pada penampang juga terlihat rona morfologi yang menunjukkan umumnya terdapat

sesar anjak berarah palung.

Kenampakan pada citra memperlihatkan kelurusan-kelurusan dan juga fitur-fitur yang terlihat konikal dan sirkular. Fitur konikal dan sirkular ini mungkin kurang terlihat pada citra Landsat, tetapi pada citra Aster-GDEM dapat terlihat dengan jelas (Gambar 6). Pada studi ini, kami menginterpretasikan beberapa fitur konikal dan sirkular sebagai kubah lumpur. Kubah lumpur ini tampak pada citra berupa bentukan kerucut yang cembung dan ada juga yang berbentuk cekung menyerupai bentuk kawah pada gunungapi. Daerah yang diinterpretasikan sebagai kubah lumpur ini memiliki lebar ~200 m - 900 m dengan luas ~0,04 km² - 1,33 km², umumnya terdapat di bagian selatan-tenggara pulau. Berdasarkan profil penampang ketinggian maksimum di daerah ini adalah ~100 m.

Konfirmasi adanya kubah lumpur di lapangan sangat sulit dilakukan, hal ini dikarenakan daerah yang diinterpretasikan sebagai kubah lumpur pada citra Aster-GDEM dan Landsat TM5, pada umumnya telah menjadi perkebunan maupun pemukiman. Perkebunan dan pemukiman ini terkonfirmasi oleh kenampakan pada citra



Gambar 5. Ilustrasi penampang melintang memotong Pulau Simeulue di bagian tengah dan tenggara. Plot lokasi sesar anjak berdasarkan interpretasi citra. Keterangan lokasi dapat dilihat di Gambar 3.

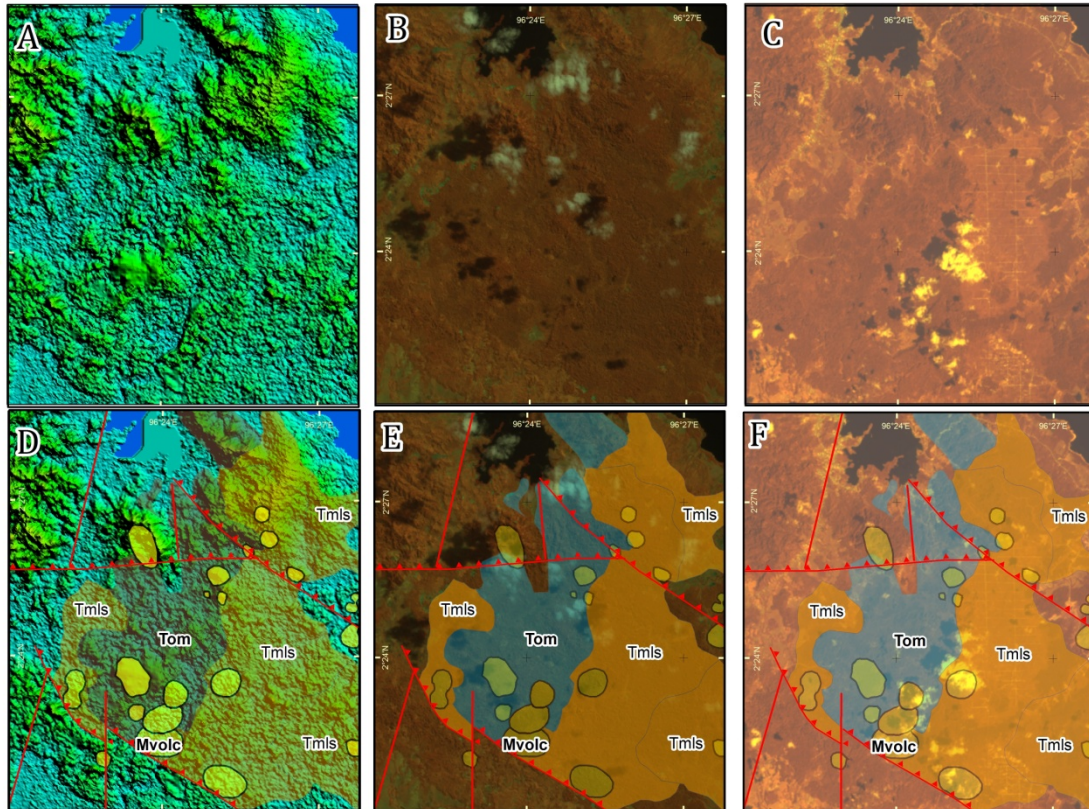
Landsat 8 (Gambar 6C).

Kemungkinan bahwa daerah yang diinterpretasi tersebut bisa saja merupakan daerah kubah lumpur, tampak pada singkapan di lapangan yang terdapat pada saluran-saluran air di jalan-jalan perkebunan tersebut yang mana diinterpretasikan

sebagai penunjuk adanya kubah lumpur (Gambar 7).

Struktur Geologi Pulau Simeulue

Berdasarkan interpretasi struktur geologi pada citra, kami mengidentifikasi adanya fitur-fitur kelurusan. Fitur-fitur kelurusan ini kami anggap



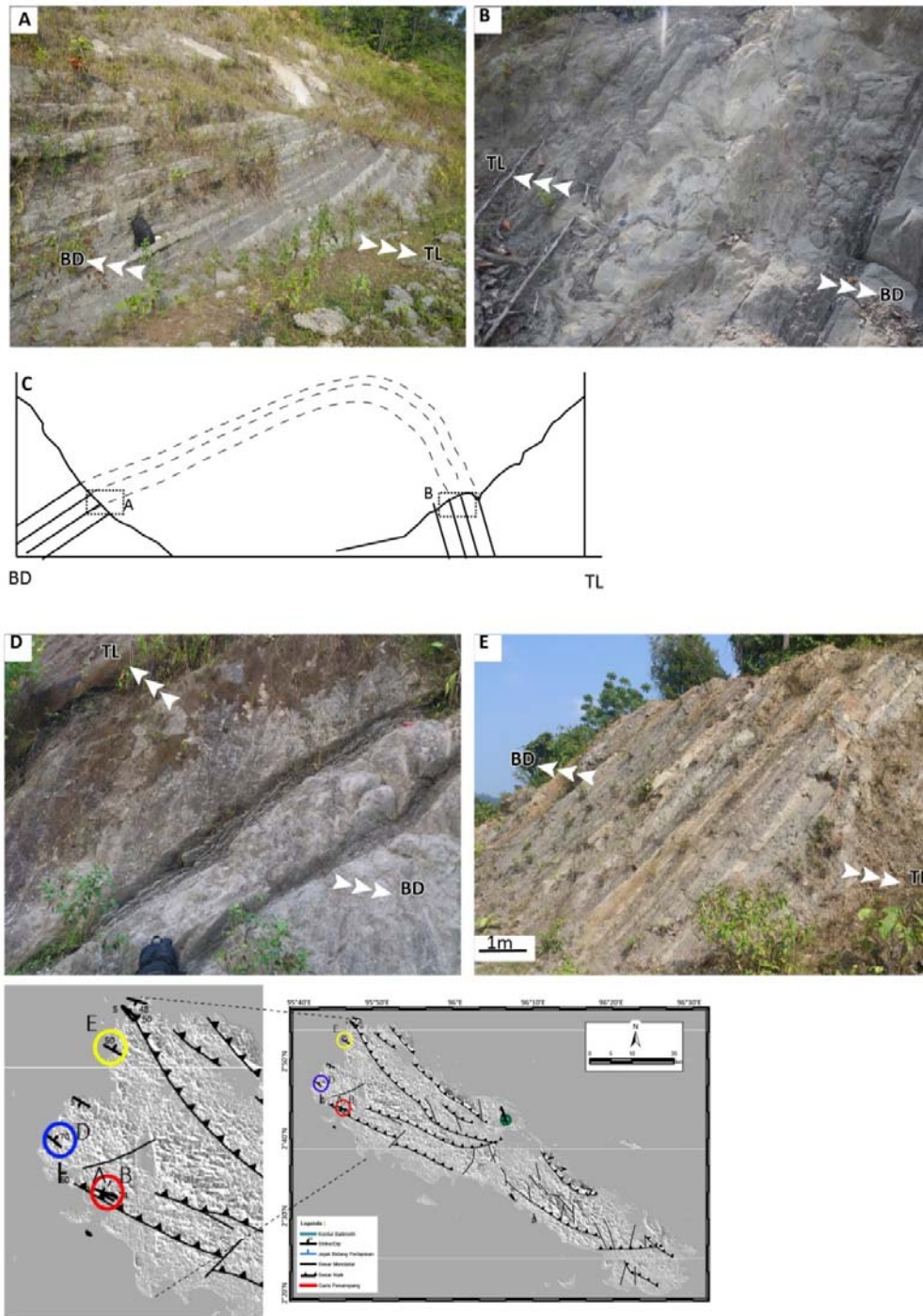
Gambar 6 (A, B, C). Citra yang belum terinterpretasi. Interpretasi kompleks *Bancuh Kuala Makmur* (Tom) dan interpretasi *mud diapir* dan *mud volcano* (Mvolc), dilakukan pada (D) citra Aster-GDEM, (E) citra Landsat TM5 dan (F) citra Landsat 8.



Gambar 7. Singkapan yang diperkirakan merupakan manifestasi kubah lumpur.

sebagai sesar, dan jejak bidang perlapisan dengan melihat rona-rona pada citra yang menunjukkan perbedaan topografi, hanya saja interpretasi

untuk bidang perlapisan terlihat menunjukkan adanya gradasi rona topografi yaitu tampak rona bidang perlapisan maupun rona tebing dengan

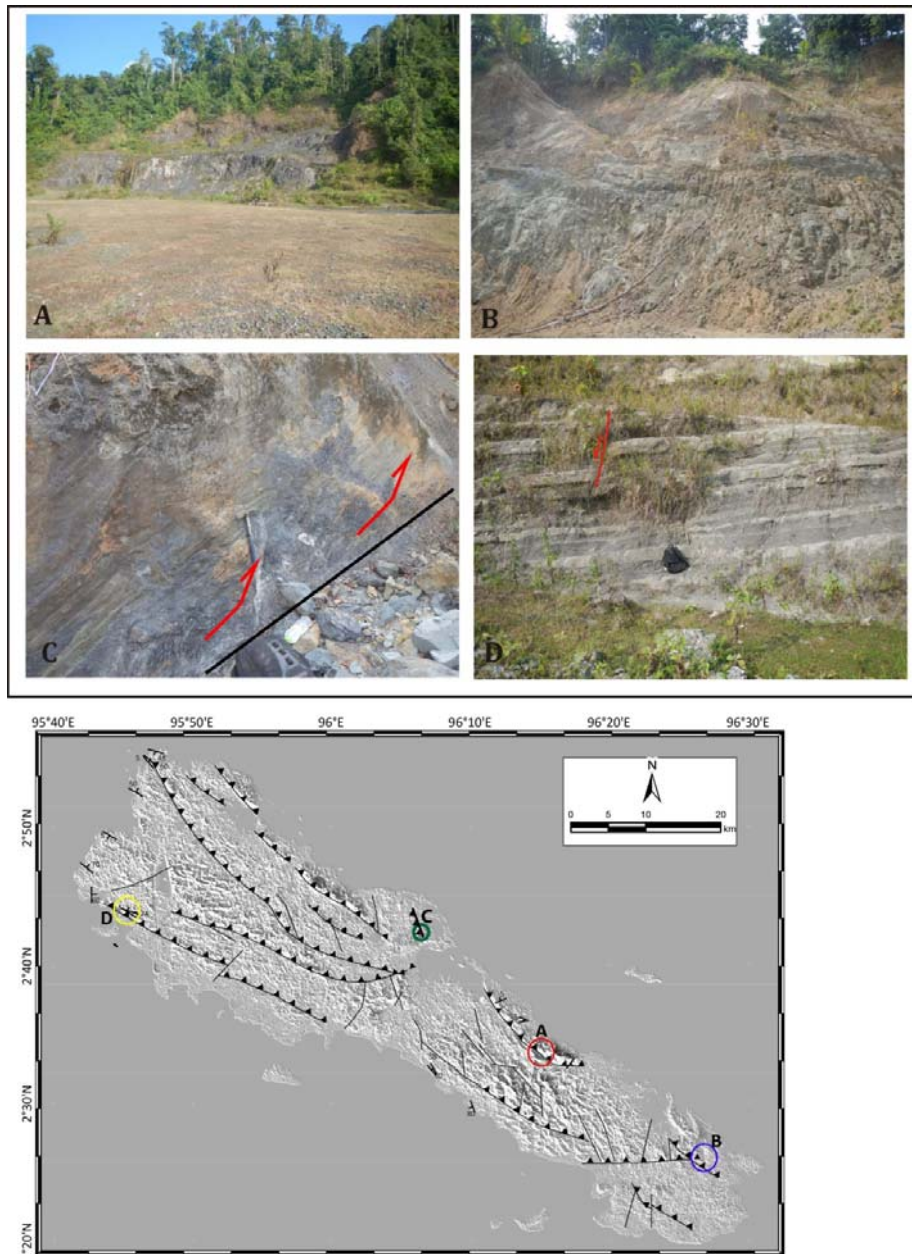


Gambar 8. Kenampakan bidang perlapisan. (A) Bidang perlapisan dengan nilai dip 34° . (B) Bidang perlapisan dengan nilai dip 74° . (C) Rekonstruksi lipatan gambar A dan B. (D) Bidang perlapisan dengan dip 70° . (E) Bidang perlapisan dengan dip 50° .

kemiringan yang terjal (*hogback*) dan rona tebing dengan kemiringan yang landai (*cuesta*). Bidang perlapisan dan sesar yang teridentifikasi ini memiliki arah dominan baratlaut-tenggara yang terlihat pada diagram mawar (Gambar 3).

Kenampakan bidang perlapisan di lapangan terlihat sangat jelas, perlapisan ini terjadi pada

endapan batupasir dengan sisipan lempung dan serpih dengan arah umumnya baratlaut-tenggara dengan nilai dip bervariasi antara 3° - 80° (Gambar 8, Gambar 9D). Deformasi yang terjadi pada bidang perlapisan mengakibatkan terjadinya pelipatan. Kenampakan pada citra kurang menunjukkan adanya rona pelipatan, hal ini



Gambar 9. Kenampakan struktur sesar. (A) dan (B) Sesar anjak yang menyingkapkan melange ke permukaan. (C) *Slicken-side* dengan bidang sesar $N330^{\circ}E / 20^{\circ}$, *pitch* $20^{\circ}S$ di daerah Simpang Koridor, garis hitam menunjukkan arah bidang sesar. (D) Kenampakan pergerakan normal lokal yang kemungkinan disebabkan oleh pembebanan, dengan *offset* ~20 cm.

disebabkan resolusi citra yang rendah yang tidak memperlihatkan bidang-bidang perlapisan dengan dip rendah. Hanya saja konfirmasi bahwa perlipatan berkembang cukup baik pada pulau ini adalah dengan pengukuran *strike-dip* bidang perlapisan di lapangan, yang direkonstruksi pada penampang (Gambar 4A, Gambar 8C). Di dalam penampang 4A terlihat bahwa perlapisan memiliki yang umumnya memiliki dip rendah menunjukkan arah dip relatif baratdaya dan perlapisan yang memiliki nilai dip tinggi menunjukkan arah dip relatif timurlaut. Untuk penampang pada Gambar 8 C, kami mencoba merekonstruksi lipatan pada perlapisan yang kami anggap masih berada pada satu formasi dan jarak antar bidang perlapisan yang satu dengan yang lain tidak terlalu jauh. Bidang perlapisan ini memiliki arah $N125^{\circ}E / 34^{\circ}$ dan $N290^{\circ}E / 74^{\circ}$.

Sesar naik atau anjak pada citra diinterpretasikan berarah baratlaut-tenggara dengan blok utara-timurlaut lebih naik dibandingkan blok selatan baratdaya (Gambar 3). Berdasarkan interpretasi ini kami mengasumsikan bahwa sesar-sesar anjak yang berkembang di pulau merupakan sesar anjak berarah palung. Pada penampang memotong pulau, plot sesar-sesar anjak ini memiliki spasi bervariasi antara $\sim 2,5 - 10$ km (Gambar 8, Gambar 9). Interpretasi adanya sesar anjak balik berarah cekungan yang teraktifkan oleh sesar anjak berarah palung tergambar pada penampang (Gambar 4A km 0-5), dimana sesar anjak balik ini mengganggu bidang perlapisan di atasnya sehingga dip yang berarah timurlaut lebih curam dibanding yang berarah baratdaya. Selain sesar anjak, juga diinterpretasikan adanya sesar mendatar (*strike-slip*) di pulau ini. Sesar mendatar ini diinterpretasikan berarah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut. Umumnya sesar-sesar ini memotong pola jurus bidang perlapisan dan ada juga yang memotong sesar naik (Gambar 3).

Berdasarkan pengamatan data struktur yang didapatkan di lapangan, terkonfirmasi adanya sesar-sesar naik yang mengangkat batuan kerak samudra ke permukaan (Gambar 9A, B). Ditemukan juga bidang sesar di daerah Simpang Koridor dimana bidang sesar ini memiliki nilai $N 330^{\circ}E / 20^{\circ}$ dengan *pitch* 20° S dengan pergerakan anjak. Sesar tersebut mengangkat batuan bancuh dengan fragmen yang bermacam-macam tersingkap di permukaan menerobos endapan sedimen batulempung (Gambar 9C). Selain sesar

dengan pergerakan anjak, pada beberapa lokasi menunjukkan adanya pergerakan normal yang sifatnya lokal (Gambar 9D).

Sesar Anjak Balik dan Kubah Lumpur

Pulau Simeulue diinterpretasikan merupakan puncak busur luar dari sebuah sistem akresi. Asumsi ini didasarkan kepada topografi Pulau Simeulue sebagai salah satu pulau yang terangkat ke permukaan dan berdasarkan kepada model ilustrasi fitur cekungan mukabusur (McNeill & Henstock, 2013). Pada daerah lepas pantai Simeulue puncak busur luar ini adalah tinggian Simeulue (*Simeulue plateau*), Singh *et al.*, 2008).

Di Pulau Simeulue teridentifikasi adanya fitur morfologi dengan bentuk sirkular dan konikal yang diinterpretasikan sebagai bagian dari kubah lumpur (*mud diapir*). Fitur-fitur konikal yang cembung dan terkadang berbentuk cekung seperti kawah ini umumnya diidentifikasi sebagai kubah lumpur (Dimitrov, 2002; Akesson, 2008). Gunung lumpur merupakan lumpur-lumpur dan fragmen batuan yang menerobos ke permukaan. Oleh karenanya gunung lumpur ini berasosiasi dengan sesar naik yang mengangkat bongkahan-bongkahan bancuh ke permukaan (Williams *et al.*, 1984; Barber *et al.*, 1986 dalam Reed *et al.*, 1989; Barber, 2013). Kompleks bancuh Kuala makmur terpetakan di Pulau Simeulue yang mana munculnya di permukaan berhubungan erat dengan subduksi di Samudra Hindia (Endharto & Sukido, 1994). Terlihat pada interpretasi citra, keberadaan kubah lumpur ini berasosiasi dengan kompleks bancuh Kuala makmur dan Anggota Lasikin (Gambar 6). Anggota Lasikin ini tersusun atas konglomerat aneka bahan yang terdiri dari kepingan batuan ultrabasa, gabbro, kuarsa dan rijang (Endharto & Sukido, 1994).

Berdasarkan hasil interpretasi, sesar-sesar utama yang terbentuk di Simeulue merupakan sesar naik atau anjak yang berarah baratlaut-tenggara dimana blok utara timurlaut lebih naik dibandingkan dengan blok selatan baratdaya yang mencerminkan sesar anjak berarah palung (*seaward-vergence thrust fold*). Pada peta geologi regional juga terpetakan sesar-sesar berarah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut (Gambar 2) dimana pada peta geologi regional diinterpretasikan adanya sebuah sesar mendatar dekstral yang juga memiliki komponen naik, dimana bagian yang naik adalah blok utara,

sesar ini dinamakan sesar Pagaja (Endharto dan Sukido, 1994). Pada kompleks prisma akresi, sesar yang dominan berkembang adalah sesar-sesar anjak yang berarah palung dengan *dip* berarah cekungan (McNeill & Henstock, 2013). Pada penampang seismik di sekitar lepas pantai Simeulue tergambar bahwa kompleks prisma akresi Simeulue dominan berkembang sesar anjak berarah palung (Berglar *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2008; Shulgin *et al.*, 2013).

Struktur yang berkembang juga dengan baik di Pulau Simeulue adalah struktur lipatan. Perlipatan pada citra kurang terlihat dengan baik, namun hasil pengamatan di lapangan berupa perbedaan arah *strike* dan *dip* dapat teridentifikasi. Hasil pengamatan pada dua lokasi menunjukkan identitas bidang perlipatan yang mencerminkan suatu perlipatan yaitu N290°E / 74° dan N125°E/34° (Gambar 8). Bidang perlipatan ini menggambarkan sayap lipatan dengan *dip* ke arah timurlaut lebih curam daripada sayap yang berarah baratdaya. Lokasi kedua bidang ini berada dekat dengan sesar yang diinterpretasikan merupakan sesar dengan *dip* berarah timurlaut (*dip* berarah cekungan). Hanya saja karakteristik sayap lipatan seperti ini justru menunjukkan tipikal sesar dengan *dip* yang berarah sebaliknya. Dimana sayap lipatan yang rendah sebanding dan searah dengan *dip* bidang sesar (Rowland *et al.*, 2007). Berdasarkan kondisi seperti ini kami menginterpretasikan adanya sesar dengan *dip* berarah palung.

Sesar dengan *dip* berarah ke palung ini merupakan sesar anjak berarah cekungan yang aktif atau teraktifkan di dalam prisma yang lebih tua oleh sesar *out of sequence* atau batas *backstop* dari prisma akresi (Kopp & Kukowski, 2003; McNeill & Henstock, 2013). Bidang ini juga bisa jadi merupakan *backthrust* dari *backstop* yang memisahkan prisma akresi yang aktif dengan kompleks prisma akresi yang lebih tua (Kopp & Kukowski, 2003). Bidang sesar dengan *dip* berarah palung juga teridentifikasi pada satu bidang sesar di bagian utara pulau dengan nilai N330°E / 20° dengan *pitch* 20°S. Bidang sesar ini mengganggu endapan sedimen lempung di atasnya, sehingga mungkin saja lokasi ini merupakan manifestasi kubah lumpur (Gambar 9C). Contoh kasus pada bagian selatan cekungan mukabusur Sumatra mengungkapkan bahwa kubah lumpur ini berkaitan dengan sesar anjak balik (Mukti *et al.*, 2012)

KESIMPULAN

Pulau Simeulue diinterpretasikan sebagai puncak busur luar dari sebuah sistem prisma akresi dan merupakan prisma akresi yang lebih tua dibandingkan dengan prisma akresi yang berada dekat dengan palung. Morfologi prisma akresi Simeulue menunjukkan lebar prisma yang bervariasi dimana lebar prisma di bagian barat laut berangsur mengecil ke arah bagian tenggara. Salah satu fitur morfologi yang berkaitan erat dengan struktur adalah kubah lumpur yang berasosiasi dengan kompleks bancuh. Komplek bancuh ini telah terangkat ke permukaan akibat mekanisme sesar anjak. Sesar anjak yang berkembang di prisma akresi Simeulue umumnya merupakan sesar berarah palung dengan *dip* berarah cekungan (sesar anjak berarah palung). Bagian utara-timurlaut Pulau Simeulue telah bergerak relatif naik dibandingkan bagian selatan-tenggara. Berdasarkan rekonstruksi lipatan bidang perlipatan, teridentifikasi adanya sesar anjak berarah cekungan dengan *dip* berarah palung (*sesar anjak berarah cekungan*). Kemungkinan adanya proses *mud diapirism* dan manifestasi kubah lumpur juga ditemukan pada lokasi di daerah Simpang Koridor, dimana terdapat bidang sesar dengan arah N330°E/20° dengan *pitch* 20°S. Bidang sesar ini mencerminkan sesar anjak berarah cekungan yang mengganggu endapan batulempung yang berumur lebih muda. Proses pembentukan sesar anjak berarah cekungan ini dikarenakan adanya sesar *out-of-sequences* atau batas *backstop* dinamis yang mengaktifkan prisma akresi yang lebih tua maupun sesar anjak berarah cekungan yang terbentuk di dalam prisma akresi yang lebih tua tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian geologi dan geofisika di Pulau Simeulue dapat terlaksana dengan pembiayaan dari Program Kompetitif LIPI Sub Bidang Kebencanaan dan Lingkungan tahun anggaran 2013-2014. Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ir. Suwiyanto dan Dr. M. Ma'ruf Mukti atas komentar dan diskusinya selama menyusun makalah ini. Penulis berterima kasih kepada dewan redaksi dan reviewer yang telah

memberikan masukan dalam perbaikan isi naskah tulisan ini.

Daftar Pustaka

- Akesson, M., 2008. Mud Diapir – a review. Bachelor Thesis. Lund University.
- Aldiss, D.T., Whandoyo, R., Ghazali, S.A., dan Kusyono, 1993. Peta Geologi Lembar Sidikalang dan Sebagian Sinabang, Sumatra. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Barber, A. J., Tjokrosapoetro, S. R., Charleton, T. R., 1986. Mud diapirs, shale diapirs, wrench faults, and mélanges in accretionary complexes, eastern Indonesia. *AAPG Bull.*, 70. 1729-1741.
- Barber, A.J. & Crow, M.J., 2005. Chapter 13: Structure and structural history. In: Barber, A.J., Crow, M.J. & Milsom, J.S. (eds), *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society, London, Memoirs, 31, 175-233.
- Barber, A.J., 2013. The origin of mélanges : Cautionary tales from Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 76, 428-438, doi:10.1016/j.jseaes.2012.12.021.
- Bellier, O., Sebrier, M., Pramumijoyo, S., 1991. La grande faille de Sumatra : Geometrie cinématique et quantite de déplacement mises en evidence par l'imagerie satellitaire. *C. R. Acad. Sci. Paris II*: 1219-1226.
- Berglar, K., Gaedicke, C., Franke, D., Ladage, S., Klingelhofer, F., & Djajadihardja, Y. S., 2010. Tectonophysics Structural evolution and strike-slip tectonics off north-western Sumatra. *Tectonophysics*, 480(1-4), 119-132, doi:10.1016/j.tecto.2009.10.003.
- Bons, P., 2009. Methods of structural geology. [Http://phompages.uni-tuebingen.de/paul.bonspaullectures/MethodenStrukturgeologiemethods_sg_01-2.pdf](http://phompages.uni-tuebingen.de/paul.bonspaullectures/MethodenStrukturgeologiemethods_sg_01-2.pdf). Diunduh pada tanggal 28 September 2014.
- Davis, D., Suppe, J., Dahlen, F.A., 1983. Mechanics of Fold-and-Thrust Belts and Accretionary Wedges. *J. Geophys. Res.* 88, 1153-1172.
- Diament, M., Harjono, H., Karta, K., Deplus, C., Dahrin, D., Zen, M. T. & Malod, J., 1992. Mentawai fault zone off Sumatra: A new key to the geodynamics of western Indonesia. *Geology*, 20(3), 259-262.
- Dimitrov, L. I., 2002. Mud diapires — the most important pathway for degassing deeply buried sediments, 59, 49-76.
- Endharto, M. dan Sukido, 1994. Peta Geologi Lembar Sinabang, Sumatra. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Hulme, S. M., Wheat, C. G., Fryer, P., & Mottl, M. J., 2010. Pore water chemistry of the Mariana serpentinite mud volcanoes : a window to the seismogenic zone, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 11, Q01X09, doi:10.1029/2009GC002674
- Karig, D.E., Suparka, S., Moore, G.F., Hehanussa, P.E., 1979. Structure and Cenozoic Evolution of the Sunda Arc in the Central Sumatra region, in: Watkins, J.S., Montadert, L., Dickinson, P.W. (Eds.), *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins*, AAPG Memoir 29. American Association of Petroleum Geologist, pp. 223-227.
- Kopf, A. J., 2002. Significance of mud volcanism, *Rev Geophys.*, 40(2), 1005, doi:10.1029/2000RG000093.
- Kopp, H., Kukowski, N., 2003. Backstop geometry and accretionary mechanics of the Sunda margin. *Tectonics* 22, 11-1 – 11-16, doi:10.1029/2002TC001420.
- Kopp, H., Weinrebe, W., Ladage, S., Barckhausen, U., Klaeschen, D., Flueh, E.R., Gaedicke, C., Djajadihardja, Y., Grevemeyer, I., Krabbenhoef, a., Papenberg, C., Zillmer, M., 2008. Lower slope morphology of the Sumatra trench system. *Basin Res.*, 20, 519-529, doi:10.1111/j.1365-2117.2008.00381.x.
- Malod, J. A. dan B. M. Kemal, 1996. The Sumatra margin: oblique subduction and lateral displacement of the accretionary prism. Geological Society, London, Special Publications 1996, 106, 19-28, doi:10.1144/GSL.SP.1996.106.01.03.

- Marschall, H.R. & Schumacher, J.C., 2012. Arc magmas sourced from mélangé diapirs in subduction zones. *Nature Geoscience*, 5(12), 862–867.
<http://www.nature.com/doi/finder/10.1038/ngeo1634> Diunduh pada 4 April 2014.
- McCaffrey, R., 1992. Oblique plate convergence, slip vectors, and forearc deformation, *Journ. of Geoph. Res.*, 97 (B6), 8905-8915.
- McNeill, L. C., Henstock, T. J., 2013. Forearc structure and morphology along the Sumatra- Andaman subduction zone. *Tectonics*.33.112–134, doi:10.1002/2012TC3264.
- Moore, G.F., Karig, D.E., 1980. Structural geology of Nias Island, western Indonesia, implications for subduction zone tectonics. *American Journal of Science* 280,193-223.
- Mukti, M., Singh, S. C., Deighton, I., Hananto, N. D., Moeremans, R., & Permana, H., 2012. Structural evolution of backthrusting in the Mentawai Fault Zone, offshore Sumatran forearc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*,13(12), doi:10.1029/2012GC004199.
- Pramumijoyo, S., Natawidjaja, D. H., Kumoro, Y., Sudaryanto, 1994. Tinjauan geologi parameter bencana gempa Liwa. Makalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia. PIT IAGI ke 23, Indonesia.
- Reed, D. L., Silver, E. A., Tagudin, J. E., Shipley, T. H., Vrolijk, P. 1989. Relations between mud diapirs, thrust deformation, slope sedimentation, and gas hydrate, offshore north Panama. *Marine and Petroleum Geology*, 7, 44-54.
- Rowland, S. M., Duebendorfer, E. M., Schefelbein, I. M., 2007. *Structural Analysis and Synthesis: a Laboratory Course in Structural Geology* 3rd edition. Blackwell Publishing. pp. 322.
- Sieh, K., Natawidjaja, D.H., 2000. Neotectonics of the Sumatran fault. *Journal of Geophysical Research*, 105, 28.295-28.326.
- Schluter, H.U., Gaedicke, C., Roeser, H. a., Schreckenberger, B., Meyer, H., Reichert, C., Djajadihardja, Y., Prexl, a., 2002. Tectonic features of the southern Sumatra-western Java forearc of Indonesia. *Tectonics* 21 (5), doi:10.1029/2001TC901048.
- Shulgin, A., Kopp, H., Klaeschen, D., Papenberg, C., Tilmann, F., Flueh, E. R., & Franke, D., 2013. Subduction system variability across the segment boundary of the 2004 / 2005 Sumatra megathrust earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, 365, 108-119, doi:10.1016/j.epsl.2012.12.032
- Singh, S. C., Carton, H., Tapponnier, P., Hananto, N. D., Chauhan, A. P. S., Hartoyo, D., Bayly, M., Moeljopranoto, S., Bunting, T., Christie, P., Lubis, H., Martin, J., 2008. Seismic evidence for broken oceanic crust in the 2004 Sumatra earthquake epicentral region. *Nature Geoscience*, 1, 777-781, doi:10.1038/ngeo336.
- Singh, S.C., Hananto, N., Mukti, M., Robinson, D., Das, S., Chauhan, A., Carton, H., Gratacos, B., Midnet, S., Djajadihardja, Y., Harjono, H., 2011a. Aseismic zone and earthquake segmentation associated with a deep subducted seamount. *Nature Geoscience*, 4, 308-311, doi: 10.1038/NNGEO1119.
- Singh, S.C., Hananto, N., Mukti, M., Permana, H., Djajadiharja, Y., Harjono, H., 2011b. Seismic images of the megathrust rupture during the 25th October 2010 Pagai earthquake, SW Sumatra: Frontal rupture and large tsunami. *Geophysical Research Letters*, 38, L16313, doi:10.1029/2011GL048935.
- Williams, P. R., Pigram, C.J., Dow, D. B., 1984. Melange production and the importance of shale diapirism in accretionary terrains, *Nature*, 309, 145-146.