

Identifikasi longsor bawah laut berdasarkan penafsiran seismik pantul di perairan Flores

KRIS BUDIONO

Puslitbang Geologi Kelautan
Jl. Dr. Djundjuna 236 Bandung 40174

SARI

Longsor bawah laut sering memicu terjadinya tsunami atau gelombang laut besar berkecepatan tinggi di daerah longsor yang dapat mencapai jarak tempuh sangat jauh. Longsor ini tidak selalu menyebabkan bencana dan tidak juga selalu berasosiasi dengan badai dan gempa bumi. Beberapa di antaranya terjadi di daerah sempit dan hanya disebabkan oleh gravitasi. Berbeda dengan mekanisme longsor di daratan yang pada umumnya disebabkan oleh kejenuhan air pada tanah, penyebab longsor bawah laut jauh lebih kompleks.

Longsor bawah laut adalah proses alami penting yang menyebabkan massa sedimen bervolume besar bergerak dari daerah lantai samudera (dasar laut) yang dangkal ke daerah yang lebih dalam. Terdapat berbagai jenis dan penyebab terjadinya ketidakstabilan lantai samudera dan terminologi longsor adalah yang paling banyak digunakan untuk menyebut fenomena tersebut. Perbedaan bahan, lingkungan, dan muatan lantai samudera merupakan faktor-faktor yang sangat mempengaruhi jenis longsor tersebut. Rekaman seismik pantul membantu penafsiran terdapatnya indikasi struktur geologi dan longsor bawah laut.

Pada kasus di Laut Flores, gempa bumi merupakan faktor utama penyebab terjadinya longsor bawah laut. Semakin besar kekuatan gempa, semakin besar pula longsor yang terjadi. Hal ini akan mengakibatkan semakin besarnya kemungkinan terjadinya gelombang tsunami yang berpotensi merusak.

Kata kunci: longsor bawah laut, tsunami, Laut Flores

ABSTRACTS

Submarine sliding frequently cause tsunami or a high velocity big wave around the submarine sliding area which enable to reach a long distance. This sliding is not always as a causal factor for hazard and even associate with storm and earthquake. Some of them occur in a narrow area and it's just formed due to gravitational movement. Different with mechanism of landslide, which is commonly due to water saturated soil, the submarine sliding is a more complex event.

The submarine sliding is an important natural process which causes a big volume of sediment mass moves from a shallow area to a much deeper area of seafloor. There are many types and causal factors of seafloor instability, but the sliding terminology is predominantly used for the phenomena. A variety of seafloor materials, environments and sediment masses are some extreme influential factors in creating the types of submarine sliding. The reflector of seismics is usefull to interpret the indications of the occurrence of geological structure and sub-marine slumping

In case of the Flores Sea, earthquake is a major causal factor for creating submarine sliding. The bigger magnitude of earthquake, the greater the dimension of submarine sliding. Eventually, it may affect to the more possible occurrence of a potential hazardous tsunami.

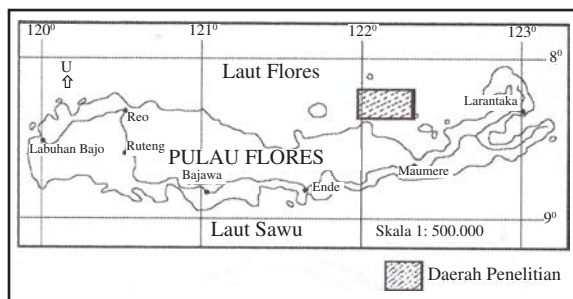
Keywords: submarine sliding, tsunami, Flores Sea

PENDAHULUAN

Lokasi daerah penelitian meliputi kawasan Perairan Maumere hingga laut lepas yang secara geografis terletak antara 121°46'00" – 122°16'00" BT

dan 8°15'00" – 8°40'00" LS, dan secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Maumere, Propinsi Nusa Tenggara Timur (Gambar 1).

Identifikasi longsor bawah laut di Perairan Flores merupakan pengembangan penelitian geologi



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

dan geofisika yang telah dilakukan oleh Puslitbang Geologi Kelautan pada tahun 1992 (Budiono dr., 1993). Para ahli geologi dan geofisika memperkirakan bahwa daerah tersebut merupakan wilayah yang rentan terhadap gempa bumi. Dampaknya dapat memicu terjadinya longsor bawah laut yang berpotensi mengakibatkan terbentuknya tsunami.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana penyebaran, besaran, dan jenis longsor bawah laut serta pengaruhnya terhadap terjadinya tsunami. Walaupun diketahui bahwa kendala dalam penelitian longsor bawah laut adalah tidak dapat secara langsung mengamati bentuk dan jenis longsorannya (Garrison dan Sangrey, 1977).

Daerah perairan Flores dan sekitarnya termasuk kawasan yang memiliki tingkat kegempaan cukup tinggi, tempat sebagian gempa bumi tersebut berpotensi menimbulkan tsunami, terutama dengan sumber gempa bumi dangkal. Jenis tsunami yang bersifat lebih mendadak terjadinya dan sulit diduga adalah yang diakibatkan oleh longsor bawah laut, dan mengakibatkan gangguan kestabilan lereng.

Diharapkan bahwa indikasi longsor bawah laut yang diperoleh akan menambah data untuk kepentingan mitigasi bencana geologi khususnya bencana tsunami, pemasangan instalasi anjungan minyak, kabel dan pipa bawah laut.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran dari tigapuluh lima penampang lintasan seismik pantul 2-dimensi di kawasan Perairan Maumere. Seismik pantul merupakan metode geofisika yang dinamis dan berkesinambungan, melalui pemanfaatan hasil pantulan gelombang akustik oleh bidang pantul yang disebabkan perbedaan

berat jenis pada bidang batas antara lapisan sedimen. Pendugaan seismik telah dilakukan dengan menggunakan *Sparker* dan *Air Gun* sebagai sumber ledakan. Hasil yang diperoleh merupakan penampang seismik berkesinambungan sepanjang lintasan.

Kondisi umum peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Sparker* terdiri atas unit sumber energi letupan berkekuatan 600 joule, *firing rate* selama 2 hingga 4 detik, *sweep rate* selama 1 detik/*sweep* dan frekuensi antara 200 – 2500 Hz. *Filter* yang dipilih adalah *low & high cut* dengan menggunakan *kronhite 3700*, dan penguat *TVG amplifier TSS 307*. Posisi *sparker* sejauh lebih kurang 15 m dari buritan kapal, sedangkan *streamer* berada 10 m di belakang *sparker*.
- Sumber energi *Air Gun* yang digunakan berukuran 40 dan 2 X 40 *cubic inch* dengan tekanan operasi 1700 – 1800 psi, *firing rate* selama 4 – 5 detik dengan *sweep rate* selama 1 – 2 detik, filter yang dipilih adalah *low & high cut* menggunakan *kronhite 3700* dengan frekuensi berkisar antara 40 – 100 Hz. Posisi *Air Gun* dan *streamer* sejauh lebih kurang 25 m dari buritan kapal.

GEOLOGI REGIONAL

Perairan Maumere terletak di bagian paling selatan Cekungan Flores dan Sesar besar Flores. Cekungan Flores berarah timur – barat berorientasi ke arah tenggara. Bagian barat Cekungan Flores dibatasi oleh lereng berarah timur laut yang terletak di sisi selatan perbatasan Doang. Ke arah timur, cekungan dibatasi oleh Punggungan Selayar Timur yang memanjang ke arah selatan Sulawesi (Gambar 2).

Di bagian barat Punggungan Selayar Timur, Cekungan Flores disusun oleh batuan gunung api Neogen dan batuan sedimen yang menunjam ke arah barat. Mengacu pada kedalaman laut yang lebih dari 5000 m, model lapisan kerak bumi dan zona pensesaran busur belakang yang menonjol pada cekungan tersebut, sebagian besar peneliti di Kawasan Indonesia Timur menyimpulkan bahwa Cekungan Flores didasari oleh lapisan yang ber-asal dari lautan yang tidak diketahui (Prasetyo, 1992).

Zona Sesar Flores merupakan struktur yang berorientasi timur – barat, memanjang dari bagian



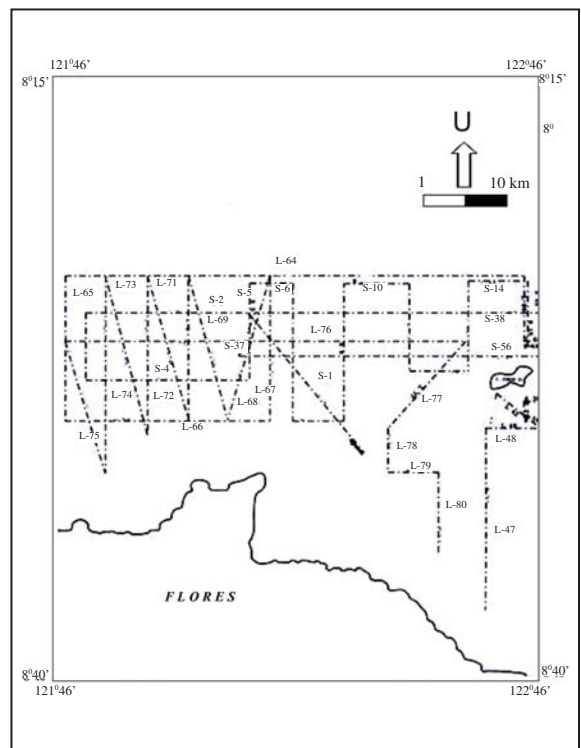
Gambar 2. Morfotektonik daerah busur belakang Flores dan sekitarnya (modifikasi dari Prasetyo, 1992).

timur Cekungan Flores ke arah Cekungan Lombok dan memisahkan sekuen sedimen berarah utara, termasuk Retakan Paleosen dan sedimen yang berasal dari material bentukan yang kompleks. Parit kecil di depan baji akrasi diisi oleh endapan turbid muda, diperkirakan merupakan sedimen yang ditransportasi sebagian besar dari bagian tepi Selatan Sulawesi (Prasetyo, 1992).

Daerah Flores dan sekitarnya termasuk daerah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi. Gempa bumi yang terjadi pada 12 Desember 1992, mempunyai harga parameter yang berbeda, terutama apabila dihubungkan dengan posisi sumbernya. Secara lateral gempa ini terletak lebih kurang 40 km sebelah barat Kota Maumere dan getarannya mengakibatkan kerusakan di Pulau Flores dan sekitarnya.

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil analisis rekaman seismik pantul saluran tunggal dari tigapuluh lima lintasan (Gambar 3), kondisi topografi dan geologi dasar laut di daerah penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Peta lintasan seismik pantul.

Topografi dan Morfologi Permukaan Dasar Laut.

Perairan Flores memiliki rentang kedalaman yang cukup besar, oleh sebab itu interval kontur peta batimetrimya adalah sebesar 50 m. Topografi dasar laut atau batimetri perairan Flores secara rinci dapat dibagi menjadi 5 kelas kedalaman (Gambar 4).

- Kelas 1 yaitu kedalaman antara 0 - 500 m, terletak memanjang dari barat ke timur yang dibatasi oleh garis pantai sampai kedalaman 500 m dari permukaan laut. Kelas ini terlihat pula di sebelah barat di bagian kedalaman Kelas 2 (Gambar 4).
- Kelas 2 adalah kedalaman antara 500 - 1000 m, yang terletak memanjang dari barat ke timur serta dibatasi oleh kelas kedalaman 1 dan 3. Kelas kedalaman ini terdapat pula di sebelah barat laut dan timur laut.
- Kelas 3 adalah kedalaman antara 1000 - 1500 m terletak memanjang dari barat ke timur laut dan terdapat pula di sebelah barat laut. Kelas ini berbatasan dengan kelas kedalaman 4 dan 2.
- Kelas 4 adalah kedalaman antara 1500 - 2000 m, terletak memanjang dari barat ke timur laut dan terdapat pula di sebelah barat laut.

- Kelas 5 merupakan permukaan dasar laut terdalam dengan kedalaman laut antara 2000 - 2500 m. Kelas ini terletak memanjang dari barat ke utara dan berbatasan dengan kelas kedalaman 4 (Gambar 4).

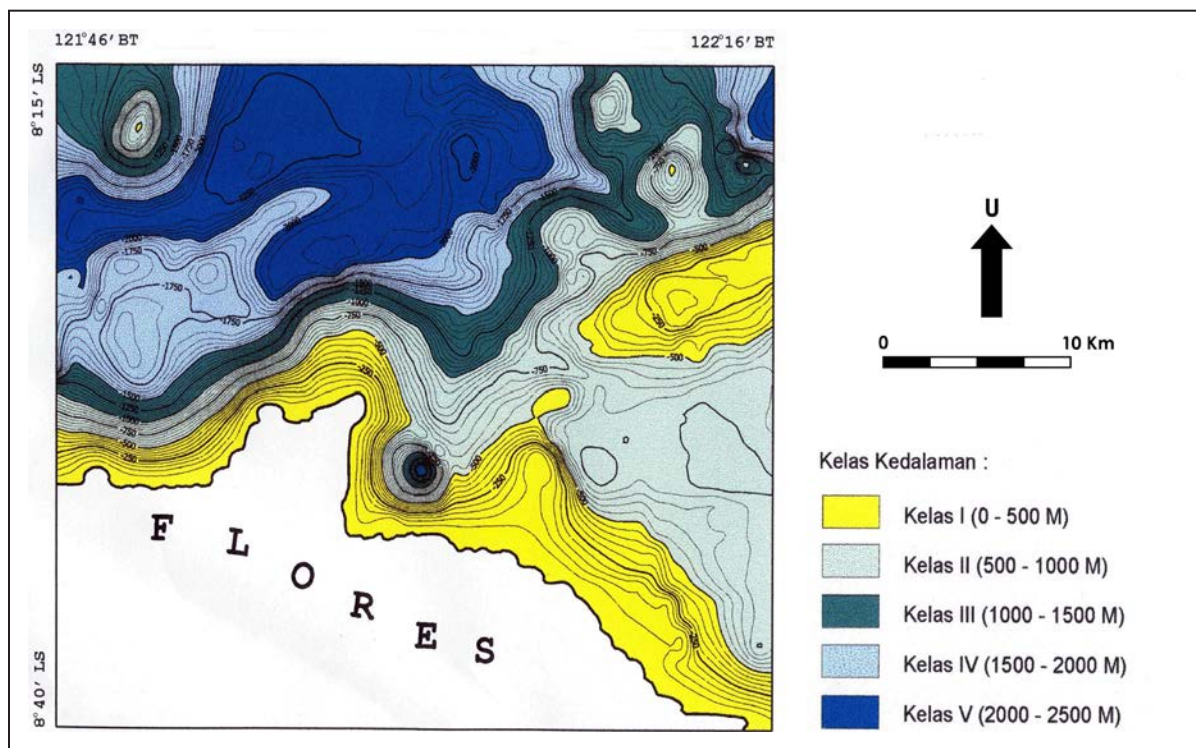
Dari pembagian kelas kedalaman laut tersebut di atas, selanjutnya dilakukan pula pembagian kelas kemiringan lereng berdasarkan rumus Van Zuidam (1983):

$$S = \frac{(n - 1) I_c}{\Delta h} \times 100\%$$

dimana: n = jumlah kontur
 I_c = interval kontur
 Δh = jarak horizontal

Pembagian kemiringan lereng permukaan dasar laut perairan Maumere dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a) Kelas kemiringan lereng antara 2 - 14 % atau kelas II menurut klasifikasi Van Zuidam (1983) terdapat di sebelah timur dan utara dengan kedalaman dasar laut antara 250 - 300 m dan 2200 - 2250 m. Penyebaran kelas lereng ini



Gambar 4. Peta kelas kedalaman laut perairan Flores.

mencakup 10 % dari total luas daerah penelitian dan merupakan kelas lereng dengan penyebaran terkecil yang ditandai oleh kerapatan kontur dengan relief rendah.

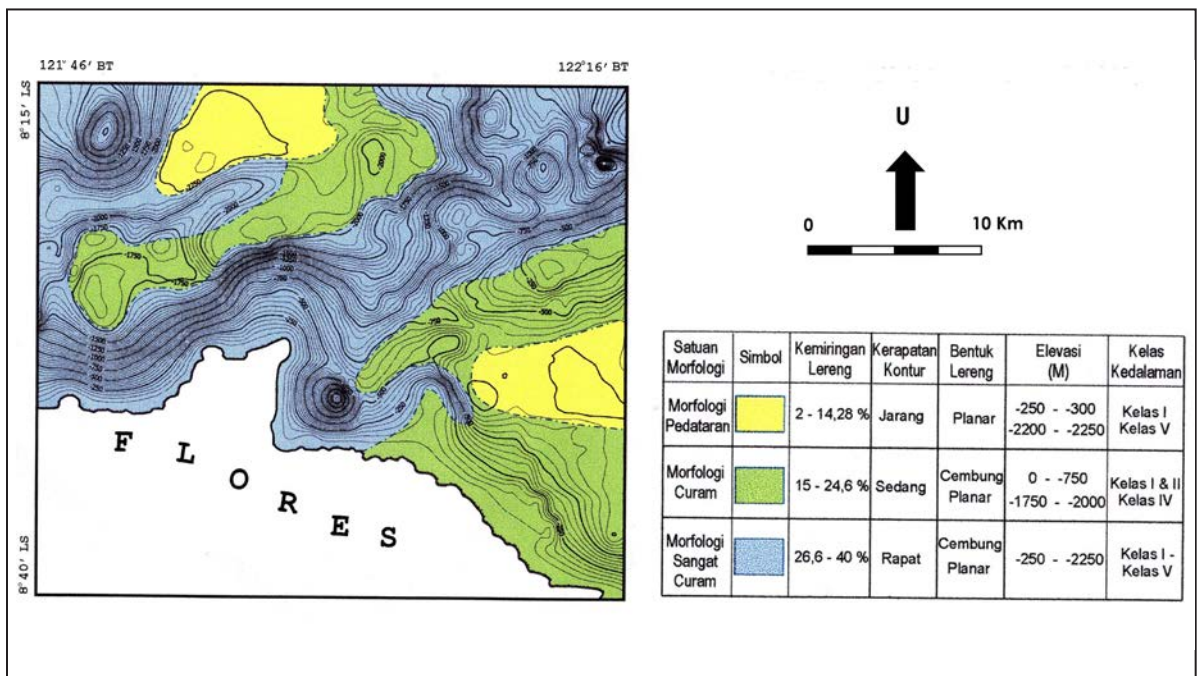
- b) Kelas kemiringan lereng antara 15 – 24% terdapat di sebelah timur dan utara daerah penelitian (Gambar 5), terletak pada kedalaman laut antara 0 – 750 m dan 1750 – 2000 m dengan penyebaran sekitar 35 % dari total luas daerah penelitian.
- c) Kelas kemiringan lereng antara 25 – 40% terletak di bagian tengah daerah penelitian yang memanjang dari arah timur laut ke barat daya. Penyebaran kelas ini sekitar 55% dan mendominasi total luas daerah penelitian. Kedalaman permukaan dasar lautnya berkisar antara 250 – 2250 m dengan kerapatan kontur sangat tinggi dan ditandai oleh lembah dan pegunungan dasar laut yang tersebar merata (Gambar 5).

Berdasarkan kondisi kedalaman permukaan dasar laut dan kemiringan lereng dasar laut, maka secara umum karakteristik morfologi dasar laut perairan Maumere dapat dibagi menjadi satuan morfologi dasar laut pedataran, dasar laut curam, dan sangat curam (Gambar 5).

Satuan morfologi dasar laut pedataran dicirikan oleh kedalaman laut antara 250 – 300 m yang terletak di sebelah timur daerah penelitian dan antara 2200 – 2250 m, yang terletak di sebelah utara daerah penelitian. Morfologi ini berelief rendah dengan kemiringan lereng antara 2 – 14 %. Luas morfologi pedataran ini sekitar 175 km² atau sekitar 10% dari total daerah penelitian.

Satuan morfologi curam terletak memanjang dengan arah barat daya – timur laut dan menempati kurang lebih 35% daerah penelitian, yaitu sekitar 520 km². Morfologi ini dicirikan oleh kedalaman laut antara 0 – 750 m dan antara 1750 – 2000 m serta kemiringan lereng antara 15 – 25%, dengan relief sedang berbentuk punggung dan lembah.

Satuan morfologi sangat curam dicirikan oleh kedalaman laut antara 250 – 2250 m, kemiringan lereng antara 27 – 40 %, menempati kurang lebih 55% dari total daerah penelitian yaitu sekitar 980 km². Kenampakan lembah dan punggung menyebar secara merata, berelief rapat, terjal dan setempat ditemukan beberapa gunung bawah laut dengan ketinggian cukup terjal. Secara umum morfologi ini terletak memanjang dari barat daya – timur laut daerah penelitian (Gambar 5).

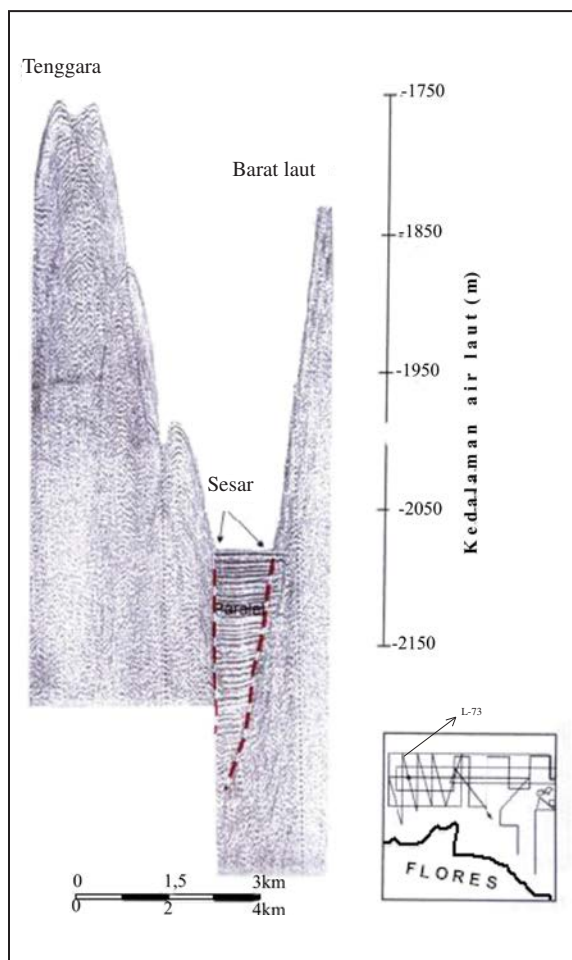


Gambar 5. Peta morfologi dasar laut perairan Flores.

Struktur Geologi dan Longsor Bawah Laut

Berdasarkan penampang seismik pantul 2 dimensi, telah dilakukan penafsiran untuk mendapatkan indikasi struktur geologi dan longsor bawah laut. Untuk melihat hubungan dan pengaruh morfologi dan struktur geologi terhadap longsor bawah laut telah dilakukan analisis terhadap kurang lebih tigapuluh lima lintasan seismik pantul (Gambar 3). Indikasi longsor bawah laut ditafsirkan berdasarkan klasifikasi yang dibuat oleh Chough drr. (1985).

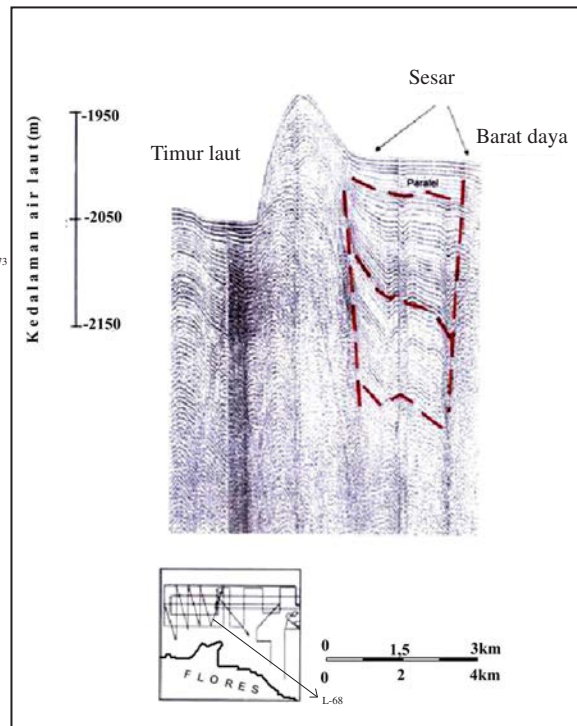
Beberapa indikasi struktur sesar antara lain diperlihatkan oleh morfologi lembah sempit dengan pola reflektor kedua sisinya berbeda, reflektor pada dasar lembah rata-rata berbentuk "*chaotic*", kontak tegas antar sekuen atau peralihan ditunjukkan oleh penampakan perlipatan sedimen di sekitar bidang sesar (Gambar 6).



Gambar 6. Rekaman seismik pantul L-73.

Beberapa rekaman seismik pantul yang memperlihatkan struktur sesar adalah sebagai berikut:

Rekaman seismik pantul S-73 yang berarah timur – barat, dicirikan oleh reflektor paralel pada lembahnya dan berbeda dengan kedua sisi yang mengapitnya (Gambar 6), demikian pula halnya dengan rekaman L-68 (Gambar 7).



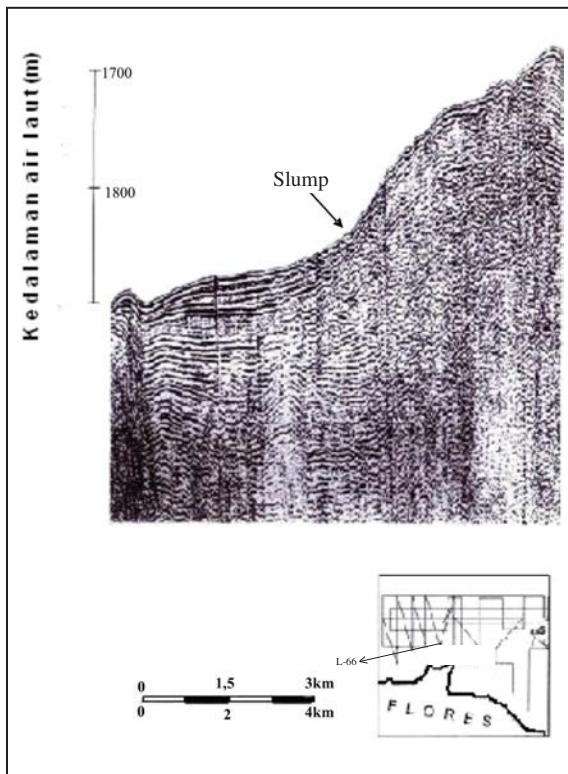
Gambar 7. Rekaman seismik pantul L-68.

Berdasarkan analisis dan korelasi rekaman seismik pantul, pada umumnya struktur sesar berkembang di sebelah barat daerah penelitian dengan dimensi cukup luas dan berarah barat daya – timur laut. Dari penafsiran struktur sesar tersebut arah gerak relatifnya sangat sulit ditentukan, namun dengan pendekatan pola batimetrimya terlihat bahwa pada umumnya sesar tersebut sejajar dengan pola kelurusan punggungan dasar laut, dan bidang sesarnya pada peta batimetri ditandai oleh pola garis kontur yang relatif lurus dan rapat.

Berdasarkan rekaman penampang seismik pantul yang berjumlah tigapuluh lima lintasan (Gambar 3), dijumpai indikasi longsor bawah laut. Penampakan longsor jenis *slump* relatif sangat mudah dikenali dan ditandai oleh reflektor "*chaotic*"

yang terdapat di kaki bidang gelincir suatu lereng tinggian. Di samping itu longsor tersebut dicirikan pula oleh bentuk kontur yang berbeda dengan daerah sekitarnya.

Longsor bawah laut tersebut di atas di antaranya diperlihatkan oleh rekaman seismik L-66, L-75, S-1, dan S-7; dengan ciri utama longsor pada rekaman tersebut berupa reflektor "chaotic" yang dibatasi oleh reflektor paralel (Gambar 8).

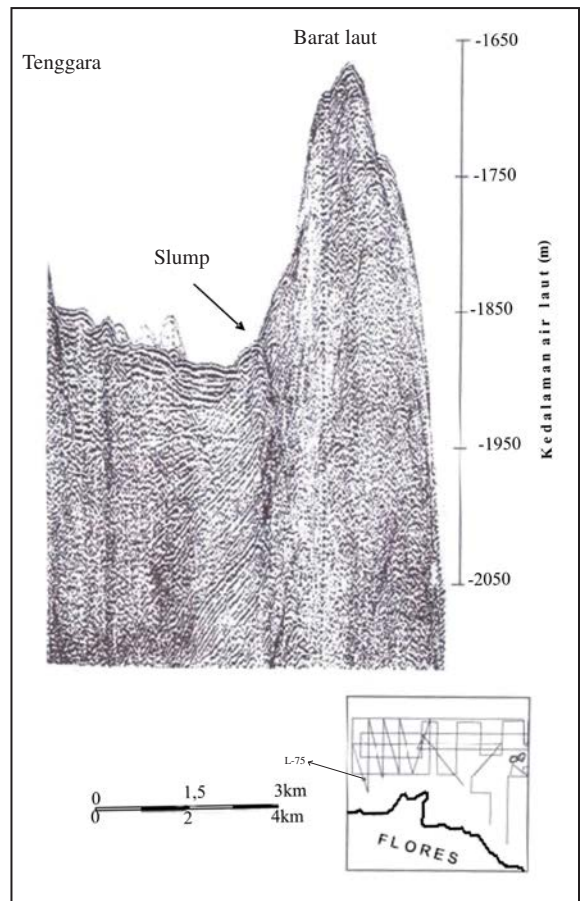


Gambar 8. Rekaman seismik pantul L-66.

Selanjutnya hasil penafsiran pada masing-masing lintasan seismik diplot dan dikorelasikan, kemudian digabung dengan bentuk morfologi dan indikasi struktur geologi untuk akhirnya mendapatkan gambaran penyebaran longsor bawah laut (Gambar 9).

PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Berdasarkan analisis morfologi dan struktur geologi, teridentifikasi kehadiran tiga buah longsor dasar laut sebagai berikut:

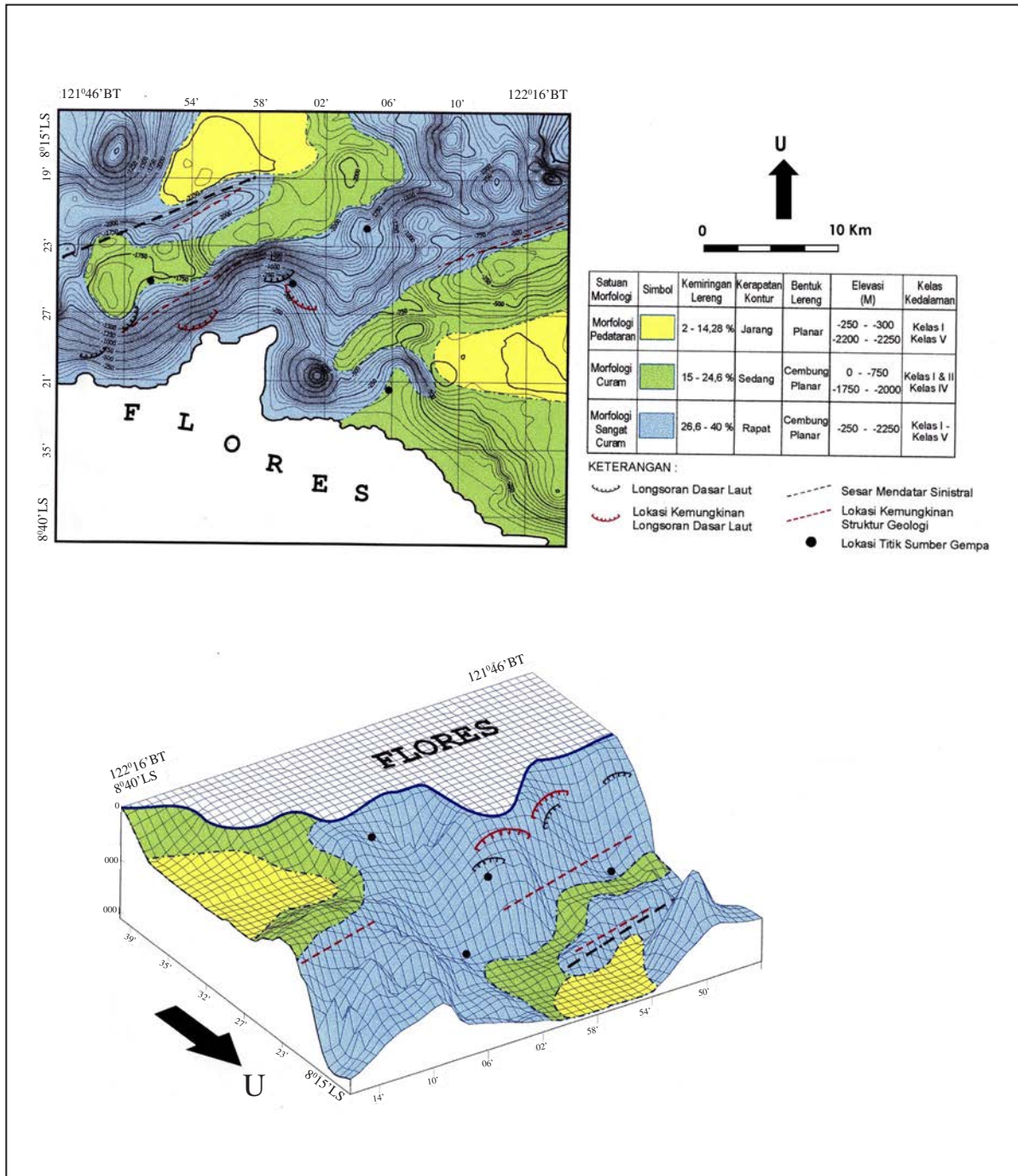


Gambar 9. Rekaman seismik pantul L-75.

- Longsor 1 terletak pada posisi $122^{\circ} 4' \text{ BT}$ dan $8^{\circ} 22' \text{ LS}$. Berdasarkan peta batimetri, longsor ini terletak pada morfologi dengan lereng yang sangat curam (35%), bentuk lereng relatif cembung, dan berada pada kedalaman sekitar 2000 m. Diperkirakan material longsorannya cukup besar dan bergerak relatif ke arah utara menuju daerah yang relatif lebih rendah dan berhenti pada daerah dengan kemiringan lereng relatif lebih kecil atau datar (Gambar 5).
- Longsor II terletak pada lokasi $121^{\circ} 53' \text{ BT}$ dan $8^{\circ} 25' \text{ LS}$. Dilihat dari bentuk morfologinya, longsor ini terjadi pada daerah yang sangat curam dengan kemiringan lereng 46 % dan bentuk lereng yang cembung pada kedalaman laut 1750 m.
- Longsor III terletak pada posisi $121^{\circ} 52' \text{ BT}$ dan $8^{\circ} 25' \text{ LS}$. Morfologi daerah ini mempunyai kemiringan lereng yang sangat curam (39 %)

dengan bentuk cembung dan berada pada kedalaman 2250 m, sementara sekitar 2 km ke arah timur dijumpai kelurusan sesar (Gambar 10). Arah massa longsor bergerak relatif ke arah barat laut

dengan jumlah relatif sedikit dibandingkan dengan longsor I. Berdasarkan bentuk morfologinya, kemungkinan massa longsorannya akan menyatu dengan massa longsor dari longsor II.



Gambar 10. Peta dan blok diagram struktur geologi dan longsor bawah laut, perairan Flores, Nusa Tenggara Timur.

Berdasarkan penampakan tersebut di atas, longsor bawah laut di perairan Flores umumnya terletak pada kemiringan lereng antara 35 - 40 % dengan bentuk lereng cembung dan dikelilingi oleh kelurusan struktur geologi. Namun demikian tidak seluruhnya perbukitan dasar laut yang terjal dan berbentuk cembung berindikasi longsor, karena kemungkinan bergantung pula pada jenis sedimennya.

Mengacu kepada peta struktur geologi dan longsor bawah laut (Gambar 10), tidak semuanya morfologi dasar laut berkaitan dengan struktur geologi. Bahkan lokasi keberadaan longsor bawah laut yang terlihat pada rekaman seismik pantul hampir berhimpitan dengan longsor yang didasarkan kepada analisis morfologi.

Lokasi daerah penelitian sangat berdekatan dengan titik-titik lokasi gempa (Permana dr.,1993), menandakan bahwa kemungkinan gempa bumi sangat berpotensi berperan sebagai pemicu terjadinya longsor bawah laut.

Berdasarkan perbedaan ketinggian yang sangat mencolok dan luasnya bidang pada lokasi-lokasi longsor, dapat ditafsirkan bahwa longsor dapat memicu timbulnya gelombang besar yang berpotensi membentuk tsunami yang dapat merusak kawasan sekitar pantai.

KESIMPULAN

Penafsiran rekaman seismik pantul membawa ke arah penemuan indikasi longsor bawah laut. Longsor tersebut pada umumnya terletak pada morfologi sangat curam dengan kemiringan lereng antara 38 - 40 %. Pada peta sebaran struktur geologi perairan Maumere terlihat bahwa keberadaan struktur geologi tersebut berdekatan dengan lokasi terjadinya longsor bawah laut. Lokasi longsor hanya berjarak sekitar 2 - 3 km dari pusat gempa, maka longsor bawah laut perairan Flores ke-

ungkinan besar disebabkan oleh gempa bumi. Berdasarkan kenyataan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa longsor bawah laut sangat berpotensi terjadi pada daerah dengan kemiringan lereng yang curam, berintensitas tektonik dan juga gempa bumi yang cukup besar. Semakin besar gempa bumi, semakin besar longsor yang akan terjadi. Dengan demikian kemungkinan besar bahwa longsor bawah laut dimaksud berpotensi menimbulkan tsunami yang merusak.

Ucapan Terima kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah membantu memberikan dorongan dalam mempersiapkan tulisan ini. Tak lupa terima kasih pula atas saran dan kritiknya hingga selesainya tulisan ini.

ACUAN

- Budiono, K., Lubis, S., dan Kusnida, D., 1993. *Penyelidikan Geologi Lingkungan Pantai dan Lepas pantai, Perairan Maumere dan sekitarnya, Flores, Nusa Tenggara Timur*, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan, Direktorat Jendral Geologi Dan Sumber Daya Mineral, Departemen Perambangan dan Energi.
- Chough, S.K., Jeong, K.S., dan Honza, E., 1985. Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Marine Geology* 65, h.113-125
- Garrison, L.E. dan Sangrey, D.A., 1977. Submarine Landslide, *USGS yearbook*.
- Permana, H., Pramumijoyo, dan Kumoro, Y., 1993. *Pola Kelurusan Geologi Daerah Flores: Implikasinya Terhadap kerusakan Akibat Gempa Bumi 1992*, PIT IAGI ke 22, Jakarta
- Prasetyo, H., 1992. The Bali-Flores Basin, Geological Transition From Extensional to Subsequent Compressional Deformation. *Proceedings, 21st Annual Convention Indonesian Petroleum Association*, h455-478.
- Van Zuidam, R.A., 1983. *Guide to Geomorphological Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede, The Netherlands.