

# IDENTIFIKASI PROSES TOMBOLO TANJUNG GONDOL DENGAN PERHITUNGAN ENERGI FLUX GELOMBANG DI PANTAI SINGARAJA, BALI UTARA

Oleh :

I Nyoman Astawa <sup>1)</sup> dan Saultan Panjaitan <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran No. 236 Bandung

<sup>2)</sup> Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung, Tel: (022) 7203205, 7272601 Fax (022) 7202669

Diterima : 01-02-2010; Disetujui : 29-07-2010

## SARI

Morfologi Tanjung Gondol terdiri atas perbukitan yang cukup kontras terhadap morfologi di sekitarnya berupa pedataran. Batuan penyusun Tanjung Gondol terdiri atas batuan vulkanik berupa lava, dan breksi vulkanik, yang mempunyai resistensi cukup tinggi terhadap energi gelombang laut. Daerah pedataran disusun oleh endapan aluvium yang sebagian besar berupa endapan pasir yang sangat mudah tergerus oleh energi gelombang.

Tanjung Gondol adalah sebuah pulau dekat pantai yang dipisahkan dari Pulau Bali oleh sebuah selat yang sempit dengan lautnya yang dangkal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi proses pembentukan tombolo Tanjung Gondol berdasarkan analisis data geologi dan oseanografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tanjung Gondol sebelumnya berupa sebuah pulau kecil yang terpisah dari Pulau Bali, dan dibatasi oleh laut dangkal. Karena proses pendangkalan pada laut tersebut akibat arus sejajar pantai, maka pulau kecil ini secara berangsur bersatu dengan Pulau Bali membentuk Tombolo Tanjung Gondol.

Kata kunci : geologi, oseanografi, tombolo, Tanjung Gondol

## ABSTRACT

*The morphology Tanjung Gondol consists of hills that fairly contrast to the surrounding morphology of plain. The lithology of Tanjung Gondol consist of volcanic rocks such plain as lava, and volcanic breccia, which has a high resistans to the sea wave energy. The plain area consist of alluvial deposits mostly of sand which are easily eroded by the sea waves.*

*Tanjung Gondol is an island near the coast which is separated from Bali Island by the narrow strait with shallow sea. The aim of study is to identify the forming process of tombolo Tanjung Gondol based on the analyses of geological and oceanographical data. The result shows that the previous Tanjung Gondol was a small island separated from the Bali Island by a shallow sea. Due to the shallowing process in the area caused by longshore currents, this small island is then gradually connected to Bali Island forming the tombolo of Tanjung Gondol.*

*Keywords : geology, oceanography, tombolo, Tanjung Gondol.*

## PENDAHULUAN

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi proses pembentukan tombolo Tanjung Gondol dengan menggunakan analisis energi flux gelombang dan analisis sedimen tespit.

Tanjung Gondol yang terletak lebih kurang 46,25 km ke arah barat dari Kota Singaraja mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi obyek wisata. Panorama alamnya cukup indah, serta perairan di sekitarnya dikelilingi oleh koral yang masih berkembang hingga sekarang, sehingga daerah ini sangat cocok sebagai tempat olah raga selam (*scuba diving*).

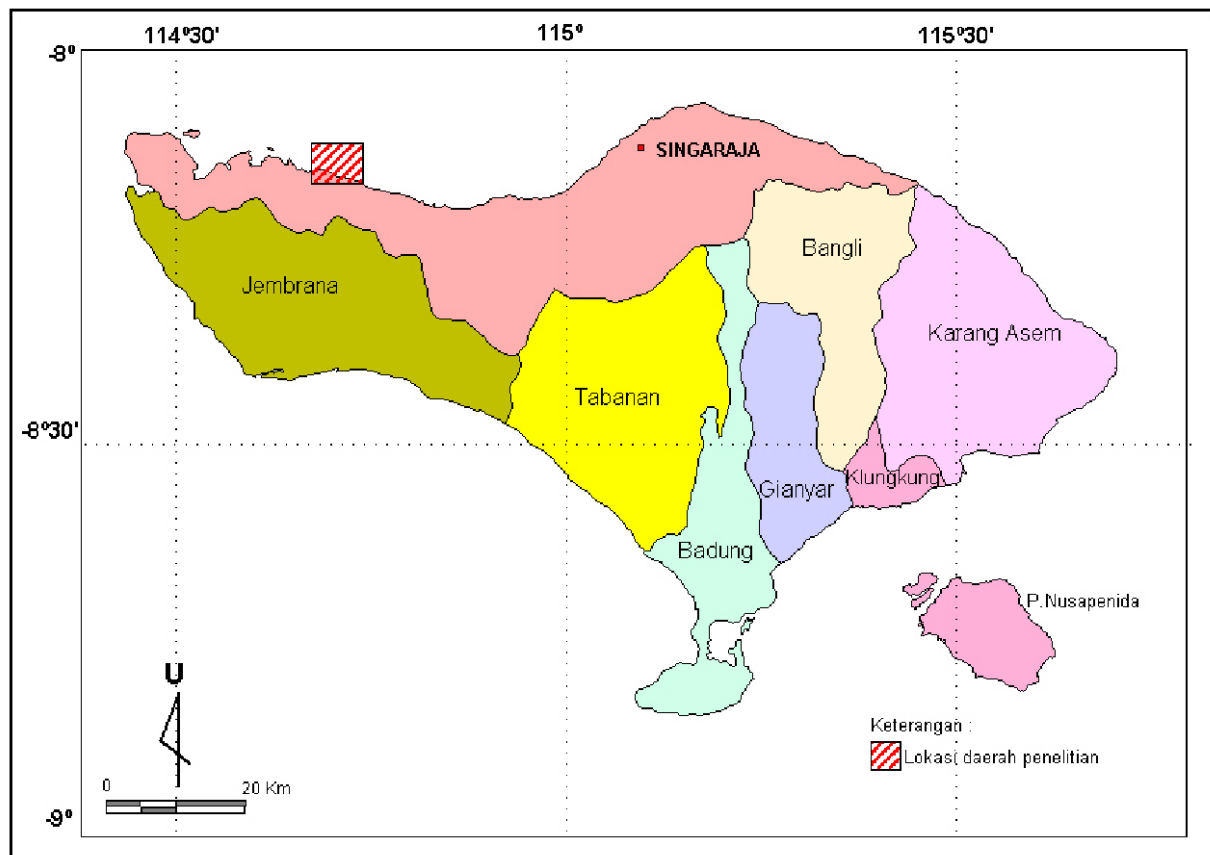
Pantai merupakan obyek yang selalu mengalami perubahan. Perubahan wilayah pantai tersebut dipengaruhi oleh aktivitas gelombang, arus dan aktivitas manusia. Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa faktor-faktor yang mengakibatkan terbentuknya tombolo di Tanjung Gondol.

Secara administrasi daerah penelitian termasuk daerah Kabupaten Buleleng, Propinsi

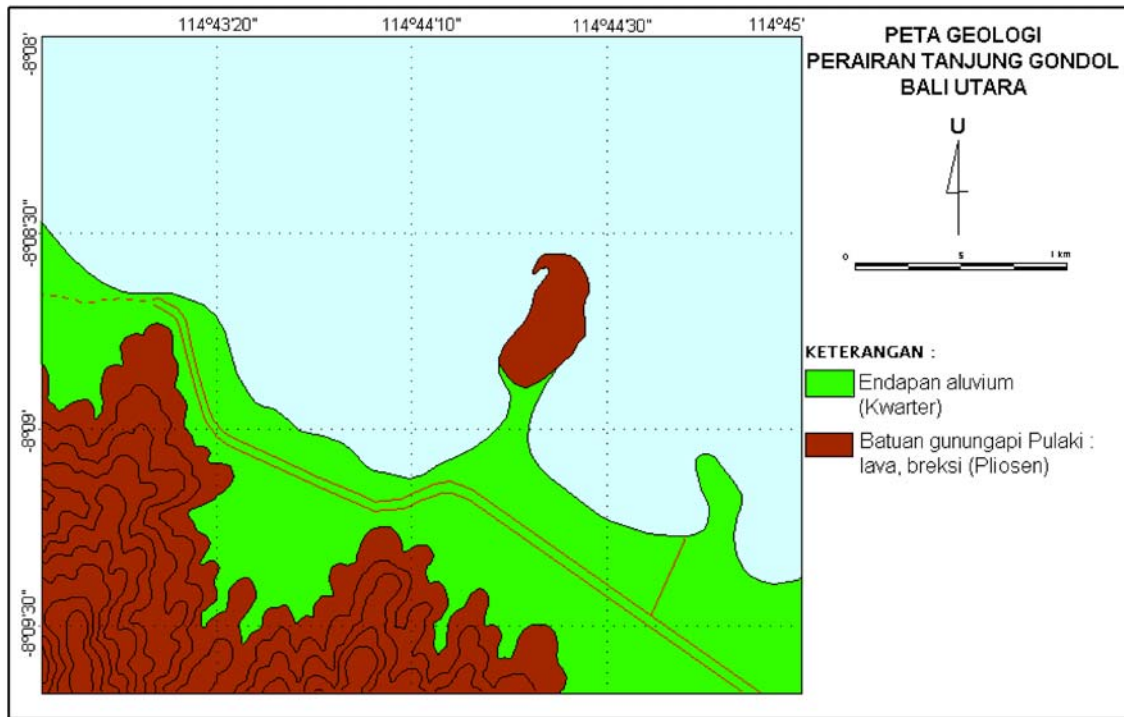
Bali. Secara geografis daerah ini terletak pada koordinat 114o 43' 15" – 114o 45' Bujur Timur dan 8o 08' – 8o 09' 30" Lintang Selatan dengan luas lebih kurang 250.000 km<sup>2</sup> (Gambar 1.).

## GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan geologi regional (Purbohadiwidjojo, 1971), daerah penelitian disusun oleh Batuan Gunung Api Pulaki, yang terdiri atas satuan batuan lava dan breksi berumur Pliosen yang memiliki ketahanan fisik tinggi terhadap pengaruh energi gelombang, arus dan proses pelapukan. Batuan Gunung Api Pulaki ini membentuk Tanjung Gondol yang relatif stabil. Endapan aluvium, terdiri atas lumpur, pasir, kerakal, kerikil yang berasal dari rombakan batuan yang lebih tua. Endapan aluvium tersebut berumur Resen, dan sangat rentan terhadap energi gelombang, arus, dan proses pelapukan. Endapan ini menindih batuan Gunung Api Pulaki yang berumur lebih tua (Pliosen) lihat Gambar 2.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Peta geologi Pulau Bali.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penentu posisi, menggunakan alat GPS (Global Positioning System) Magellen nav. 5000 Pro, dilakukan untuk menentukan lokasi pembuatan sumur uji. Survei geologi seperti pembuatan sumur uji (testpit), yaitu untuk mengetahui apakah daratan yang menghubungkan Tanjung Gondol dengan bagian

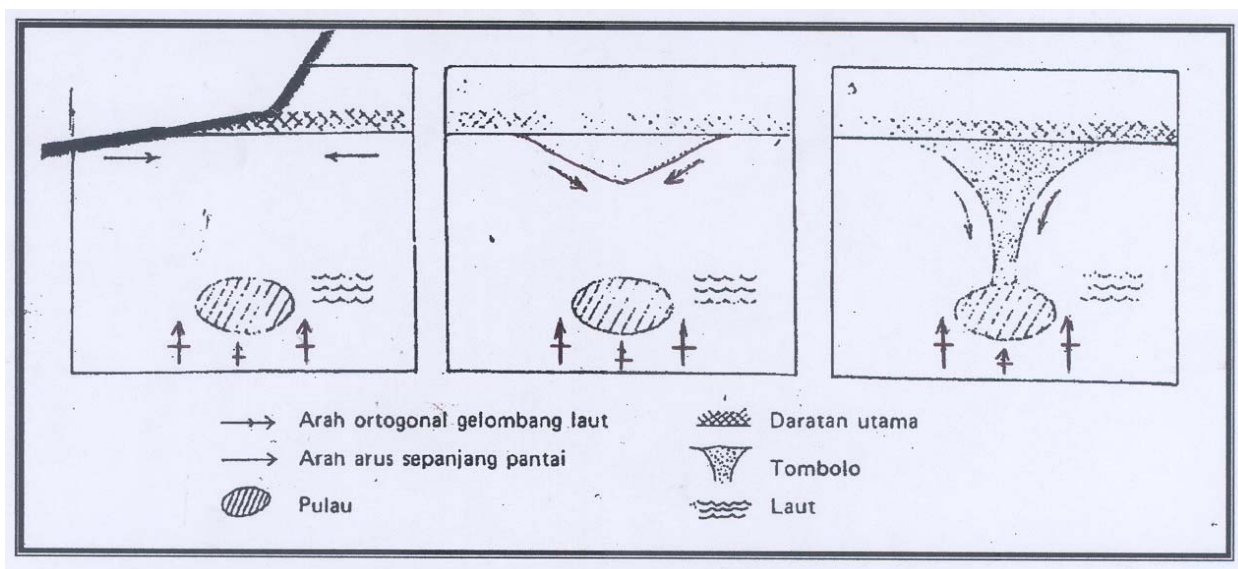
darat utama, tadinya merupakan laut dangkal. Jumlah sumur uji yang dibuat adalah dua buah. Analisis energi fluks berdasarkan data angin (BMG 1961-1965), yaitu untuk mengetahui arah arus sejajar pantai (*longshore current*). Arus ini berfungsi juga sebagai pengangkut sedimen pantai. Jumlah titik amat untuk analisis arus sejajar pantai berjumlah 55 titik.

## DEFINISI DAN KLASIFIKASI

Secara umum tombolo adalah lidah (*spit*) atau beting (*bar*) yang menghubungkan suatu pulau dengan daratan utama (*mainland*) atau antara suatu pulau dengan pulau lainnya. Tombolo terbentuk akibat kelanjutan pembentukan kerucut lengkung (*cusplate*) oleh aliran sedimen sepanjang pantai daratan utama atau aliran sedimen dari pulau (Komar, 1975). Dalam pembentukan tombolo, aliran sedimen sepanjang pantai, baik dari daratan utama maupun dari pulau lepas pantai, berperan sangat penting. Arah aliran



Foto 1. Tanjung Gondol dilihat dari sebelah timur (Astawa, 1994)



Gambar 3. Tombolo akibat *lee side* gelombang datang (Komar, 1975)

sedimen dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain arah arus laut, kedalaman laut, morfologi pantai dan perairan, serta bentuk dan kedudukan pulau terhadap garis pantai daratan utama.

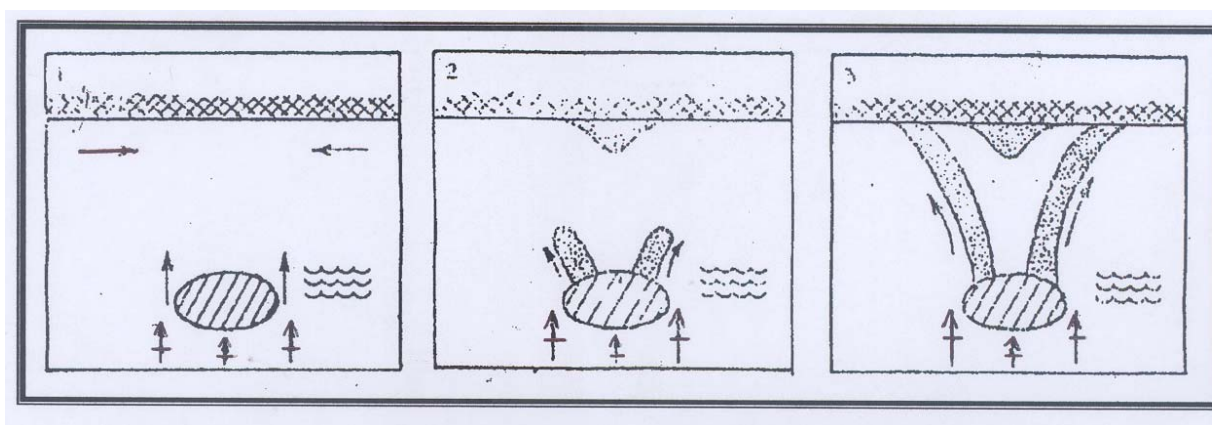
Komar (1975) membagi tombolo menjadi 3 (tiga) jenis yaitu : Pertama, tombolo terbentuk oleh bagian bayangan (*lee side*) gelombang datang, yang memiliki keadaan lebih tenang, dan energi transportasi sedimen kecil, sehingga sedimentasi terpacu lebih mantap. Karena sedimen yang berasal dari daratan utama lebih dominan, maka akan terbentuk tombolo tunggal (Gambar 3).

Kedua, tombolo jenis ganda, di tempat mana awal terbentuknya hampir sama dengan jenis

tombolo pertama, tetapi sedimen pembentuk tombolo ini dominan berasal dari pulaunya, maka akan terbentuk tombolo jenis ganda (Gambar 4). Hal ini karena batuan penyusun pulau tersebut secara fisik sangat lapuk dan mudah tererosi sehingga arus sepanjang pantai (*longshore current*) dan gelombang laut dapat membentuk lidah pasir di kedua samping pulau tersebut.

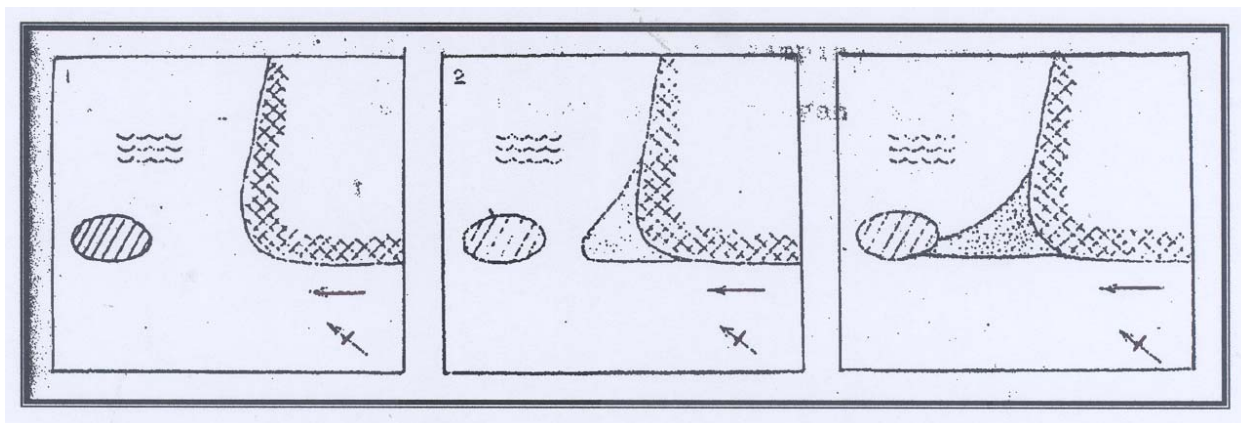
Ketiga, tombolo yang merupakan perkembangan lidah pasir sejajar pantai daratan utama dan akhirnya daratan utama tersambung dengan pulau di bagian arah aliran sedimen pantai (Gambar 5).

Tombolo dapat terbentuk jika terdapat beberapa kondisi yang mendukung antara lain jarak pulau dengan daratan utama (lebar selat),



Gambar 4. Tombolo jenis ganda (Komar, 1975).





Gambar 5. Tombolo akibat lidah pasir sejajar pantai daratan utama (Komar, 1975).

lebar pulau, kedalaman laut antara pulau dengan daratan utama, arah arus dan gelombang laut yang dominan (*prevailing and predominant*) atau arah yang tidak saling bertentangan, dan sumber sedimen yang cukup.

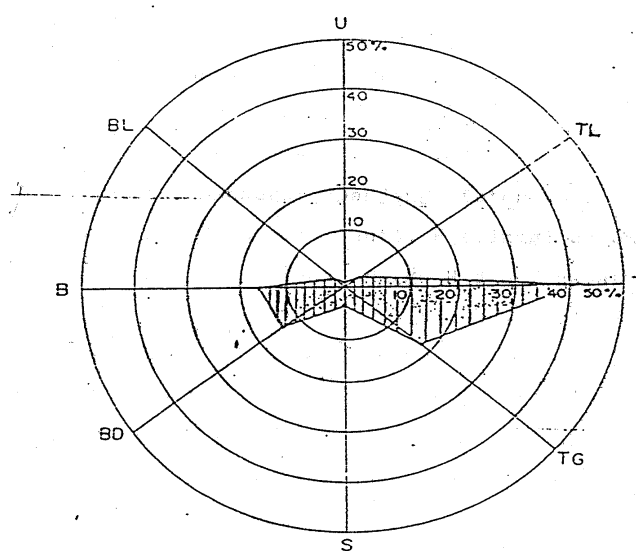
Tinggi morfologi pulau kurang berpengaruh terhadap pembentukan suatu tombolo. Tetapi ada sebagian pendapat bahwa makin tinggi morfologi suatu pulau, makin terpacu terbentuk suatu tombolo. Ketinggian pulau dapat mempengaruhi ketenangan proses sedimentasi di bagian bayangannya, sehingga dapat memasok sedimen lebih besar dibandingkan dengan pulau yang lebih rendah (Komar, 1975).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan langsung di lapangan, tombolo di Tanjung Gondol ini termasuk tombolo jenis pertama yaitu tombolo tunggal.

Pendekatan teori yang diaplikasikan dalam perhitungan energi fluks gelombang memanjang pantai adalah teori Sverdrup, Munk and Bretschneider (1954), yaitu dengan cara mengelompokkan data angin yang dapat membangkitkan gelombang (kecepatan > 10 knots). Penentuan tinggi gelombang dan periode gelombang yang diperoleh dengan menggunakan kurva prediksi parameter gelombang untuk laut dangkal (Department of the Army,

1984). Pengaruh angin (*fetch*) ditentukan dari peta sinoptik yang menggambarkan garis-garis isobar, tetapi dalam perhitungan ini panjang *fetch* dihitung dari jarak pengaruh angin di permukaan laut yang dianggap sebagai daerah penjaran gelombang menuju pantai. Gelombang yang terjadi dianggap menjalar searah dengan arah angin pembangkit gelombang, sedangkan arah angin dominan ditentukan dari diagram *Windrose* bulanan dan tahunan. Dalam perhitungan energi fluks gelombang memanjang pantai mengaplikasikan pendekatan empiris



Gambar 6. Diagram Windrose tahunan dari hasil analisis data frekuensi angin permukaan (1961-1965).

matematika dari persamaan kecepatan gelombang, persamaan potensial Laplace dan persamaan energi gelombang yang disederhanakan dan dimodifikasi oleh Tsuchiya, et al. (1967) yang menghasilkan persamaan sederhana sebagai berikut :

yang mempunyai nilai negatif yang berada di bagian bawah garis nol, arahnya berlawanan dengan yang mempunyai nilai positif (Gambar 7).

Jika kurva tersebut dipadukan dengan peta kerja sesuai dengan lokasi titik tinjau maka akan

$$Pls = 0,09352 nH^2Tsin \alpha \quad \text{dalam satuan Ft-Lbs/sec/Ft}$$

Dimana :

Pls	= Energi fluks gelombang memanjang pantai
n	= Frekuensi angin permukaan
T	= Tinggi gelombang signifikan
$\sin^2 \alpha$	= Periode gelombang signifikan

Hasil perhitungan dan pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa banyaknya endapan pantai yang terangkut oleh energi fluks gelombang memanjang pantai adalah berbanding lurus dengan besarnya energi fluks (Sverdrup, et al. 1954).

Analisis data angin kuat (> 10 knots) dilakukan untuk mengetahui arah angin dominan yang paling berpengaruh terhadap daerah penelitian. (Astawa, drr, 1994) data angin yang digunakan adalah data angin BMG Bandara Internasional Ngurah Rai, Bali, mulai tahun 1961-1965 (Gambar 6)

Dari hasil pemisahan angin kuat, dapat diketahui bahwa angin dominan yang paling berpengaruh terhadap daerah penelitian adalah angin dari timur sebanyak 43,7 %, dari arah tenggara sebanyak 30,5 % dan dari arah barat sebanyak 22,3 %, sedangkan angin dari arah lainnya pengaruhnya sangat kecil, bahkan hampir tidak berarti.

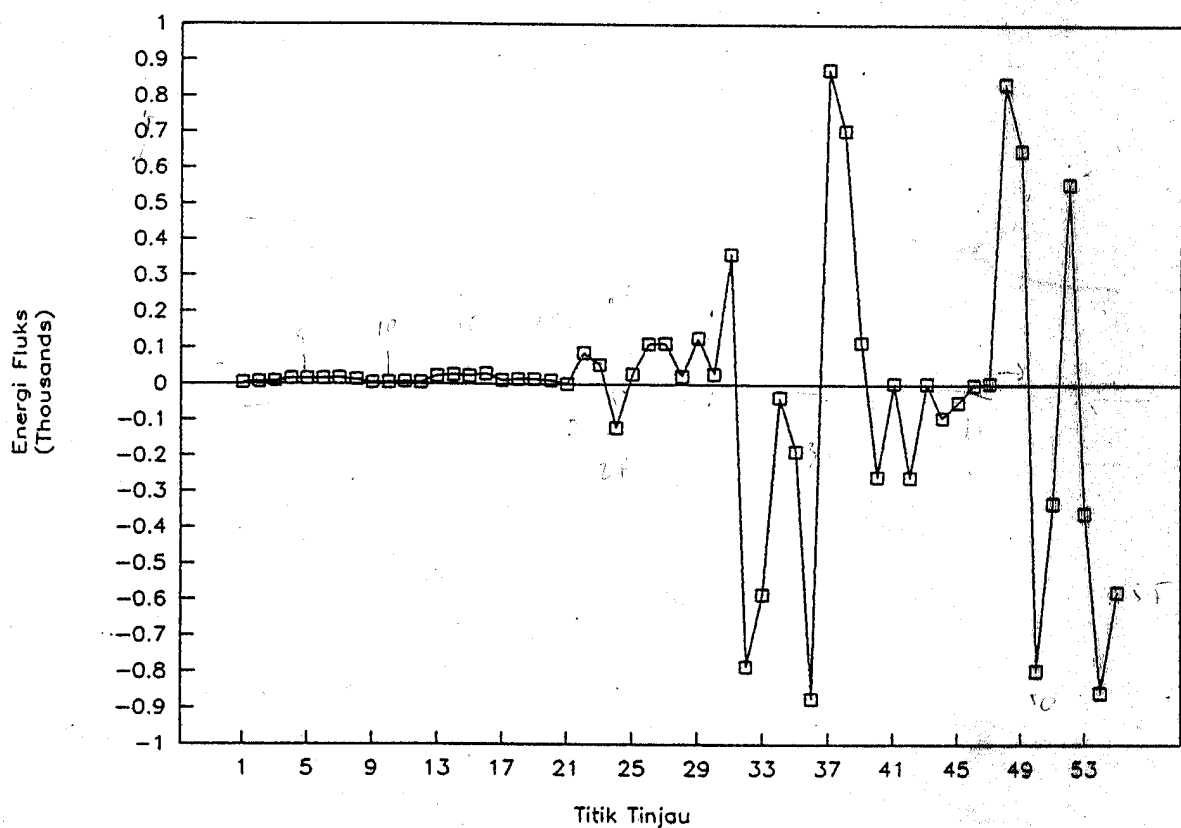
Distribusi angin-angin kuat terjadi pada musim timur yaitu setiap bulan Maret-Juli. Pada bulan ini akan terjadi gelombang laut cukup tinggi dengan frekuensi relatif tinggi juga. Kondisi ini sangat berpengaruh terhadap pembentukan tombolo di daerah penelitian.

Perhitungan energi fluks gelombang memanjang pantai menggunakan data angin kuat di 57 titik tinjau menunjukkan hasil yang sangat beragam. Arah arus pengangkutan sedimen yang mempunyai nilai positif berada di bagian atas garis nilai nol, arahnya ke kanan, sedangkan

tergambar dengan jelas arah arus sejajar pantai dan gejala perubahan garis pantai sepanjang pantai penelitian mulai dari titik tinjau 1 di bagian barat daerah penelitian hingga titik tinjau 55 yang terletak di bagian timur daerah penelitian (Gambar 8).

Pergerakan arus sejajar pantai (*litoral drift*) adalah sebagai berikut : Titik tinjau 1 hingga 23 arah arus *litoral drift* ke timur, kemudian membelok ke arah utara, titik tinjau 23 hingga 25 arah arus *litoral drift* ke selatan, titik tinjau 25 hingga 31 arah arus *litoral drift* ke utara, titik tinjau 31 hingga 34 arah arus *litoral drift* ke utara, kemudian membelok ke arah barat, titik tinjau 34 hingga 36 arah arus *litoral drift* ke selatan, titik tinjau 36 hingga 39 arah arus *litoral drift* ke utara, titik tinjau 39 hingga 47 arah arus *litoral drift* ke timur kemudian membelok ke arah utara, titik tinjau 47 hingga 49 arah arus *litoral drift* ke barat laut, titik tinjau 49 hingga 51 arah arus *litoral drift* ke selatan, dan titik tinjau 51 hingga 55 arah arus *litoral drift* ke utara.

Arus *litoral drift* ini berfungsi sebagai media pengangkut sedimen pantai yang berasal dari hasil abrasi. Sedimen yang diangkut oleh arus *litoral drift* tersebut diendapkan di sepanjang pantai yang berpengaruh terhadap proses tombolo. Arus *litoral drift* dari titik amat 1 hingga 23 dan arus *litoral drift* dari titik amat 36 hingga 39 yang berperan utama terhadap proses pembentukan tombolo di daerah penelitian (Gambar 8).



Gambar 7. Kurva energi flux gelombang tahunan.

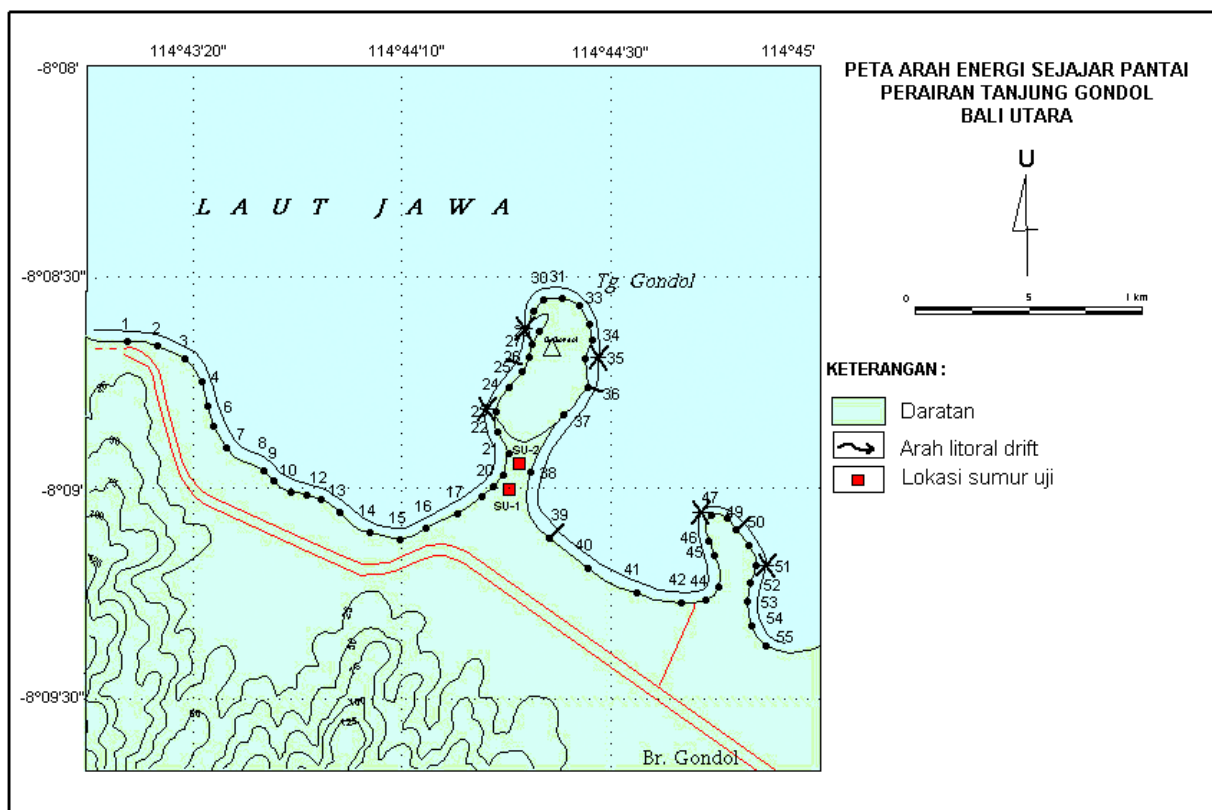
### Penelitian geologi

Hasil pembuatan 2 (dua) buah sumur uji (*tespit*), masing-masing dengan kedalaman 3,6 dan 5,4 meter dari permukaan tanah. Sumur dengan kedalaman 3,6 meter (SU-1) terletak dekat dengan daratan utama, sedangkan sumur uji dengan kedalaman 4,5 meter (SU-2) terletak dekat dengan Tanjung Gondol. Hasil pengamatan secara megaskopis, litologinya berupa pasir, selang seling antara pasir berbutir sedang, kasar, dan campuran antara pasir berbutir sedang dan kasar. Adapun rinciannya adalah sebagai berikut :

Sumur Uji 1 (SU-1), pada kedalaman 00,00-00,75 meter diendapkan pasir berbutir sedang, dengan fragmen batuan dan cangkang moluska; pada kedalaman 00,75-01,00 meter diendapkan pasir berbutir kasar dengan fragmen batuan dan cangkang moluska, serta rombakan terumbu karang; pada kedalaman 01,00-01,75 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang; pada kedalaman 01,75-02,50 meter diendapkan pasir

berbutir sedang dan kasar, dengan fragmen batuan, cangkang kerang, dan rombakan karang; pada kedalaman 02,50-03,00 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang; pada kedalaman 02,50-03,60 meter diendapkan pasir berbutir kasar dengan fragmen batuan, cangkang kerang, dan rombakan karang, di bagian dasar lubang sumur uji ditemukan karang yang sudah mati

Sumur Uji 2 (SU-2), pada kedalaman 00,00-00,75 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang; pada kedalaman 00,75-01,25 meter diendapkan pasir berbutir kasar dengan fragmen batuan, cangkang kerang, dan rombakan karang; pada kedalaman 01,25-02,00 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang; pada kedalaman 02,00-02,75 meter diendapkan pasir berbutir kasar dengan fragmen batuan, cangkang kerang, dan rombakan koral; pada kedalaman 02,75-03,25 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang; pada



Gambar 8. Arah pergerakan arus *litoral drift* daerah penelitian.

kedalaman 03,25-03,75 diendapkan pasir berukuran kasar dengan fragmen batuan, cangkang kerang, dan rombakan koral; pada kedalaman 03,75-04,50 meter diendapkan pasir berbutir sedang dengan fragmen batuan dan cangkang kerang (Gambar 9).

Kondisi seperti tersebut di atas membuktikan bahwa proses sedimentasi yang terjadi di antara Pulau Gondol dengan daratan utama, di tempat mana sedimen dengan butir kasar diendapkan pada saat musim gelombang besar sedangkan sedimen berbutir sedang diendapkan pada saat musim gelombang semakin mengecil. Disamping hal tersebut di atas di bagian bawah lubang tespit (SU-1) dan (SU-2) ditemukan koral yang sudah mati, dan koralnya sendiri tumbuh di atas batuan breksi vulkanik. Hal tersebut di atas membuktikan bahwa daratan yang menghubungkan Pulau Gondol dengan daratan utama, tadinya merupakan laut dangkal.

## KESIMPULAN

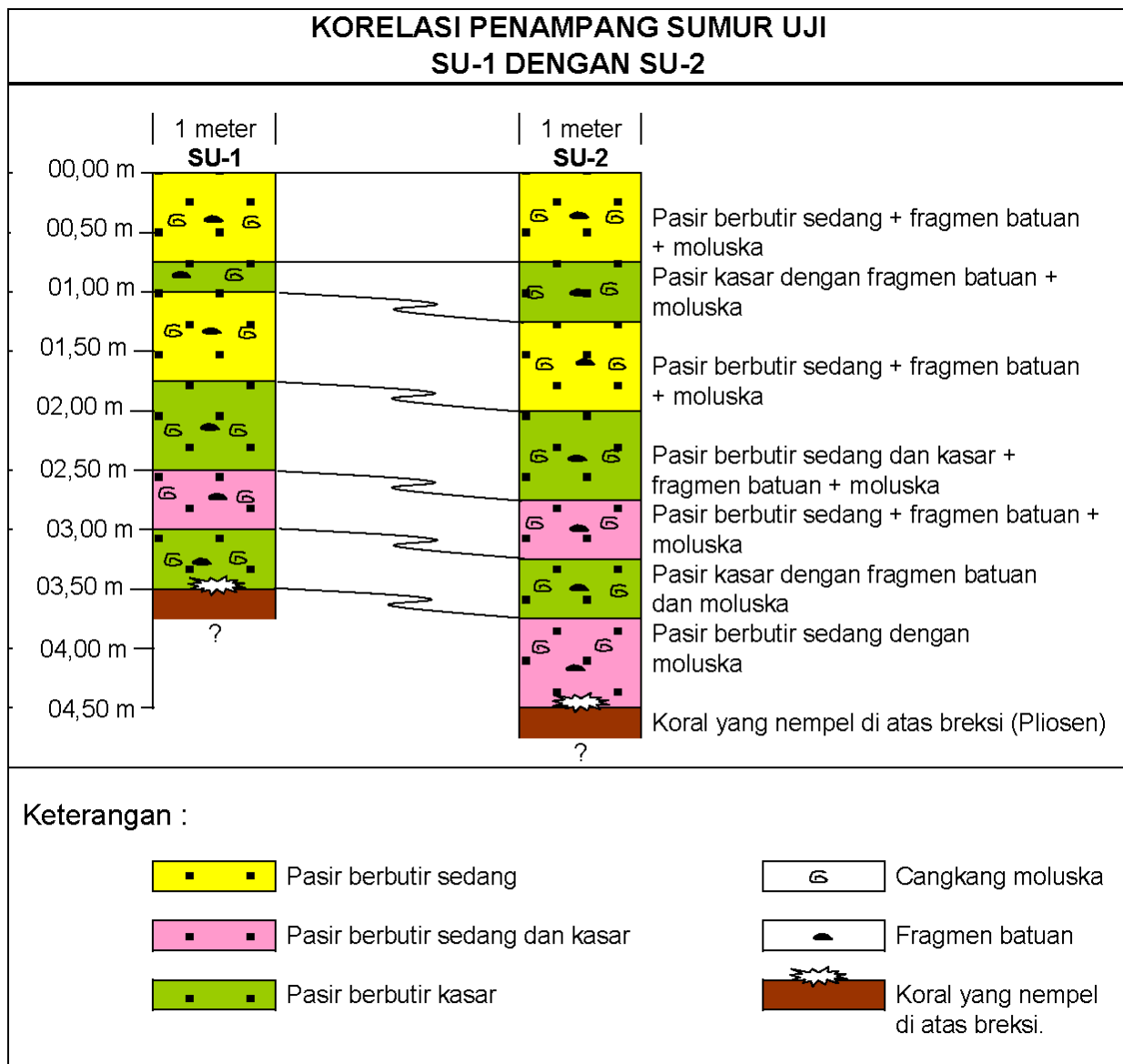
Karena sifat fisik batuan penyusun Tanjung Gondol cukup solid, sehingga dapat berfungsi

sebagai tameng/penghalang kontak langsung antara energi gelombang dengan pantai yang berada di bagian belakang Tanjung Gondol, sehingga proses sedimentasi berjalan tanpa gangguan arus tegak lurus pantai. Keadaan seperti ini sangat mendukung terjadinya proses tombolo.

Berdasarkan perhitungan energi flux gelombang, arah pergerakan arus sejajar pantai di sebelah barat Tanjung Gondol, mengarah ke timur, kemudian membelok ke arah utara, sedangkan di sebelah timur Tanjung Gondol mengarah ke barat, kemudian membelok ke timur, terus ke arah utara, sehingga terjadi penumpukan sedimen pantai di antara Tanjung Gondol dengan daratan utamanya, hal ini membuktikan bahwa di daerah ini terjadi proses tombolo.

Dari sumur uji (*testpit*) yang dibuat di antara Tanjung Gondol (SU-2) dengan daratan utamanya (SU-1), di bagian bawah sumur ditemukan koral yang sudah mati, hal tersebut membuktikan bahwa daerah tersebut dulunya merupakan perairan dangkal yang sekarang menjadi daratan karena adanya proses tombolo.





Gambar 9. Korelasi penampang sumur uji SU-1 (daratan utama) dengan SU-2 (Tanjung Gondol)

Dengan pembuktian tersebut di atas, di daerah penelitian memang telah terjadi proses tombolo, sehingga disarankan :

Proses tombolo merupakan proses yang berlangsung secara alami serta proses tersebut jarang ditemukan, oleh karena itu Pemda setempat dapat memanfaatkan daerah penelitian sebagai obyek wisata, sekaligus sebagai laboratorium alam.

Pemanfaatan lahan di daerah penelitian diusahakan jangan sampai mengganggu kesetimbangan pantainya. Salah satu contoh adalah jangan ada kegiatan penambangan material pantai baik berupa pasir pantai maupun

pengambilan koral di sekitar perairan penelitian, karena kegiatan tersebut akan mengganggu proses tombolo yang masih berlangsung hingga kini.

#### Ucapan terima kasih

Dengan selesainya tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Bandung, atas kepercayaannya kepada penulis untuk melakukan penelitian di Tanjung Gondol, Singaraja, Bali.

## ACUAN

- Astawa, I N., P. Astjario, M. Surachman, ILugra, I W., dan P. Rahardjo, 1994, Laporan Hasil Penyelidikan Geologi Wilayah Pantai dan Lepas Pantai, Perairan Celukanbawang dan Sekitarnya, Laporan intern *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan* (tidak dipublikasikan).
- Department of the Army, 1984, Shore Protection Manual Vol. I, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer. *Coastal Engineering Research Center*, hal. 3-65.
- Komar, P.D., 1975, *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs; New Jersey, P : 36-144.
- Purbohadiwidjojo, M. M., 1971, *Peta Geologi Lembar Bali*, Pusat Peneltian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sverdrup, HV., Munk and Bretchneider., 1954, *The Oceans, Vol. I*. Prentice Hall Inc., New York.
- Tsuchiya, Ijima and Tang, 1967, Numerical Calculation of Wind Wave in Shallow Waters, *Proceeding 10<sup>th</sup> Confrence Coastal Engineer*, p.28-45, New York.