

## **IDENTIFIKASI PERGERAKAN SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE PELACAKAN BENDA APUNG DI PANTAI NUSA DUA BALI**

### **IDENTIFICATION OF SEDIMENT MOVEMENT USING FLOATING OBJECTS ON NUSA DUA BEACH, BALI**

**Dadang Karmen<sup>1)</sup>, I Ketut Dharma Setiawan<sup>2)</sup>, Fitri Riandini<sup>3)</sup>**

<sup>1,2)</sup> Loka Penerapan Teknologi Pantai Pusat Litbang Sumber Daya Air  
Jl. Raya Gilimanuk-Singaraja Km.122 Ds.Musi, Kec.Gerokgak, Kab.Buleleng – Provinsi Bali.

<sup>3)</sup>Pusat Litbang Sumber Daya Air  
Jl. Ir. H. Juanda No. 193 Bandung  
Email : loka\_pantai@yahoo.com

Diterima: 12 Juni 2012; Disetujui: 25 Oktober 2012

#### **ABSTRAK**

*Salah satu upaya pengamanan pantai yang ramah lingkungan dan cukup efektif dalam memperbaiki kerusakan pantai adalah pengisian pasir, karena pasir merupakan salah satu media peredam energi gelombang. Selain itu, dampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya relatif kecil dibandingkan dengan bangunan pengamanan pantai lain. Pelaksanaan pengamanan pantai dengan pengisian pasir telah dilakukan pada pantai-pantai wisata di Pulau Bali yaitu di Pantai Nusa Dua, Sanur, dan Kuta. Namun demikian, tidak semua upaya pengisian pasir berhasil sesuai dengan rencana. Pada beberapa pantai yang telah diisi pasir mengalami kehilangan pasir cukup besar, seperti di Pantai Nusa Dua, namun kehilangan pasir isian mencapai 40% selama 4-5 tahun. Untuk mengatasi hal tersebut telah dibangun dua buah groin tambahan yang diikuti pengisian pasir ulang (renourishment), tetapi dalam beberapa bulan kehilangan pasir terjadi kembali. Identifikasi pergerakan sedimen menggunakan metode pelacakan benda apung (bola pingpong diisi pasir) dilakukan untuk mengetahui pola pergerakan sedimen, sehingga dapat mendukung desain perencanaan pengelolaan pantai. Hasil identifikasi menunjukkan kecenderungan pergerakan sedimen dengan arah tegak lurus pantai. Berdasarkan kondisi tersebut untuk mempertahankan pantai yang telah diisi pasir perlu dilengkapi dengan struktur penahan pasir sejajar pantai yang bentuknya disesuaikan dengan kondisi lapangan.*

**Kata kunci:** *Pengamanan pantai, ramah lingkungan, pengisian pasir, pengisian ulang, angkutan sedimen, pelacakan bola pasir*

#### **ABSTRACT**

*One of the beach protection method that eco-green and quite effective in repairing damage to the beach is sand nourishment because the sand is one of the medium wave energy absorbers, meanwhile the negative impact on the surrounding environment is relatively small compared to other beach protection. Implementation of beach nourishment has been carried out on the beach of Nusa Dua, Sanur, and Kuta beach, Bali. Not all beach nourishment succeeded according to plan, on some beaches quite large of sand is washed away such as the beach of Nusa Dua, but has suffered loss by 40% stuffing sand for 4-5 years. Two additional groins followed by renourishment have been carried out, but within a few months loss of sand occur again. Identifying of sediment transport by using floating objects (pingpong balls filled with sand) was carried on the beach of Nusa Dua to support the design of coastal management planning. The identification results show the tendency of sediment movement in accordance with the current circulation going. Based on these conditions to maintain the filled sand beaches need to be equipped with a structure parallel to the sand barrier beach which forms adapted to field conditions.*

**Keywords:** *Beach protection, eco-friendly, beach nourishment, re-nourishment, sediment transport, sand ball tracking*

**PENDAHULUAN**

Pengisian pasir atau *sand nourishment* merupakan salah satu upaya pengamanan pantai yang efektif karena pasir memberi kenyamanan dalam bermain di pantai, juga merupakan salah satu media penahan energi gelombang yang cukup ramah lingkungan. Penanggulangan erosi di Pantai Nusa Dua telah dilaksanakan oleh Proyek Pengamanan Pantai Bali Selatan dengan menerapkan metode pengisian pasir dikombinasikan dengan pemasangan *groin* sebagai struktur penahan. Namun demikian, karena identifikasi pergerakan sedimen pasir di antara dua buah *groin* sulit dilakukan sehingga usaha pengamanan pantai yang telah dilakukan tidak memberikan hasil yang optimal.

Pergerakan sedimen yang terjadi melalui proses alami (seperti resuspensi dasar, angkutan pasir sejajar pantai) atau aktivitas manusia (pengerukan atau pembangunan struktur pantai) sering kali menimbulkan masalah dalam pengaturan lingkungan laut dan pantai. Di pantai, pergerakan sedimen dipengaruhi oleh gelombang dan arus laut yang dibangkitkan oleh gelombang. Untuk itu, perlu diketahui pola sirkulasi di pantai untuk mengetahui pergerakan dan pola penyebaran sedimen.

Lokasi penelitian dilakukan pada pantai yang telah mengalami kehilangan pasir isian antara dua *groin* (GA3-GA2) di depan Hotel Villa Bintang di Pantai Nusa Dua, Bali. Untuk mengetahui ke mana hilangnya pasir isian, perlu dilakukan identifikasi pergerakan sedimen pasir. Hasil identifikasi dapat digunakan untuk mendukung penyelesaian masalah kehilangan pasir isian yang telah dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui arah dan kecepatan pergerakan bola berisi pasir di antara dua buah *groin* di Pantai Nusa Dua sehingga didapat pola pergerakan sedimen yang sangat diperlukan untuk kepentingan desain

penanganan kehilangan pasir isian yang terjadi di pantai tersebut.

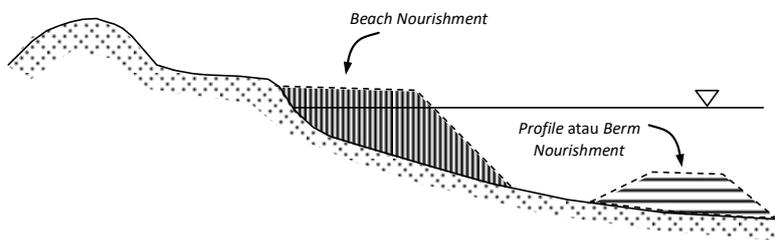
**KAJIAN PUSTAKA**

**1) Beach nourishment**

*Beach nourishment* disebut juga *artificial nourishment*, *replenishment*, *beachfill* atau *restoration*, maksudnya adalah pemberian, pengisian atau suplai sejumlah besar sedimen pasir berkualitas baik dalam sebuah sistem dekat pantai (*nearshore*) yang ditujukan untuk mengganti kemunduran garis pantai sebagai manifestasi kekurangan pasir. Istilah "*nourishment*" berlaku baik untuk pengisian pasir awal dan pengisian pasir lanjutan (*renourishment*) bilamana diperlukan. Istilah *beach nourishment* juga digunakan untuk membedakan antara material yang diisikan di atas permukaan air dengan material yang diisikan di bawah permukaan air, yang disebut dengan *profile/berm nourishment*.

*Beach nourishment* dipilih karena alasan-alasan: fleksibilitas, keharmonisan dengan alam, dan membutuhkan biaya lebih murah dibandingkan dengan solusi dengan struktur rigid. Sementara itu, satu-satunya kekurangan *beach nourishment* adalah persepsi negatif dari kelompok masyarakat tertentu bahwa tindakan tersebut kurang efektif. Hal ini dapat dimaklumi mengingat biaya awal yang dikeluarkan relatif besar terutama untuk pengisian pasir dan setelah selesai pengisian sebagian pasir akan tererosi. Sebenarnya pasir yang tererosi tidak benar-benar hilang, tetapi terdistribusi lebih ke *offshore* dalam profil aktif. Dalam pandangan umum, kejadian ini dianggap pantai kembali tererosi dan biaya yang dikeluarkan sia-sia.

Mengingat biaya awal yang relatif mahal, maka *beach nourishment* hanya cocok diterapkan untuk pantai-pantai yang memiliki nilai ekonomi tinggi (misalnya pantai wisata) dimana biaya yang dikeluarkan untuk pengisian pasir akan dikembalikan melalui pengusaha pantai sebagai kawasan wisata (hotel, restoran, dan lain-lain).



**Gambar 1** Beach nourishment dan profile nourishment

## 2) Pergerakan partikel (*Particle tracking*)

Metode yang digunakan dalam memprediksi lintasan partikel adalah Eulerian-Lagrangian. Pergerakan partikel pada hakikatnya sulit dilakukan karena aliran Lagrange biasanya sulit diprediksi atau memiliki *chaotic behavior*. Di laut, kombinasi dari waktu dan struktur tiga dimensi mengakibatkan *chaotic transport*. Secara tidak langsung, pergerakan partikel bergantung pada kondisi awal yang tidak diketahui keakuratannya, sehingga prediksi yang dilakukan sangat sulit.

Pada metode Eulerian, pergerakan fluida diperoleh dari ketetapan sifat fluida seperti tekanan, densitas, kecepatan dan lainnya sebagai fungsi ruang dan waktu. Dari metode ini akan diperoleh informasi mengenai aliran di titik yang telah ditentukan pada suatu ruang sebagai aliran fluida yang melewati titik tersebut. Metode Lagrangian menggunakan asumsi bahwa masing-masing individu partikel fluida yang bergerak ditentukan oleh sifat fluida yang berubah terhadap ruang dan waktu.

## 3) Kecepatan jatuh (*fall velocity*)

Salah satu karakteristik hidrodinamika yang penting terkait partikel sedimen adalah kecepatan jatuh butir sedimen,  $w$ , yang merupakan kecepatan maksimum partikel sedimen yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya angkat air serta gesekan partikel. Ukuran pasir tersuspensi pada kolom air, akan bergantung pada kecepatan jatuh. Untuk butir pasir berukuran besar, akan jatuh dengan cepat dibandingkan dengan pasir berbutir halus.

Secara teoritis, kecepatan jatuh pada air diam dapat dihitung dari kesetimbangan gaya pada butir sedimen tunggal, meliputi berat butir,  $W$ , gaya angkat,  $F_b$ , dan gaya gesek,  $F_D$ . Kesetimbangan gaya partikel dinyatakan sebagai:

$$W - F_b - F_D = \rho_s g \left( \frac{\pi d^3}{6} \right) - \rho_a g \left( \frac{\pi d_s^3}{6} \right) - \rho_a C_D \left( \frac{\pi d_s^2}{6} \right) w^2 = 0 \quad (1)$$

Keterangan:  $\rho_s$  dan  $\rho_a$  adalah densitas sedimen dan air,  $(\pi d_s^3/6)$  adalah volume butir berdiameter  $d_s$ , dan  $C_D$  adalah *drag coefficient* dari butir partikel sebagai fungsi dari bilangan Reynolds. Penyelesaian persamaan (1) menghasilkan persamaan kecepatan jatuh sebagai berikut:

$$w = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho_a)gd_s}{3\rho_a C_D}} \quad (2)$$

Untuk bilangan Reynolds lebih kecil daripada 1, Stokes (1851) memperoleh  $C_D=24/Re$ . Dalam hal ini, gerakan butir adalah laminar sehingga  $C_D$  berbanding terbalik dengan  $Re$ , sehingga persamaan kecepatan jatuh menjadi :

$$w = \frac{(\rho_s - \rho)gd_s^2}{18\mu_a} \quad (3)$$

Keterangan :  $\mu_a$  adalah viskositas statik.

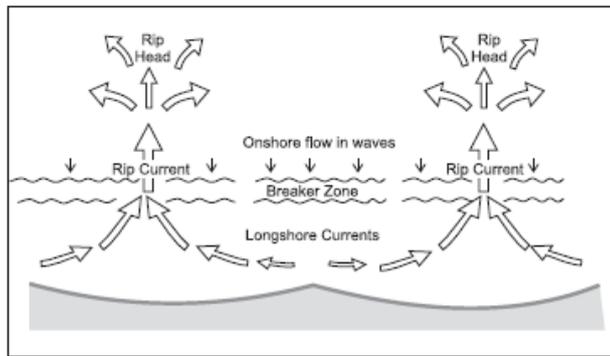
Persamaan (3) lebih dikenal dengan Hukum Stokes. Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa kecepatan jatuh akan meningkat dengan bertambahnya densitas sedimen dan ukurannya. Peningkatan temperatur akan mengurangi viskositas, dengan demikian pasir akan jatuh lebih cepat pada air yang hangat.

## 4) Sirkulasi arus akibat *groin*

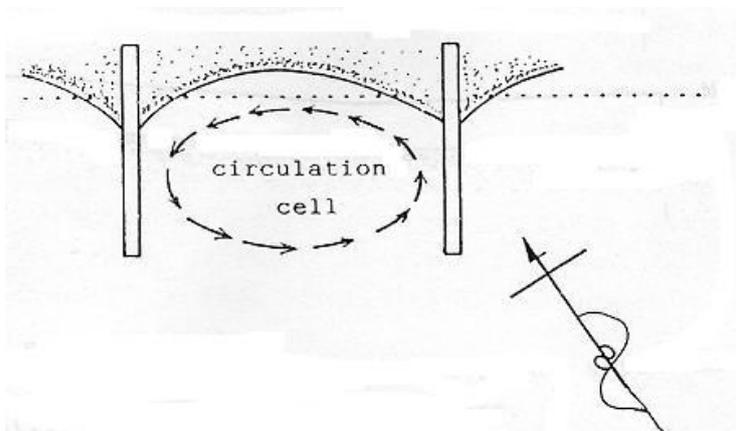
Arus laut adalah gerakan massa air laut yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Arus di permukaan laut terutama disebabkan oleh tiupan angin, sedang arus di kedalaman laut disebabkan oleh perbedaan densitas massa air laut. Selain itu, arus di permukaan laut dapat juga disebabkan oleh gerakan pasang surut air laut atau gelombang. Arus laut dapat terjadi di samudra luas yang bergerak melintasi samudra (*ocean currents*), maupun terjadi di perairan pesisir (*coastal currents*).

Pada beberapa pantai berpasir, arus yang mengalir kembali ke laut merupakan bagian dari suatu sistem yang disebut *rip cell*. Arus ini terjadi pada zona yang sempit (*rips*) yang secara periodic juga bergerak ke arah pantai.

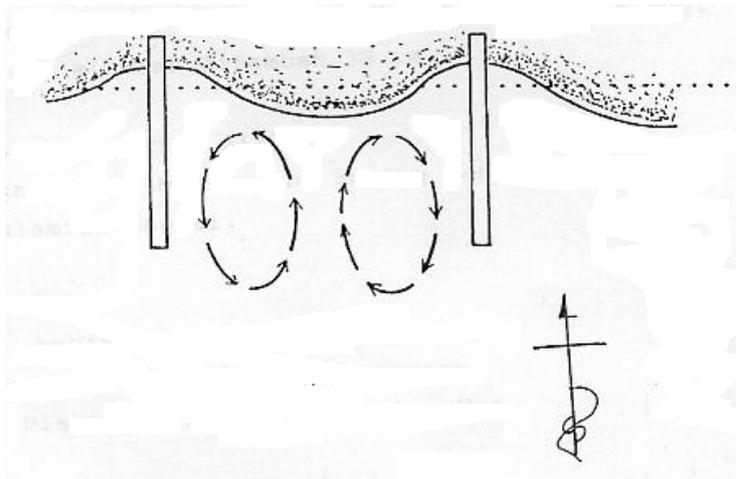
Ketika gelombang yang menjalar ke arah membentuk sudut terhadap garis pantai, sebagian fluks momentum akan bergerak sejajar pantai dan membangkitkan arus sejajar pantai (*longshore current*). Kecepatan arus sejajar pantai akan bertambah seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang dan membesarnya sudut yang dibentuk antara puncak gelombang dan garis pantai. Arus sejajar pantai akan membentuk sirkulasi bersama dengan *undertow* dan *rip cell* serta aliran yang dibangkitkan oleh angin dan arus pasang surut. Gambar 2 memperlihatkan fenomena terjadinya sirkulasi *rip cell* dan *longshore current*.



Gambar 2 Rip cell dan longshore current (Davidson-Arnott, 2010)



Gambar 3 Single circulation cell (Yuwono, 1992)



Gambar 4 Double circulation cell (Yuwono, 1992)

Yuwono (1992) menyatakan bahwa beberapa jenis sirkulasi arus dapat terjadi akibat adanya *groin*, yaitu *single circulation* dan *double circulation*. Gambar 3 dan 4 masing-masing memperlihatkan kedua jenis sirkulasi arus tersebut.

### 5) Penelitian terdahulu

Penanggulangan erosi di Pantai Nusa Dua telah dilaksanakan oleh Proyek Pengamanan Pantai Bali Selatan dengan menerapkan metode pengisian pasir dikombinasikan dengan pemasangan *groin* tegak lurus pantai berbagai tipe sebagai struktur penahan. Sekitar 372.312 m<sup>3</sup> pasir isian telah ditebarkan di ruas pantai sepanjang sekitar 5 km tersebut sehingga membuat lebar pantai menjadi sekitar 30 m. Sebagai pengendali pasir isian telah dibangun 14 buah *groin* tegak lurus pantai yang berperan sebagai tanjung. Penanganan erosi dengan pengisian pasir yang dilakukan pada tahun 2003 ini bukanlah yang pertama dilaksanakan di pantai Nusa Dua. Kegiatan serupa telah dilakukan pada tahun 1985 dengan mengisikan pasir masing-masing sebanyak 60.000 m<sup>3</sup>, 90.000 m<sup>3</sup> dan 40.000 m<sup>3</sup> dan membangun tiga buah *groin* untuk menstabilkan ruas pantai di sebelah utara Pulau Nusa Kecil (Syamsudin et.al,1998).

Sulaiman (2008) telah melakukan penelitian tentang monitoring garis pantai dan bangunan pengaman pantai pasca pengisian pasir di pantai Nusa Dua. Hasil survei visual untuk mengamati kondisi bangunan pantai dan fasilitas lainnya di kawasan Pantai Nusa Dua menunjukkan secara umum bangunan-bangunan pantai masih dalam kondisi baik. Hanya pada lokasi tertentu terjadi kerusakan pangkal *groin* sebelah utara karena

gerusan lokal. Terjadinya gerusan lokal yang menyebabkan rusaknya pangkal *groin* tersebut juga menyebabkan tergerusnya garis pantai.

Pada ruas pantai dimana jarak pemasangan *groin* relatif pendek, kondisi pantainya menunjukkan lebih cepat mencapai kestabilannya, dengan terbentuknya kantong pantai parabolik. Sebaliknya, ruas pantai yang bermasalah, yaitu lokasi-lokasi pantai yang mengalami penyusutan pasir dan garis pantainya mundur terjadi pada ruas pantai dimana jarak antara kedua *groin* terlalu panjang.

Kinerja *groin* dan dampaknya terhadap ruas pantai sekitarnya dirangkum dan disajikan pada Tabel 1. Dari 13 ruas Pantai Nusa Dua hasil penanganan dengan pengisian pasir dan pemasangan *groin* sebagai struktur pengendali, yaitu ruas pantai antara *groin* GA1 di utara sampai G12 di selatan, empat ruas pantai atau sekitar 30 % dari seluruh ruas Pantai Nusa Dua belum mencapai kestabilannya. Ruas pantai bermasalah ini seluruhnya berada di sebelah utara dan terjadi di bagian hilir *groin* yang ditandai dengan hilangnya pasir dan mundurnya garis pantai.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah usul mengenai tingkat perbaikan yang harus dilakukan agar kinerja bangunan pantai dan garis pantainya sesuai yang diharapkan, yaitu perbaikan ringan, perbaikan sedang dan perbaikan berat. Perbaikan sedang berupa penambahan pasir atau pengisian ulang (*renourishment*) dilakukan pada ruas pantai yang belum mencapai kestabilan. Sementara itu, perbaikan berat dilakukan dengan membangun *groin* baru, perbaikan *groin*, dan pengisian pasir untuk membuat pantai mencapai kestabilannya.

**Tabel 1** Jenis dan Kondisi *Groin* Pantai Nusa Dua (Sulaiman, 2008)

Nama <i>Groin</i>	Tipe	Klasifikasi	Tahun Dibangun	Elevasi Puncak (m)	Panjang (meter)	Slope	Jarak antar <i>Groin</i> (m)	Stabilitas Ruas Pantai 2007	Kondisi <i>Groin</i> 2007
GA1	L	<i>Groin</i> Baru	2004	3.1	30.71	1 : 3			Baik
GA2	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	62.10	1 : 3	-	Belum Stabil	Baik
GA3	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	63.00	1 : 3	467	Belum Stabil	Baik
GA8	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	62.96	1 : 3	505	Belum Stabil	Baik
G0	I	<i>Groin</i> Baru	2002	4.4	75.00	1 : 3	226	Belum Stabil	Rusak
G 01	I	<i>Groin</i> Baru	2002	5.2	73.50	1 : 3	126	Stabil	Baik
G 04	I	<i>Groin</i> Baru	2002	3.6	84.88	1 : 3	213	Stabil	Baik
G 05	T	<i>Groin</i> Baru	2003	4.3	63.26	1 : 3	231	Stabil	Baik
GN1	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	104.23	1 : 3	244	Stabil	Baik
G09	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	103.34	1 : 3	248	Stabil	Baik
G10	L	<i>Groin</i> Baru	2003	4	120.11	1 : 3	222	Stabil	Baik
UG1	T	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	92.29	1 : 3	196	Stabil	Baik
GN2	L	<i>Groin</i> Baru	2003	3.6	118.11	1 : 3	211	Stabil	Baik
G12	L	<i>Groin</i> Baru	2003	4	97.28	1 : 3	297	Stabil	Baik

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan pergerakan sedimen secara langsung, menggunakan media bola pingpong yang diisi pasir. Survei dilakukan dengan jumlah personil minimal 6 orang, terdiri dari 3 (tiga) orang penyelam untuk 3 (tiga) segmen yang berbeda. Dalam penelitian ini, pasir yang diambil sebagai pasir isian pada bola pingpong adalah pasir di Pantai Merta Sari Sanur yang sudah diayak dan disaring lalu dihitung diameter rata-ratanya ( $D_{50}$ ), kemudian diukur kecepatan jatuh sedimen pasir yang dilakukan di pantai. Sebanyak 75 buah bola pingpong dilepaskan di pantai dan dibagi dalam 3 segmen *groin*. Setelah itu akan dilacak setiap 1 jam dengan menggunakan GPS garmin sehingga akan didapat arah dan kecepatan sedimen di area Pantai Nusa Dua.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1) Kondisi Pantai Nusa Dua

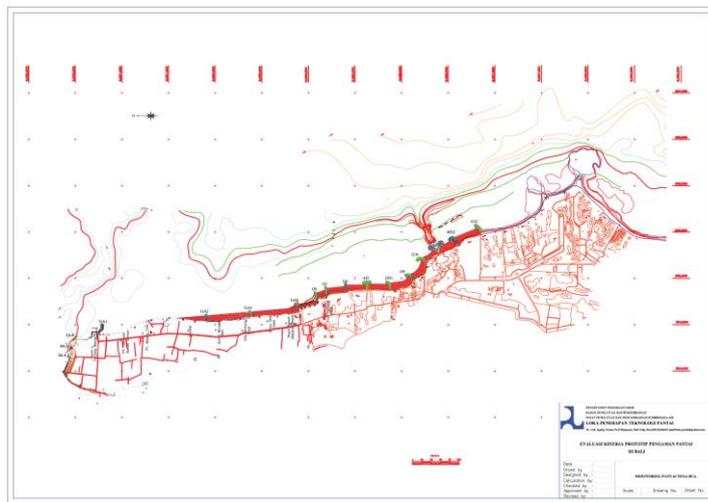
Pantai Nusa Dua terletak di bagian Selatan Pulau Bali ± 40 km dari kota Denpasar, tepatnya berada di Kelurahan Tanjung Benoa, Nusa Dua, Kabupaten Badung. Pengamanan pantai meliputi bentang pantai yang tererosi sepanjang 2 km, dari Nusa Dua Beach Hotel sampai Puri Tanjung Hotel.

Gambar 5 memperlihatkan peta situasi Pantai Nusa Dua. *Groin* yang dibangun sebagai pengendali pasir isian di sepanjang Pantai Nusa Dua ini terdiri dari *groin* tegak lurus pantai berbentuk "T" sebanyak 2 buah, *groin* berbentuk "L" sebanyak 9 buah, dan *groin* tegak lurus pantai berbentuk "I" sebanyak 3 buah. *Groin* dibuat dari

konstruksi batuan andesit dan limestone yang disusun secara berlapis menyerupai tanggul. Lapisan paling bawah merupakan lapisan inti, dibuat dari batuan *quarry run* dengan berat 1- 4 kg, lapisan kedua terbuat dari batuan andesit dengan berat 30 kg, sedangkan lapisan penutup atau armor terbuat dari batu gamping/*limestone* dengan berat bervariasi antara 300 - 500 kg sesuai dengan kebutuhan.

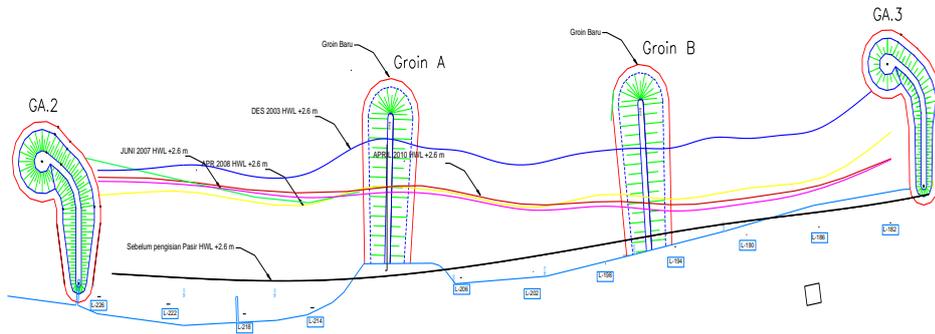
Ketinggian puncak bangunan dibuat 1,0 m di atas muka air tertinggi (HWL), dimana HWL= +2,60 m, sehingga pasir isian tidak dapat melewati puncak *groin*. Panjang *groin* untuk tiap lokasi pemasangan bervariasi disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan lapangan.

Sebagian besar *groin* yang dipasang baik berbentuk "T" maupun yang berbentuk "L" dibuat dengan membentuk lengkung di ujungnya. Tujuannya adalah untuk membatasi perpindahan pasir yang terjadi pada ujung *groin*. Dengan kondisi tersebut diharapkan akan terbentuk kantong pantai sehingga pasir dapat tertahan dan membentuk garis pantai yang melengkung, yaitu garis pantai yang menunjukkan pantai stabil dan telah mencapai keseimbangannya. Dari tiga belas ruas pantai Nusa Dua hasil penanganan dengan pengisian pasir dan pemasangan *groin* sebagai struktur pengendali, yaitu ruas pantai antara *groin* GA1 di utara sampai G12 di selatan, 4 ruas pantai atau sekitar 30 % dari seluruh ruas pantai Nusa Dua belum mencapai kestabilannya. Ruas pantai bermasalah ini seluruhnya berada di sebelah utara dan terjadi di bagian hilir *groin* yang ditandai dengan hilangnya pasir dan mundurnya garis pantai.



Gambar 5 Peta situasi Pantai Nusa Dua

Formatted: Font: Cambria



Gambar 6 Situasi garis pantai antara groin GA2 dan GA3 setelah pembangunan groin baru

Gambar 6 memperlihatkan situasi garis pantai antara groin GA2 dan GA3. Di antara kedua groin tersebut telah dibangun 2 (dua) buah groin baru berbentuk "I" (groin A dan groin B) yang diharapkan dapat mengurangi pasir yang hilang. Akan tetapi groin baru tersebut tidak memberikan pengaruh yang berarti, pasir yang telah diisikan tetap hilang.

## 2) Pengukuran kecepatan jatuh sedimen

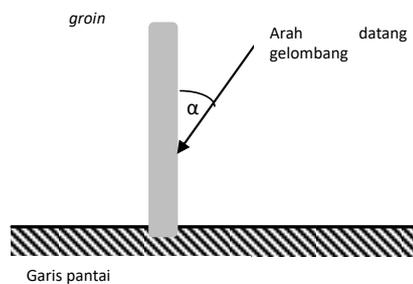
Pengukuran kecepatan jatuh sedimen dilakukan dengan mengisikan pasir pada bola pingpong kemudian menjatuhkan bola tersebut ke dalam air dan menghitung kecepatan jatuh bola pingpong tersebut. Ketentuan yang harus dipenuhi adalah kecepatan jatuh bola pingpong yang diisi pasir harus sama dengan kecepatan jatuh sedimen pada lokasi penelitian. Dari hasil pengukuran diperoleh kecepatan jatuh sedimen rata-rata adalah 0,22 m/dt. Untuk mendapatkan kecepatan jatuh bola pingpong yang relatif sama dengan kecepatan jatuh pasir dilakukan uji coba terhadap beberapa sampel bola pingpong dengan berat pasir bervariasi. Hasil uji coba di Pantai Nusa Dua dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji coba diatas, untuk mendekati kecepatan jatuh pasir didapat bola pingpong dengan isian pasir dengan berat 2 gram.

Tabel 2 Perbandingan berat pasir dan kecepatan jatuh

No	Berat Pasir	Waktu	Kecepatan
1	1 gr	4,8 detik	0,21 m/det
2	2 gr	4,5 detik	0,22 m/det
3	3 gr	4,2 detik	0,23 m/det
4	4 gr	4,1 detik	0,24 m/det
5	5 gr	3,6 detik	0,28 m/det

## 3) Gelombang dan arus

Gelombang dominan di sepanjang lokasi penelitian berasal dari arah tenggara dengan sudut datang bervariasi terhadap groin (lihat sketsa pada Gambar 7).



Gambar 7 Sketsa arah datang gelombang terhadap groin

Akibat adanya groin, maka gelombang yang datang akan membentur ujung groin sehingga terdifraksi dan berubah arah. Difraksi gelombang tersebut memengaruhi pola sirkulasi arus di antara dua groin, yang terbentuk sebagai kombinasi antara arus sejajar pantai dan arus balik. Kedua arus tersebut membentuk *circulation cell*, seperti dinyatakan dalam Yuwono (1992). Adanya pola sirkulasi arus tersebut menggerakkan sedimen di pantai sehingga terbentuklah profil garis pantai yang mendekati bentuk setimbang, menyerupai parabolik.

## 4) Pergerakan sedimen

Banyaknya jumlah sedimen yang diangkat bergantung pada kekuatan dari aliran yang membawa, ukuran butir, volume, kepadatan, dan bentuk butir sedimen. Aliran yang kuat akan meningkatkan gaya angkat pada partikel,

menyebabkan naik, sementara partikel besar atau lebih padat cenderung jatuh mengikuti aliran.

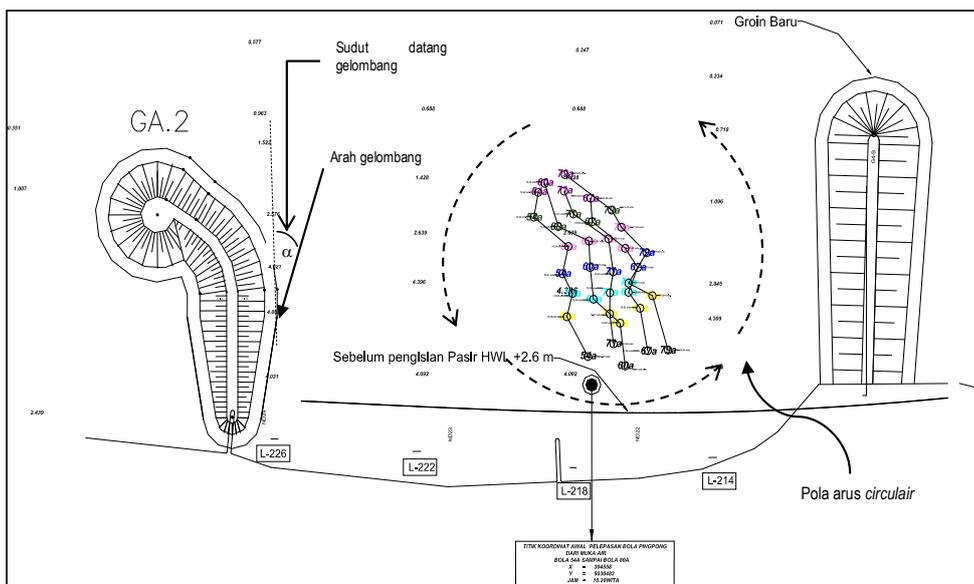
Setelah didapat berat pasir isian pada bola pingpong yang dilengkapi kode/penomoran pada masing-masing bola. Pada masing-masing area *groin* disembarkan 25 bola pingpong (No.1-25). Pengamatan terhadap pergerakan bola pingpong dilaksanakan pada tanggal 14 - 15 Oktober 2010 dengan pencatatan posisi setiap dua jam, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap bola pingpong yang telah dilepas tersebut.

Berdasarkan hasil pengamatan, ketika bola dilepas, sebagian tenggelam ke dasar perairan, dan sebagian lainnya terbawa arus ke laut. Pelacakan bola pingpong dilakukan untuk bola-bola yang tenggelam ke dasar, sehingga dapat digambarkan lintasan pergerakan bola yang merepresentasikan pergerakan sedimen.

Pada pantai segment 1 yaitu area antara *groin* GA2-*groin* A, arah gelombang membentuk sudut 16° terhadap *groin*. Pada saat gelombang

membentur ujung *groin*, terjadi difraksi gelombang yang mengakibatkan perubahan arah rambat gelombang. Makin dekat ke pantai, gelombang akan pecah dan membangkitkan arus sejajar pantai (*longshore current*). Sirkulasi arus yang terjadi di antara dua *groin* sebagai kombinasi antara arus sejajar pantai dan arus balik (*return flow*) menggerakkan bola dengan trayektori seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Berdasarkan hasil pengamatan selama selama 2 hari, dari 25 buah bola yang dilepas, hanya 5 buah bola yang berhasil dilacak. Pada area ini bola bergerak dengan arah hampir tegak lurus garis pantai baru, menuju ke arah timur laut.

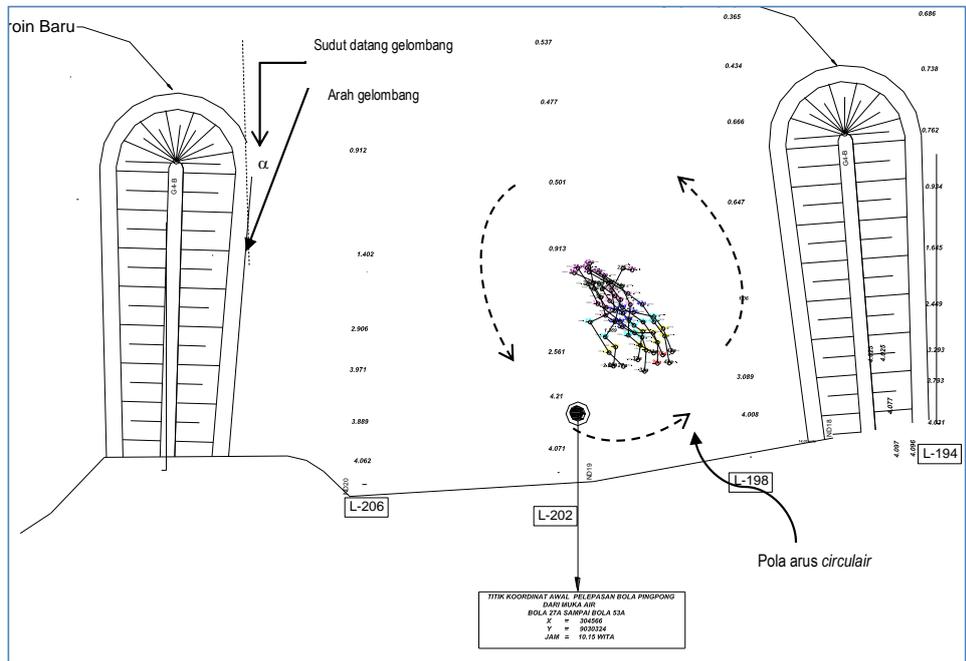
Kecepatan pergerakan bola dihitung dari perbandingan jarak dan waktu yang ditempuh. Tabel 3 memperlihatkan kecepatan pergerakan bola yang dilepas di area antara *groin* GA2 dan *groin* A. Kecepatan rata-rata pergerakan bola di area ini mencapai 0,0005 m/s. atau sekitar 1,8 m/jam.



Gambar 8 Pergerakan bola di antara *groin* GA.2 dan *groin* A (sekitar Hotel Grand Mirage)

Tabel 3 Kecepatan gerak bola pada segmen 1 (antara *groin* GA2 – *groin* A)

Nomor bola	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kecepatan (m/s)
54	6,29	3,16	0,000535
60	7,24	3,58	0,000507
67	5,98	4,00	0,000554
71	4,93	3,56	0,000348
79	7,74	3,57	0,000544
<b>Rata-rata</b>			0,000498



Gambar 9 Pergerakan bola pada area antara groin A dan groin B

Tabel 4 Kecepatan gerak bola pada segmen 2 (antara groin A – groin B)

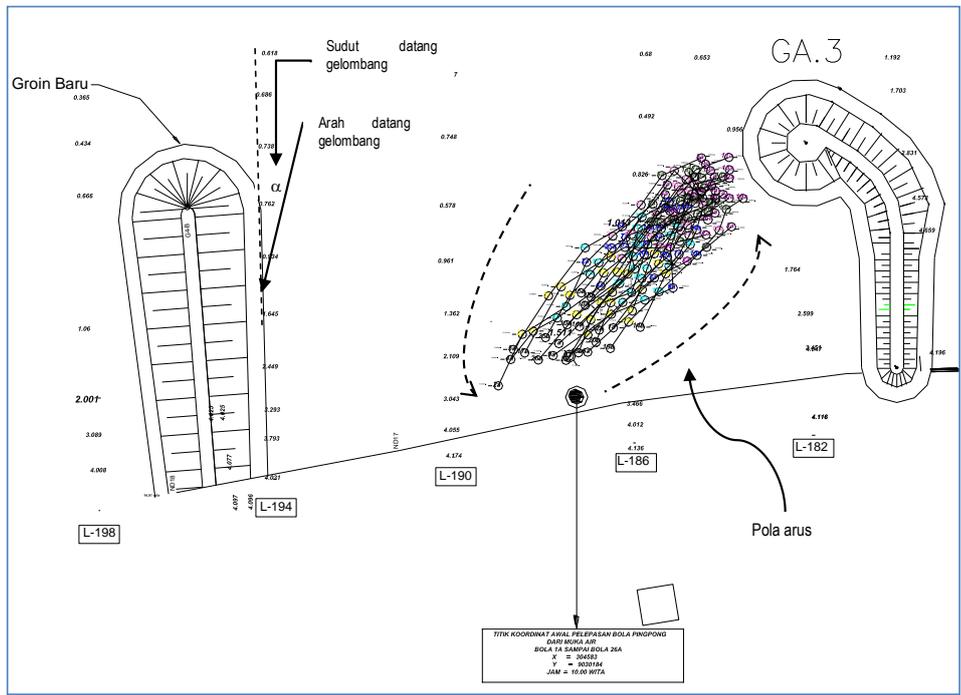
Nomor bola	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kecepatan (m/s)
27	7,17	4,00	0,000498
28	5,62	3,57	0,000395
30	5,67	3,59	0,000395
32	6,41	4,06	0,000434
33	6,35	4,03	0,000435
35	6,61	4,04	0,000452
36	8,10	4,08	0,000544
42	8,21	4,06	0,000556
43	7,32	4,04	0,000500
<b>Rata-rata</b>			<b>0,000468</b>

Pada area antara groin A dan B, arah gelombang membentuk sudut  $12^\circ$  terhadap groin. Seperti pada segmen antara groin GA2 dan groin A, sirkulasi arus yang terjadi mengakibatkan pergerakan bola menuju ke arah Timur Laut, terlihat pada Gambar 9. Kecepatan rata-rata pergerakan bola mencapai  $0,0005 \text{ m/s}$  atau sekitar  $1,8 \text{ m/jam}$  (lihat Tabel 4). Pada segmen 2 ini, dari 25 buah bola yang dilepaskan, 9 buah bola berhasil dilacak kembali setelah 2 hari pengamatan. Seperti yang terjadi pada segmen 1, aliran arus menuju ke laut cukup kuat untuk membawa bola pingpong ke laut lepas.

Pada segmen 3, yaitu area groin depan groin Villa Bintang, gelombang datang membentuk sudut

$16^\circ$  terhadap groin. Pergerakan bola pingpong pada segmen ini tidak sama dengan kedua segmen lainnya (lihat Gambar 10). Pada segmen ini, bola terlihat bergerak ke arah Tenggara, menuju groin GA3 kecepatan rata-rata mencapai  $0,0011 \text{ m/dtk}$  (lihat Tabel 5). Berbeda dengan segmen 1 dan 2, kekuatan arus sejajar pantai dan arus tegak lurus pantai cukup seimbang sehingga resultannya membentuk sudut hampir  $45^\circ$  terhadap garis pantai. Selain itu, area pada segmen 3 juga merupakan tempat wisata *water boat* sehingga banyak aktivitas yang terjadi mengakibatkan terjadinya perbedaan pola arus pada segmen-3 ini dengan kedua segmen lainnya.

Formatted: Font: Cambria



Gambar 9 Pergerakan bola di antara groin B dan GA3 (sekitar Hotel Villa Bintang)

Tabel 5 Kecepatan gerak bola pada segmen 2 (antara groin A – groin B)

Nomor bola	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kecepatan (m/s)
1	12.27	3.57	0.000863
2	15.42	1.67	0.002024
3	12.07	1.57	0.001712
4	9.190	1.52	0.001307
5	18.37	4.03	0.001260
6	15.17	4.04	0.000262
7	15.72	3.57	0.001106
8	13.34	3.54	0.000950
9	15.80	3.54	0.001125
<b>Rata-rata</b>			0,001186

Profil pantai setimbang pada umumnya diperlihatkan oleh bentuk garis pantai berupa parabolik, yang menunjukkan kesetimbangan antara gaya-gaya pembentuk garis pantai (*constructive forces*) dan gaya pengubah garis pantai (*destructive forces*). Di antara *constructive forces* adalah tegangan geser (*shear stress*) ke arah pantai di dasar, dan *streaming velocities*, yaitu kecepatan rata-rata yang disebabkan oleh disipasi energi di lapisan batas dasar sehingga menghasilkan transfer momentum lokal. *Destructive forces* yang terpenting adalah gaya gravitasi, dan tingkat turbulensi yang tinggi. Berdasarkan profil pantai pada segmen 3, terlihat

bahwa bentuk garis pantai tidak menyerupai bentuk parabolik yang menunjukkan profil setimbang garis pantai. Dapat dinyatakan bahwa pada segmen ini gaya-gaya yang membentuk garis pantai belum mencapai kesetimbangan, kemungkinan *destructive forces* yang bekerja lebih besar daripada *constructive forces*. Hal ini sesuai dengan kenyataan di lapangan bahwa segmen 3 ini merupakan area wisata *water boat* yang mengakibatkan terjadinya tingkat turbulensi yang tinggi sehingga garis pantai sulit mencapai kesetimbangan.

## 5) Pembahasan

Pada penelitian ini, bola pingpong diasumsikan berbentuk menyerupai sedimen, meskipun pada kenyataannya bola pingpong lebih halus. Asumsi ini digunakan karena tujuan penelitian hanya untuk mengetahui arah pergerakan sedimen secara kualitatif, yaitu kecenderungan arah pergerakan tanpa memperhitungkan jumlah sedimen yang diangkut.

Lokasi awal pelacakan diperkirakan pada daerah *surf zone*. Pada area ini, kombinasi antara gelombang pecah dan arus yang dibangkitkan gelombang menyebabkan pergerakan sedimen. Selain itu, masih ada faktor lain yang menyebabkan pergerakan sedimen, yaitu : arus, berupa arus balik (*return flow*); pengaruh perubahan muka air laut akibat pasang surut, *wind set-up*, dan *wave set-up*; pengaruh gelombang berdiri dan gelombang panjang; serta pengaruh kemiringan dasar pantai. Berdasarkan hasil pengukuran terhadap garis pantai, diketahui bahwa garis pantai yang terbentuk di antara dua *groin* menyerupai parabolik. Dengan demikian, diperkirakan terjadi sirkulasi arus tunggal di antara kedua *groin* tersebut yang mempengaruhi pergerakan sedimen.

Angkutan sedimen sejajar pantai sebagian besar disebabkan oleh arus sejajar pantai yang dibangkitkan oleh gelombang. Sedangkan angkutan melintang pantai disebabkan oleh gerak air akibat gelombang dan *undertow*, sirkulasi arus ke arah laut sebagai akibat gelombang pecah. Berdasarkan distribusi arus secara vertikal, maka kecepatan arus di permukaan akan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan arus di dekat dasar. Banyaknya bola pingpong yang tidak terlacak menunjukkan kemungkinan hilangnya bola pingpong yang disebabkan oleh beberapa hal, antara lain terbawa arus pada saat bola baru saja dilepas, dimana kecepatan arus di permukaan cukup besar dan mampu untuk menghanyutkan bola pingpong. Kemungkinan lain sebagai penyebab hilangnya bola pingpong adalah diambil oleh wisatawan yang kebetulan berada di sekitar lokasi penelitian.

Bentuk garis pantai baru yang menyerupai parabolik, menunjukkan bahwa pada area di antara dua *groin*, benar terjadi sirkulasi sel tunggal, seperti dinyatakan oleh Yuwono (1992). Jika jarak antar *groin* dekat, maka sirkulasi yang terbentuk tidak terlalu besar, maka sedimen yang bergerak bersama sirkulasi tersebut akan terlindung dan tetap berada di dalam sirkulasi, di antara dua *groin*. Demikian pula jika *groin* yang membatasinya cukup panjang, maka diperlirakan sedimen akan cukup terlindung. Namun demikian, jika *groin* yang membatasi kurang panjang, maka sirkulasi arus di dekat ujung *groin* akan dipengaruhi oleh

gelombang dan arus lain yang mengakibatkan hanyutnya sedimen ke arah laut.

Dari hasil pengukuran di lapangan, kecepatan pergerakan bola pingpong sangat kecil, yaitu pada kisaran 0,0005 – 0,0011 m/s atau 1,8 – 4 m/jam. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa kecepatan arus di dekat dasar sangat kecil, bahkan mendekati nol. Meskipun kecepatan pergerakan sedimen sangat kecil, namun resultan yang dihasilkan mampu menunjukkan arah pergerakan sedimen pada ketiga segmen tersebut. Kecilnya kecepatan pergerakan sedimen mungkin disebabkan oleh kondisi dasar perairan yang tidak rata, berupa *ripple* pasir sehingga memperbesar gesekan dasar dan menahan pergerakan sedimen.

Berdasarkan hasil identifikasi pergerakan sedimen, dapat diketahui tren arah pergerakan sedimen, yaitu menuju ke arah laut, walaupun arahnya tidak tepat tegak lurus pantai. Setelah mengetahui tren arah pergerakan sedimen, dapat dilakukan upaya pengamanan sehingga sedimen yang telah diisikan ke pantai tidak hilang dan hanyut ke laut. Dari hasil pengamatan di lapangan, struktur pengaman pantai yang ada di lokasi penelitian adalah *groin* yang berfungsi untuk menahan angkutan sedimen dalam arah sejajar pantai. Dengan demikian, struktur tersebut kurang bermanfaat untuk menahan angkutan sedimen ke arah laut (*offshore-onshore*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil identifikasi, dapat disimpulkan bahwa pergerakan sedimen di perairan pantai, dalam hal ini bola pingpong, dipengaruhi oleh kondisi hidro-oseanografi, terutama gelombang dan arus. Pergerakan sedimen di antara dua *groin* terjadi karena adanya sirkulasi arus yang membentuk lingkaran (*circulair*). Sirkulasi tersebut dipengaruhi oleh jarak antar *groin* dan panjang *groin*. Makin dekat jarak antar *groin* dan makin panjang *groin*, maka sedimen akan cukup terlindung. Namun demikian, perlu dicari jarak dan panjang *groin* yang tepat sehingga perencanaan dapat dilaksanakan secara ekonomis. Pada area dengan pola arus berbentuk lingkaran, akan terbentuk profil garis pantai setimbang yang ditunjukkan oleh bentuk garis pantai parabolik. Tetapi, pada area lain (segmen 3) belum terbentuk profil garis pantai setimbang karena tingginya tingkat turbulensi di area tersebut sehingga garis pantai sulit mencapai kesetimbangan.

Meskipun kecepatan pergerakan sedimen di dasar sangat kecil, namun resultan yang dihasilkan mampu menunjukkan tren arah pergerakan sedimen, yaitu menuju ke arah laut. Dengan

demikian diperlukan adanya struktur pengaman pantai yang berfungsi untuk menahan pergerakan sedimen ke arah laut.

Penelitian mengenai identifikasi pergerakan sedimen yang telah dilakukan ini merupakan penelitian awal, yang bertujuan untuk mengetahui trend arah pergerakan sedimen. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat, diperlukan metode lain, misalnya penelusuran butir sedimen dengan radio aktif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Davidson-Arnott, R. 2010. *An Introduction to Coastal Process and Geomorphology*, Cambridge University Press, Cambridge, p 116-135.
- Dean, R.G. 2002. *Beach Nourishment, Theory and Practice*. Advanced Series on Ocean Engineering-Volume 18. World Scientific.
- Dean, R.G. and R.A. Dalrymple. 2004. *Coastal Processes with Engineering Application*, Cambridge University Press, p 218-232.
- Horikawa, K. (ed). 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes, Theory, Measurement, and Predictive Model*. University of Tokyo Press. p 167-193
- Puslitbang Sumber Daya Air. 2007. *Monitoring Garis Pantai dan Bangunan Pengaman Pantai Pasca Pengisian Pasir di Pantai Sanur, Nusa Dua dan Tanah Lot*, Desember 2007, Laporan Penelitian.
- Sulaiman, Dede M. 2008. *Stabilitas Ruas Pantai dan Kinerja Groin Pantai Nusa Dua, Bali*, Proceeding Kolokium Hasil Litbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Syamsudin, Kardana, Dede M. Sulaiman, and Teti Kurniati. 1998. *Application of Parabolic Beach Form to Stabilize Nusa Dua Beach, Bali.*, Proc. 11<sup>th</sup> Congress of The IAHR-APD, Yogyakarta, Indonesia.
- Yuwono, Nur. 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta, p. V-6.