

SIMULASI NUMERIS PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN MODUL *CMS-FLOW* DI PANTAI NUSA DUA, BALI

Ima Nurhayati¹, Very Dermawan², Sebrian Mirdeklis Beselly Putra²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145 Indonesia

Email: imanurhayati27@gmail.com

Abstrak Wilayah pantai di Indonesia sangat intensif digunakan untuk kegiatan manusia. Sebagai dampak dari kegiatan tersebut maka timbul masalah-masalah baru seperti erosi pantai. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut pada pantai Nusa Dua, Bali dibangun satu segmen bangunan pengaman pantai (Groyne) agar kondisi profil pantai menjadi seimbang. Untuk memahami kondisi tersebut dilakukan studi dengan menggunakan model numeris 2D *Coastal Modelling System-Flow* (CMS Flow) dalam *interface SMS (Surface water Modelling System) v 11.0*. CMS-Flow digunakan untuk menghitung arus dan tingkatan air yang dikombinasikan gelombang saat bawah gesekan angin, gelombang, pasang surut, kekuatan coriolis, dan pengaruh struktur pantai. Variabel utama U , v -kecepatan, dan ketinggian air disimpan di poin grid yang sama dengan interpolasi momentum. Formula transpor sedimen *unified*, van Rijn, dan formula transpor *non-equilibrium (NET)*. Pemodelan dilakukan dalam jangka menengah dengan waktu simulasi tiga bulan menggunakan 3 kondisi. Besaran nilai erosi dan sedimentasi terbesar merupakan fokus dari studi. Hasil pemodelan CMS-Flow menunjukkan kondisi krusial pantai terjadi pada segmen groyne UG.1-GN.2 dan GN.2-G.12, hal ini disebabkan bentuk segmen groyne yang kurang sesuai dengan pola arus yang ada. Evaluasi struktur groyne di masa depan diharapkan dapat dilakukan dengan memperhatikan pola arus dan gelombang dominan datang untuk memperhitungkan jarak antar struktur, sehingga dapat mencegah terjadinya turbulensi dan gerusan.

Kata Kunci: Perubahan Morfologi, Analisis hidrodinamik, Groyne, USACE CMS-Flow

Abstract The coastal areas of Indonesia are very intensive for human activities. As a result of these activities there are new problems such as coastal erosion. To solve the problem on the beach of Nusa Dua, Bali built a segment of coastal protection building (Groyne) so that the condition of beach profile to be balanced. To understand the condition, a study using numerical modeling 2D *Coastal Modeling System-Flow (CMS Flow)* in *SMS interface (Surface water Modeling System) v 11.0* is used. CMS-Flow is used to calculate the current and water levels of the combined waves when under wind, wave, tidal friction, coriolis strength, and the influence of coastal structures. The main variables U , v -velocity, and water level are stored in the same grid points as the momentum interpolation. Unified sediment transport formula, van Rijn, and non-equilibrium transport formula (NET). Modeling is done in the medium term with three months simulation time using 3 conditions. The largest value of erosion and sedimentation is the focus of the study. The CMS-Flow modeling results show that coastal crucial conditions occur in the groyne segments UG.1-GN.2 and GN.2-G.12, this is due to the shape of the groyne segment that is less suited to the current pattern. Evaluation of the groyne structure in the future is expected to be done by observing the pattern of current and the dominant wave coming to take into account the distance between structures, so as to prevent turbulence and scour.

Keywords: Morphological Change, Hydrodynamic Analysis, Groyne, USACE CMS-Flow

PENDAHULUAN

Pulau Bali merupakan bagian dari kepulauan Sunda Kecil dengan panjang 153 km dan lebar 112 km berjarak 3,2 km dari pulau Jawa. Keindahan pantai yang dimiliki

pulau Bali seperti Nusa Dua, Kuta, Sanur, Candidasa menjadikan sektor pariwisata sebagai salah satu pilar ekonomi lokal. Oleh sebab itu industri pariwisata Bali dapat digunakan sebagai indikator kesejahteraan

masyarakat di pulau dewata ini, semakin tinggi pendapatan maka taraf hidup masyarakat juga semakin baik.

Pantai Nusa Dua merupakan salah satu kawasan wisata elit Bali berskala internasional. Pantai seluas 350 hektar ini mengalami peristiwa erosi yang terus menggerus wilayah pesisir pantai, hingga pada tahun 2002-2004 melalui *Bali Beach Conservation Project* dilakukan pemasangan groin dan pengisian pasir untuk menangani permasalahan erosi tersebut. Akan tetapi berdasarkan pengamatan lokasi dan hasil monitoring yang dilakukan dinas dan instansi terkait mengenai garis pantai Nusa Dua terjadi perubahan yang sangat signifikan setiap tahunnya. Untuk memahami respon struktur groin yang telah dibangun dan perubahan morfologi dasar laut maka perlu dilakukan analisis dengan menggunakan model numeris.

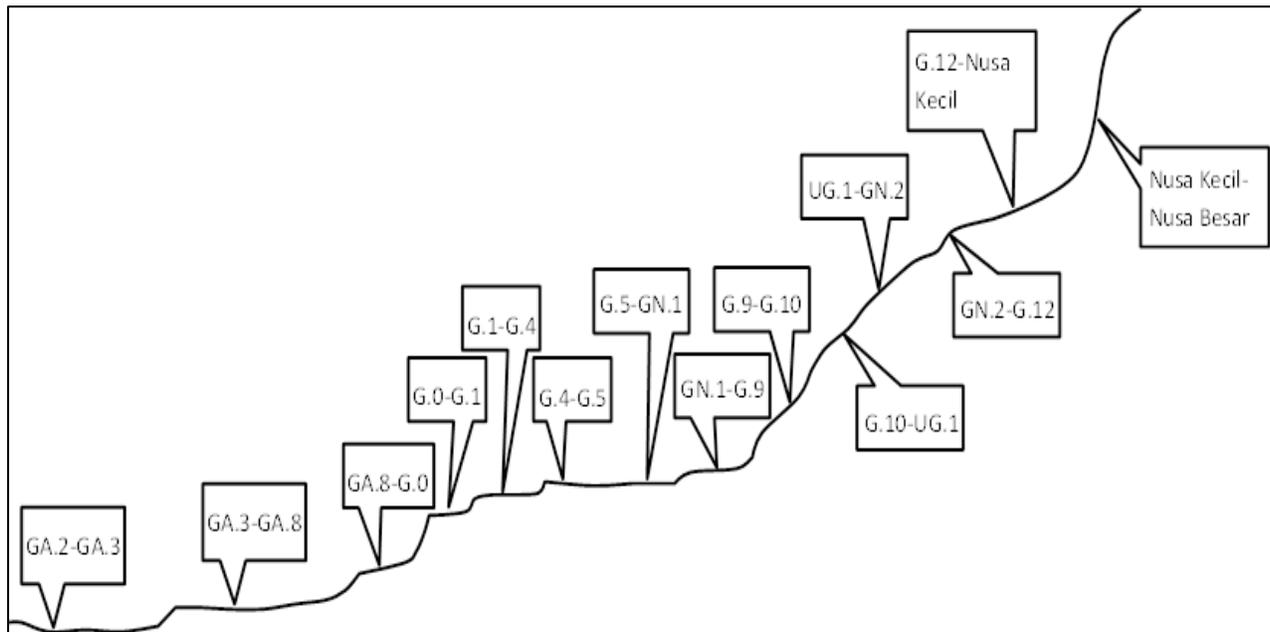
Modul CMS-FLOW dalam *interface SMS (Surface water Modelling System) v.11.1* adalah sebuah sistem pemodelan numeris yang terintegrasi untuk mensimulasikan gelombang laut dangkal, arus, transpor sedimen, muka air laut, dan perubahan morfologi. CMS secara interaktif menghitung transformasi gelombang, dan arus yang diakibatkan gelombang (*wave-*

induced currents), muka air laut akibat angin, gelombang, pasang surut, interaksi gelombang- arus, transpor sedimen, dan perubahan morfologi.

METODE

Studi ini merupakan simulasi dari bangunan pantai Nusa Dua, Bali untuk meramalkan pola garis pantai yang terjadi pada beberapa tahun kedepan. Lokasi studi berada pada kecamatan Kuta Selatan kawasan Pantai Nusa Dua sebelah tenggara pulau Bali, Indonesia. Kecamatan Kuta adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Badung, Bali, Indonesia yang memiliki luas 17, 52 km² berjarak 40 km dari kota Denpasar ibukota provinsi Bali. Pantai Nusa Dua secara geografis terletak di 08°43'21,8" lintang selatan dan 115°10'10,8" bujur timur.

Kawasan pantai Nusa Dua merupakan kawasan yang rawan terhadap terjadinya erosi Untuk menghindari terjadinya perubahan pola garis pantai yang signifikan, maka pada pantai sepanjang 3,368 km ini dibuat satu segmen groin. Segmen groin tersebut dimulai dari Nusa Kecil (G12) hingga Teluk Benoa (GA2). Berikut adalah gambar layout adaptasi penanganan pantai Nusa Dua, Bali.



Gambar 1. Layout adaptasi penanganan pantai Nusa Dua, Bali
Sumber: Hasil Monitoring *Bali Beach Coservation Project*, 2015

Langkah pengerjaan studi:

1. Menganalisis panjang *fetch* berdasarkan peta lokasi studi
2. Mengolah data angin
3. Menggambar mawar angin (*wind rose*)
4. Menghitung tinggi gelombang rencana
5. Mengkalibrasi model dengan jangka waktu simulasi 1 bulan dengan parameter arus.
6. Menentukan parameter pemodelan
7. Analisis *residual current* dan pola pergerakan sedimen
8. Mensimulasi pola perubahan garis pantai Nusa Dua, Bali.

Pemodelan CMS-Flow

Coastal Modelling System (CMS) merupakan sistem pemodelan numerik yang terintegrasi untuk simulasi gelombang dekat pantai, arus, tingkat air, transportasi sedimen, dan perubahan morfologi. Dalam pemodelan *CMS-FLOW* Grid bathimetri yang baik adalah penting, hal ini karena propagasi gelombang dipengaruhi oleh kedalaman bathimetri. Dalam pemodelan dipilih grid numeris dengan tipe *telescoping*. Grid *telescoping* dipilih untuk mengoptimalkan sumber daya komputasi. *CMS* menggunakan multi-level mesh dengan bentuk segiempat *quadtree* dengan penghalusan lokal. Pada model ini, level kehalusan grid dibuat secara berangsur dimana grid terkecil terletak pada dekat struktur.

Analisis Arus

Residual current merupakan aliran konstan yang bekerja pada perairan pantai. Kondisi ini diduga disebabkan oleh angin, gradien tekanan atmosfer, debit sungai, *density current*, arus dari laut terbuka, dll. Bukan hanya valid di muara *residual current* juga berlaku sama dalam lautan. Dalam pandangan proses fisik beberapa material yang terinjeksi ke dalam lautan akan dipengaruhi oleh arus. Arus memiliki peran penting dalam proses transpor sedimen dan pergerakan air di area pantai (Beselly, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perubahan morfologi pantai Nusa Dua dengan *CMS-Flow* dibagi menjadi dua domain (wilayah pemodelan). Pada tahap awal

simulasi dilakukan pada domain yang besar yaitu dari Nusa Kecil hingga tanjung benoa dengan waktu simulasi selama 1 bulan dan 3 bulan. Simulasi ini dinamakan simulasi domain awal.

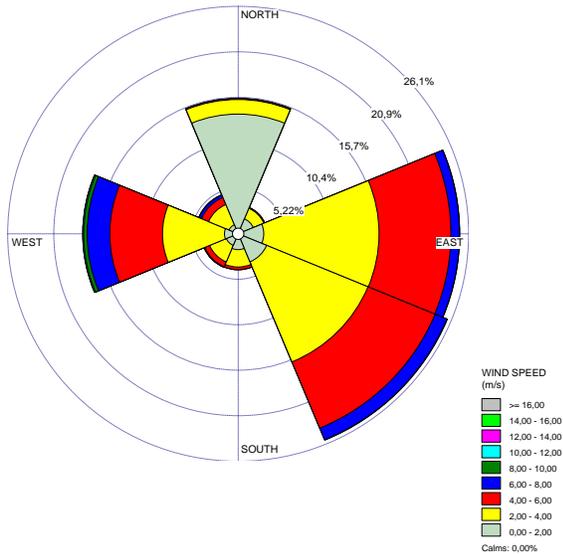
Analisis selanjutnya dilakukan pada domain simulasi dimana batas kondisi hanya pada lokasi studi yang paling krusial. Pada domain ini simulasi dilakukan dalam jangka waktu 3 bulan menggunakan setting parameter yang sama dengan memperhatikan 3 kondisi yaitu, kondisi tanpa angin, kondisi dengan angin musim hujan, dan kondisi dengan angin musim kemarau. Tujuan pendistribusian ketiga kondisi tersebut adalah untuk mengetahui pola sirkulasi dan perubahan morfologi. Pola sirkulasi dijelaskan dengan menganalisis arus residual dari kondisi tersebut, dan menyelidiki pengaruh arus residual terhadap perubahan morfologi.

Distribusi Arah Angin

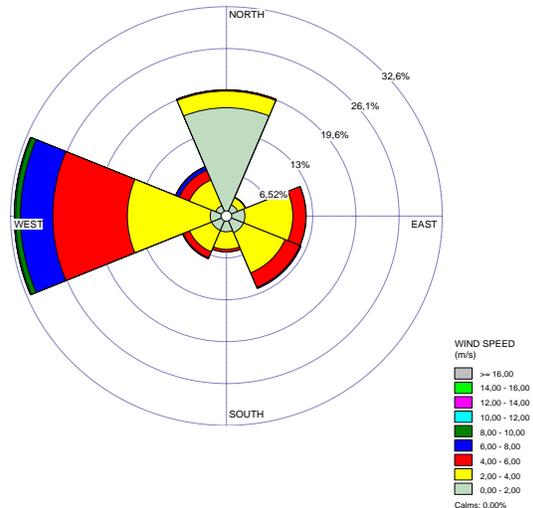
Arah angin yang paling dominan dan jumlah presentase kejadian angin selama 10 tahun dapat ditentukan dengan mempersentasikan kecepatan angin pada masing-masing arah. Data kecepatan angin rerata selama 10 tahun (2000 – 2009) yang diambil dari BMG Lapangan Udara Ngurah Rai, Bali diklasifikasikan dalam sembilan kelas dengan interval 2 m/detik. Kemudian distribusi kejadian tiap interval kelas dan arah mata angin dihitung untuk digambar sebagai mawar angin. Untuk membantu menentukan dan membuat grafik mawar angin di Pantai Nusa Dua digunakan program *WRPLOT View* versi 8.0.0. Pengklasifikasian kecepatan dan arah angin dibagi menjadi 3 yaitu: kecepatan dan arah angin rerata, kecepatan dan arah angin rerata musim hujan, dan kecepatan dan arah angin rerata musim kemarau.

Dari hasil persentase distribusi dapat diketahui bahwa angin rerata paling banyak terdistribusi dari arah tenggara dengan persentase kejadian 25,566%. Hal yang sama juga terjadi pada distribusi angin rerata musim kemarau, arah tenggara juga mengalami kejadian angin paling banyak yaitu sebesar 38,901%. Akan tetapi pada distribusi angin rerata musim hujan kejadian angin paling banyak terdapat pada arah barat yaitu sebesar

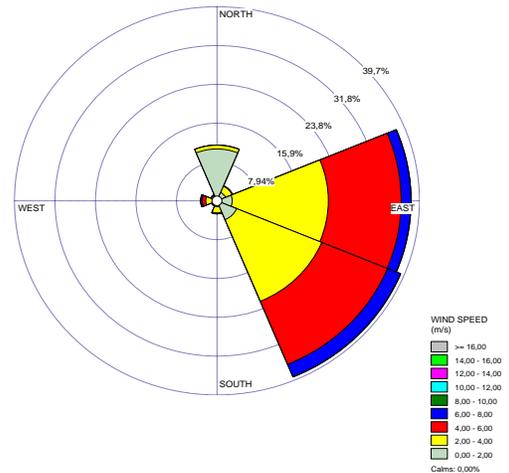
31,950%. Distribusi angin paling sedikit terjadi pada arah timur laut untuk angin rerata dan angin rerata musim hujan yaitu sebesar 3,246% dan 3,160%. Sedang pada angin rerata musim kemarau distribusi angin paling sedikit terjadi pada arah barat daya yaitu sebesar 1,180%.



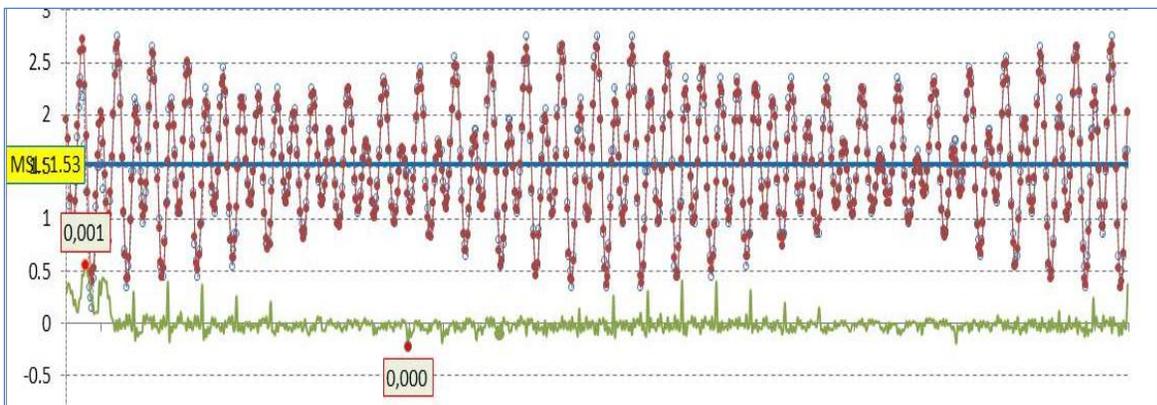
Gambar 2. Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Tahun 2000 – 2009



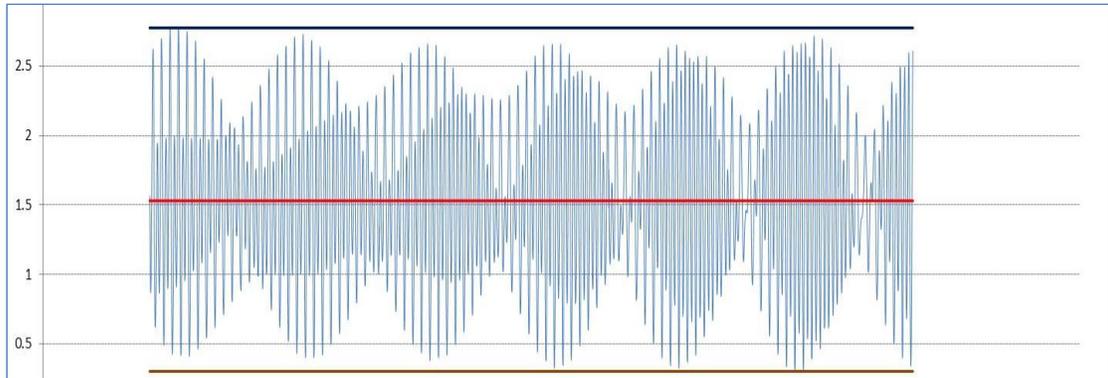
Gambar 3. Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Hujan (2000 – 2009)



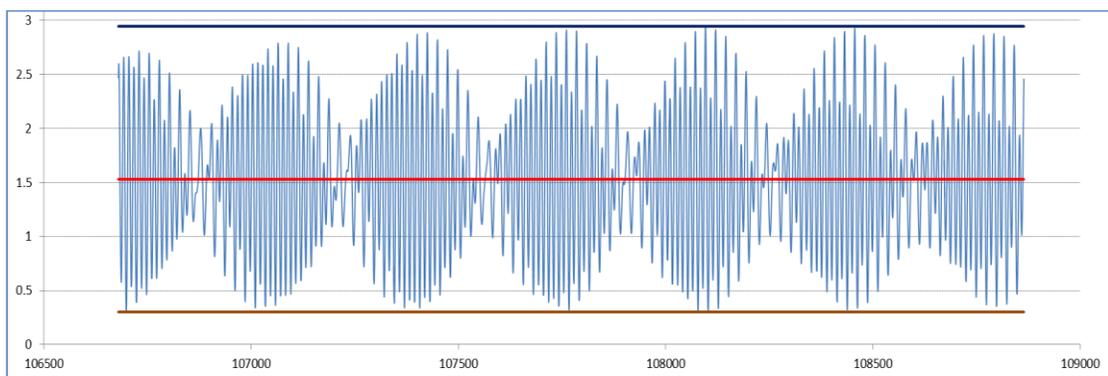
Gambar 4. Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Kemarau (2000 – 2009)



Gambar 5. Grafik perbandingan data pasang surut hasil pengamatan dengan hasil peramalan *least square method* pada waktu yang sama.



Gambar 6. Grafik data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada Musim Kemarau (Juli 2015 – September 2015)



Gambar 7. Grafik data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada Musim Hujan (Oktober 2015 – Januari 2016)

Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut merupakan data pengamatan muka air laut yang dilakukan di Pantai Nusa Dua, Bali selama satu tahun pada tahun 2003. Dikarenakan simulasi dilakukan untuk tahun 2015 maka data pasang surut hasil pengamatan harus diperpanjang terlebih dahulu dengan menggunakan metode *least square* (metode kuadrat terendah). Perhitungan metode *least square* dibantu dengan *software Microsoft Excel*, dengan mencari sembilan bilangan *constituents* pada tahap awal. Hasil peramalan kemudian dibandingkan dengan pengamatan di lapangan untuk melihat kesesuaiannya ditunjukkan pada Gambar 5.

Dari perbandingan di atas dapat dilihat bahwa data hasil peramalan dengan menggunakan metode *least square* relevan untuk digunakan mencari elevasi-elevasi penting pasang surut. Sehingga dapat digambarkan data pasang surut di pantai Nusa Dua, Bali pada musim kemarau (Juli 2015 - September 2015)

dan musim hujan (Oktober 2015 – Januari 2016) seperti pada Gambar 6. dan Gambar 7.

Analisis Kondisi Pantai

Analisis kondisi pantai dilakukan untuk menentukan lokasi pantai Nusa Dua yang paling membutuhkan penanganan. Dalam penelitian ini analisis kondisi pantai dilakukan dalam tiga hal, yaitu : analisa monitoring perubahan volume pasir, analisa menggunakan program statistika *IBM SPSS Statistics 24*, dan analisa menggunakan pedoman penilaian kerusakan pantai sesuai dengan peraturan dinas pekerjaan umum No. 08/SE/M/2010.

Ketiga hasil analisa diatas menunjukkan bahwa di Pantai Nusa Dua, Bali mengalami gerusan pada beberapa segmen groin. Kondisi pantai paling krusial terletak pada segmen groin UG.1 - G.12. Perbandingan hasil analisa ketiga metode untuk menyimpulkan kondisi pantai paling krusial dapat kita lihat pada Tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Perbandingan Analisa Kondisi Krusial Pantai dengan Metode Statistika Volume Pasir dan Kerusakan Pantai

No	Segmen	Perubahan Volume Pasir	Analisa Statistika	Analisa Kerusakan Pantai
1	GA.2	-30%	24.900	214.375
2	GA.2 - GN.5	-12%	27.750	164.063
3	GN.5 - GN.6		18.040	169.531
4	GN.6 - GA.3		10.000	218.750
5	GA.3 - GN.4	-4%	20.600	144.375
6	GN.4 - G.TB		18.920	180.469
7	G.TB - GA.8		23.130	212.500
8	GA.8 - G.0	-6%	60.060	155.114
9	G.0 - G.1	-5%	23.510	181.250
10	G.1 - G.4	-3%	8.990	166.250
11	G.4 - G.5	-6%	41.800	206.818
12	G.5 - GN.1	-4%	28.900	185.938
13	GN.1 - G.9	-5%	18.500	160.417
14	G.9 - G.10	-2%	35.020	168.750
15	G.10 - UG.1	-5%	22.300	153.125
16	UG.1 - GN.2	-2%	63.220	354.375
17	GN.2 - G.12	-14%	20.400	321.875
18	G.12 (Nusa Kecil)		14.750	198.333

Sumber: Perhitungan, 2018

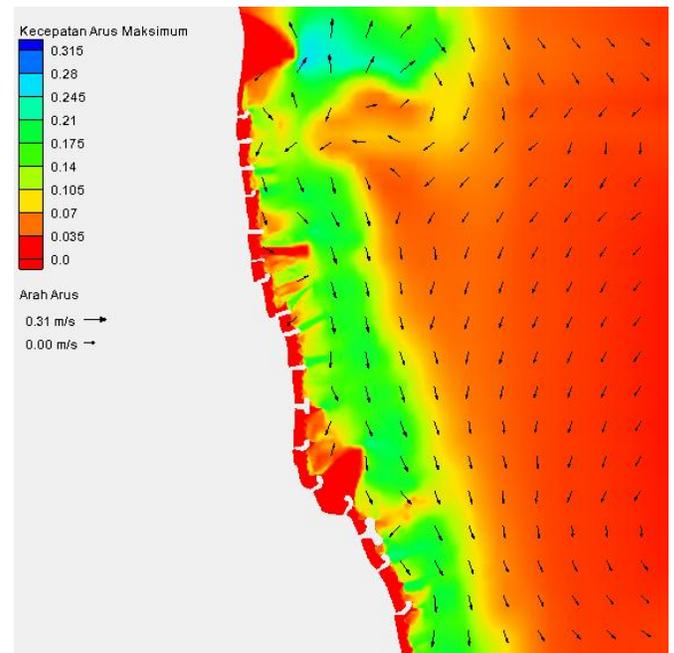
Pada Tabel 1. warna kuning menunjukkan kondisi pantai yang kurang baik. Hasil analisa volume pasir menunjukkan bahwa terdapat dua segmen yang mengalami pengurangan volume pasir paling besar, yaitu pada segmen GA.2 dan GN.2 – G.12. Akan tetapi pada segmen GA.2 telah dilakukan penanganan, sehingga dalam hal ini dengan melihat hasil dari beberapa analisa lainnya fokus studi dilakukan pada segmen groin UG.1 – G.12.

Aplikasi Model Kalibrasi Arus

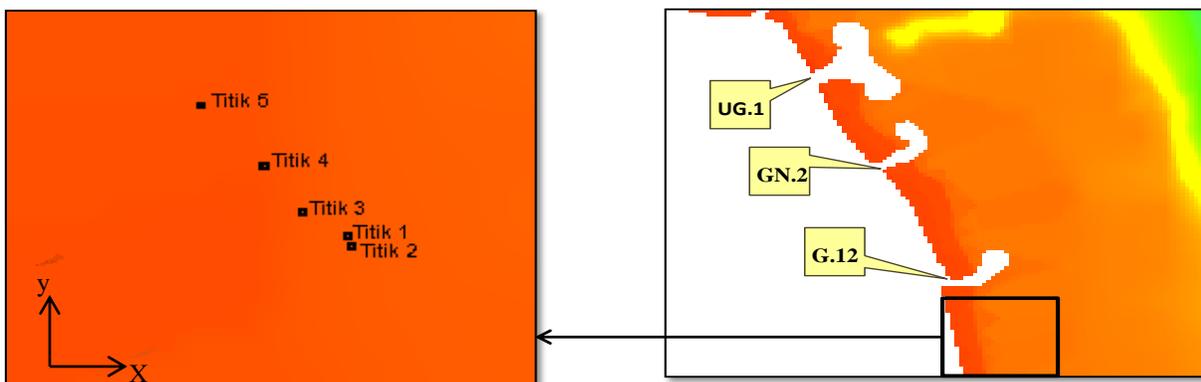
Setiap instrumen ukur tidak akan dianggap sesuai apabila belum dilakukan pengujian

terhadap instrumen ukur itu sendiri. Maka untuk mendapatkan hasil yang baik pada model ini dilakukan kalibrasi pada nilai besaran arus.

Lokasi pengamatan disesuaikan berdasarkan peninjauan yang dilakukan oleh *The Urgent Bali Beach Conservation Project*, yaitu terletak pada 5 titik berbeda. Untuk lebih jelasnya hasil simulasi dari CMS selama 1 bulan untuk menentukan besaran arus dapat dilihat pada Gambar 8 dan lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Hasil *Running CMS-Flow* selama 1 Bulan untuk Analisis Arus Maksimum



Gambar 9. Zona Lokasi Pengamatan Arus Laut Pantai Nusa Dua, Bali

Persentase kesalahan rata-rata untuk perhitungan kalibrasi arus pada kelima titik menunjukkan kesamaan yang baik dan dianggap layak karena nilai persentase kesalahan tidak melebihi 10 % ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan *Error* Validasi untuk Kecepatan Arus *CMS-Flow*

No	Koordinat (Meter)		Kecepatan Arus (m/s)		Kesalahan Relatif (%)
	Easting	Northing	Pemodelan	Hasil Observasi	
1	305719.456	9027524.302	0.010	0.011	9.091
2	305720.669	9027520.468	0.108	0.101	6.931
3	305701.388	9027536.274	0.097	0.091	6.593
4	305686.155	9027556.659	0.130	0.126	3.175
5	305662.789	9027581.684	0.151	0.167	9.581

Sumber: Perhitungan, 2018

Analisis Kondisi Arus

Hasil perhitungan kalibrasi arus pada pantai Nusa Dua menunjukkan kesalahan relatif yang cukup kecil, sehingga modul *CMS-Flow* dianggap layak untuk diaplikasikan pada pemodelan selanjutnya.

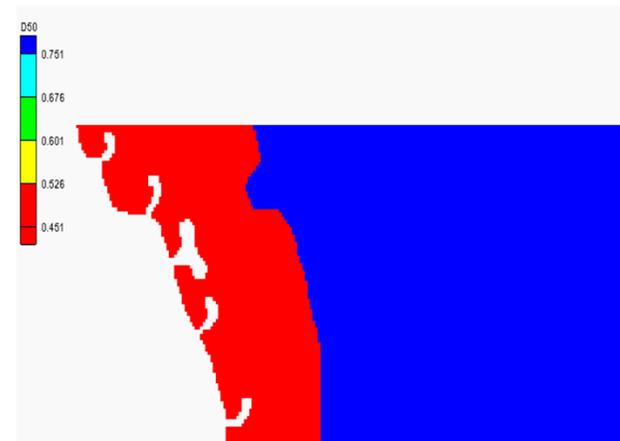
Pada tahap awal setting parameter dilakukan pada model *control* untuk *setting* analisis hidrodinamik, sedimen, dan angin. Untuk analisis sirkulasi *CMS-Flow* jangka menengah, *setting time step hydrodynamic* menggunakan 180 detik dengan *simulation duration* selama 744 jam dan *ramp duration* selama 24 jam. Koefisien kekasaran (*manning*) sebesar 0,025 tetap konstan di atas domain numerik, begitu juga dengan nilai D_{50} sebesar 0.451 mm. Kedalaman untuk skema pembasahan dan pengeringan adalah 0,05 m. Kemudian untuk pengaturan transportasi sedimen *CMS-Flow*, *setting time step* laju transportasi menggunakan 180 *seconds* dan perubahan morfologi ditetapkan setiap jamnya. Rumus kapasitas transportasi menggunakan Van Rijn dengan model Non-Equilibrium Transport (NET) berdasarkan model adveksi-difusi untuk menghitung tingkat transportasi sedimen dalam *CMS-Flow*. Selain parameter variabel spasial yang dikalibrasi dalam parameter hidrodinamika, parameter transportasi dan morfologi sedimen tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Dasar *CMS-Flow*

Parameter	Nilai
Manning's n	0.025
Advection	Included
Wall Friction	Included
Wetting and Drying	Included (minimum wet depth: 0.05 m)
D50 (mm)	0.451
Sedimen Density (kg/m ³)	2650
Sedimen Porosity	0.4
Transport Equation	Van Rijn
Bed Slope Coefficient	0.1
Total Load Adaptation Length Method	Constant
Adaptation Length	10

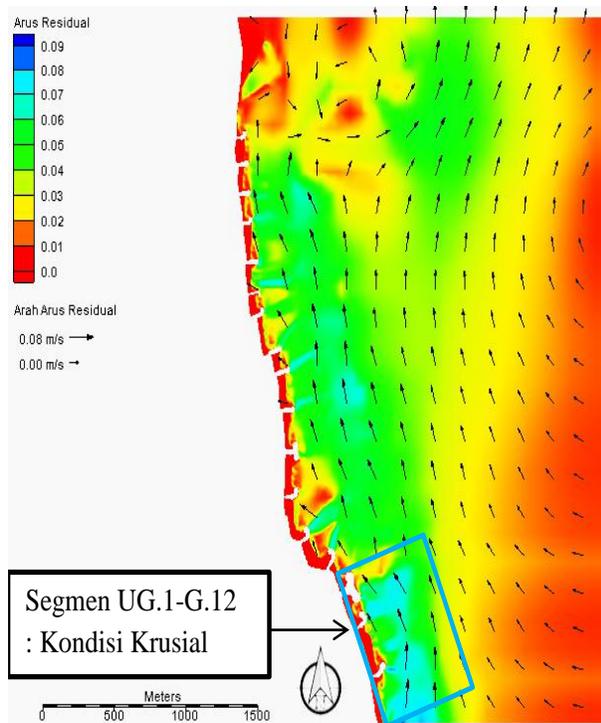
Sumber: Perhitungan, 2018

Pengaturan sedimen yang diuraikan di atas adalah usaha untuk mereproduksi perkiraan transportasi terukur untuk area studi dan perubahan morfologi, yang diukur dengan simulasi morfologi jangka panjang. Hasil dari pengaturan sedimen di atas dapat di visualisasikan dalam bentuk sebaran sedimen D_{50} seperti pada Gambar 10. berikut.



Gambar 10. Visualisasi Sebaran Sedimen D_{50}

Simulasi pertama menggunakan domain awal. Sehingga batas wilayah pemodelan yaitu, dari segmen groin GA.2 (Tanjung Benoa) hingga G.12 (Nusa Kecil). Simulasi ini pada umumnya bertujuan sebagai kalibrasi dan pengaturan awal. Akan tetapi, karena dalam penelitian ini simulasi dengan domain awal menggunakan jangka waktu menengah, maka hasil keluaran juga digunakan sebagai salah satu parameter penentuan domain simulasi. Hasil simulasi dengan domain awal telah disajikan pada Gambar 11. berikut.



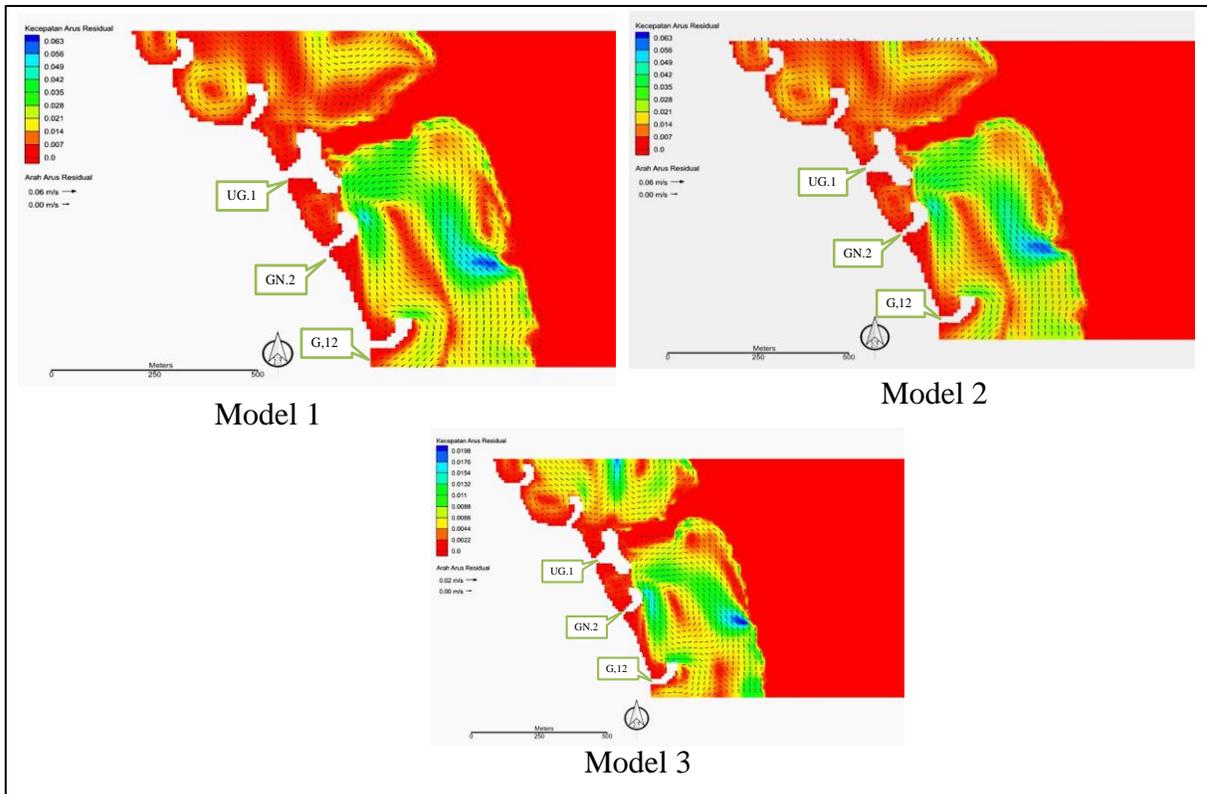
Gambar 11. Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Arus Residual dengan Arah Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Hasil dari analisis diatas dapat diketahui pada kondisi domain awal arus pada umumnya mengalir dari selatan ke utara. Di area fokus (UG.1 – G.12) yang ditunjukkan sebagai persegi berwarna biru, aliran arus dari arah selatan dan tenggara menuju ke utara kemudian berbelok menuju ke arah pantai. Pada kondisi ini arus maksimum yang terjadi adalah 0,315 m/s sedangkan arus residual maksimum adalah 0.09 m/s, dan untuk arus dominan terjadi pada segmen groin UG. 1 - G.12. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi telah sesuai jika dibandingkan dengan beberapa analisis sebelumnya, dimana kondisi segmen groin paling krusial yaitu pada segmen groin UG.1-G.12.

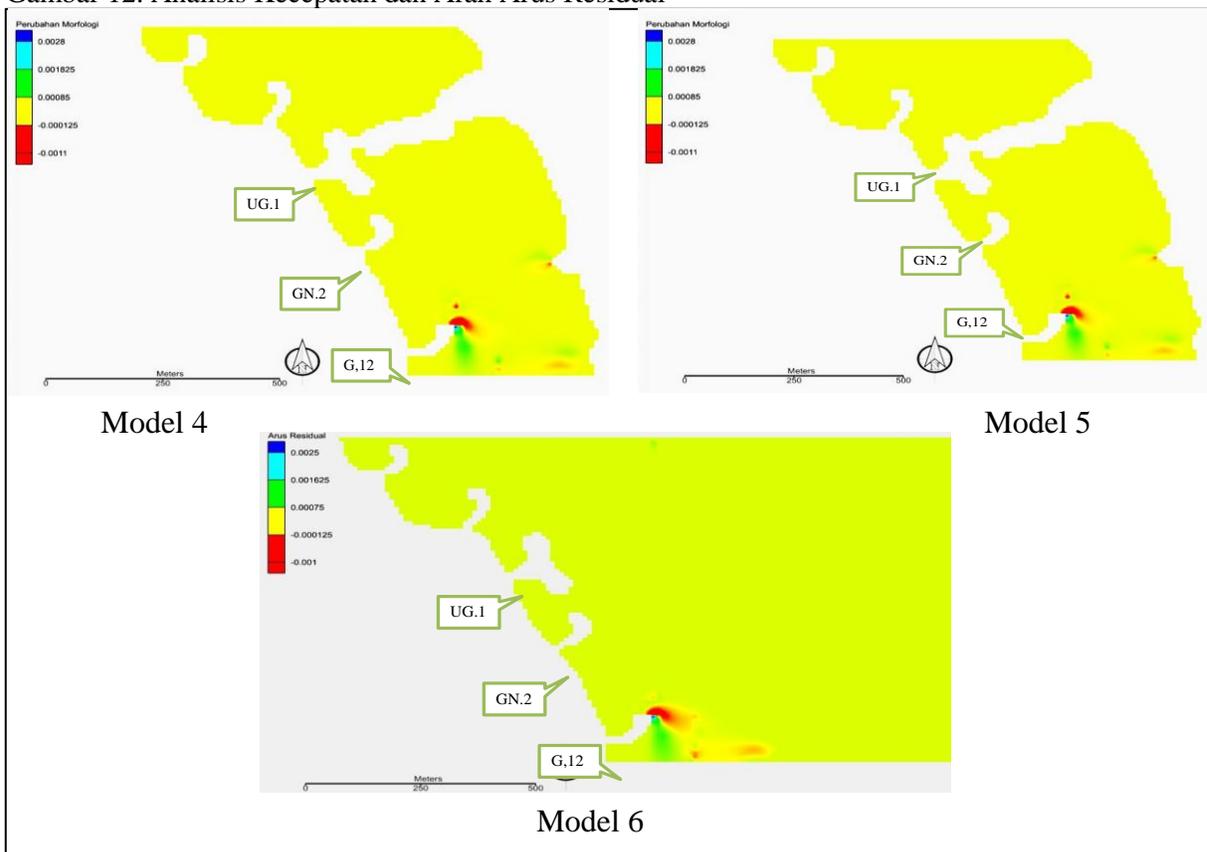
Analisis Pola Perubahan Morfologi

Pada analisis ini batas wilayah pemodelan menggunakan domain simulasi. Domain simulasi didapatkan dari beberapa analisis sebelumnya yang menunjukkan kondisi pantai paling krusial yaitu pada segmen groin UG.1-G.12. Dikarenakan batas wilayah pemodelan lebih spesifik maka *telescoping grid size* yang digunakan juga lebih kecil, hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil simulasi yang lebih detail. Sehingga permasalahan pada lokasi studi dapat terlihat dengan jelas. Untuk mengetahui pola sirkulasi dan perubahan morfologi, maka dapat dianalisis dari hasil simulasi dengan beberapa alternatif sebagai berikut:

- 1) Model 1; Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015).
- 2) Model 2; Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)
- 3) Model 3; Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Oktober 2015-15 Januari 2015)
- 4) Model 4; Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015).
- 5) Model 5; Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)
- 6) Model 6; Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Oktober 2015-15 Januari 2015)



Gambar 12. Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual

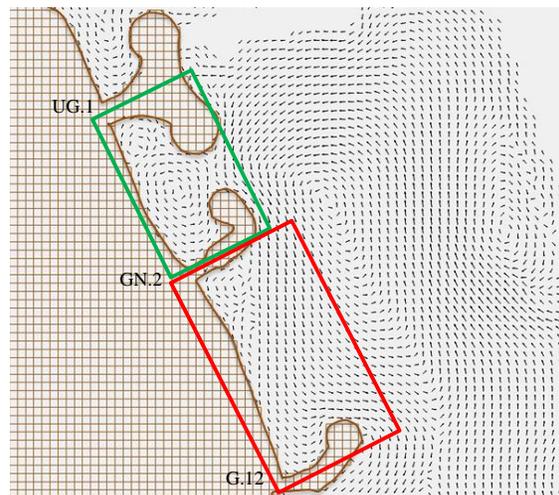


Gambar 13. Kondisi Perubahan Bathimetri setelah 3 Bulan Simulasi

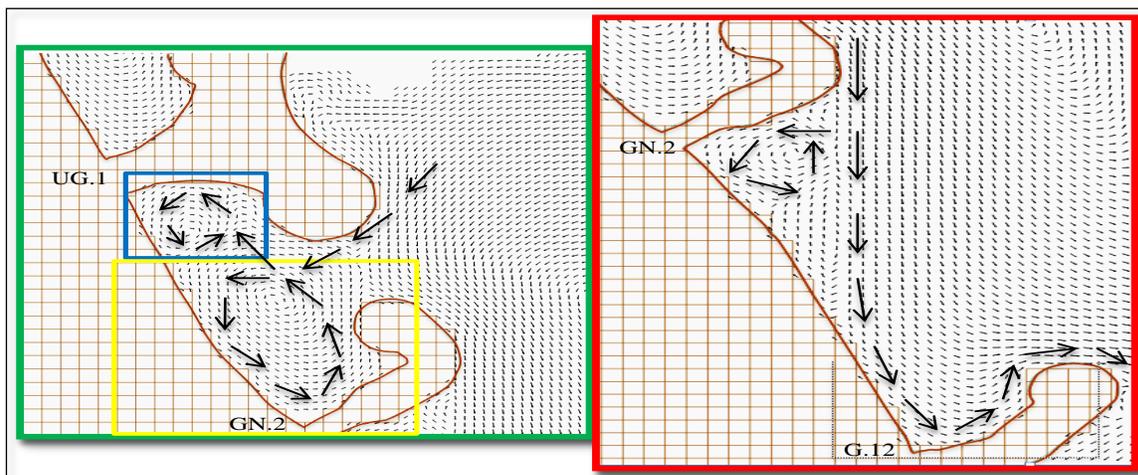
Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan yang terlihat pada masing-masing kondisi. Hasil simulasi kondisi tanpa angin arus residual maksimum adalah 0.063 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0028m dan minimum -0,0011m. Kemudian pada kondisi angin musim kemarau arus residual maksimum adalah 0,063 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0028m dan minimum -0,0011m. Dan terakhir pada kondisi angin musim hujan yang arus residual maksimum adalah 0,0198 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0025m dan minimum -0,01m.

Pada ketiga kondisi tersebut arus pada umumnya mengalir dengan pola yang sama yaitu, dari selatan menuju ke utara. Di area fokus studi UG.1-GN.2 yang ditunjukkan pada Gambar 14 dengan persegi berwarna hijau, aliran arus berputar berlawanan jarum jam dari utara ke selatan ke timur dan kembali ke utara. Terdapat dua aliran arus dengan pola yang sama pada segmen ini yang ditunjukkan pada Gambar 15. dengan menggunakan persegi berwarna biru dan kuning. Hal ini menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan transpor sedimen. Seperti yang dapat dilihat pada persegi berwarna kuning, arus berputar menuju persegi berwarna biru. Sehingga menyebabkan sedimen pada area persegi berwarna kuning terangkut menuju persegi berwarna biru, dan mengakibatkan terjadinya

sedimentasi pada area persegi berwarna biru. Pada area fokus studi kedua yaitu GN.2-G.12 yang ditunjukkan menggunakan persegi berwarna merah, aliran arus dari selatan menuju ke utara kemudian berputar menuju ke arah selatan lalu ke timur dan kembali lagi menuju arah selatan. Pada segmen ini wilayah pantai mengalami erosi. Hal ini dikarenakan arus dari arah utara yang masuk menuju segmen groin GN.2-G.12 bergerak keluar menuju selatan, sehingga menyebabkan sedimen yang berada pada wilayah tersebut terangkut keluar.



Gambar 14. Detail Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12

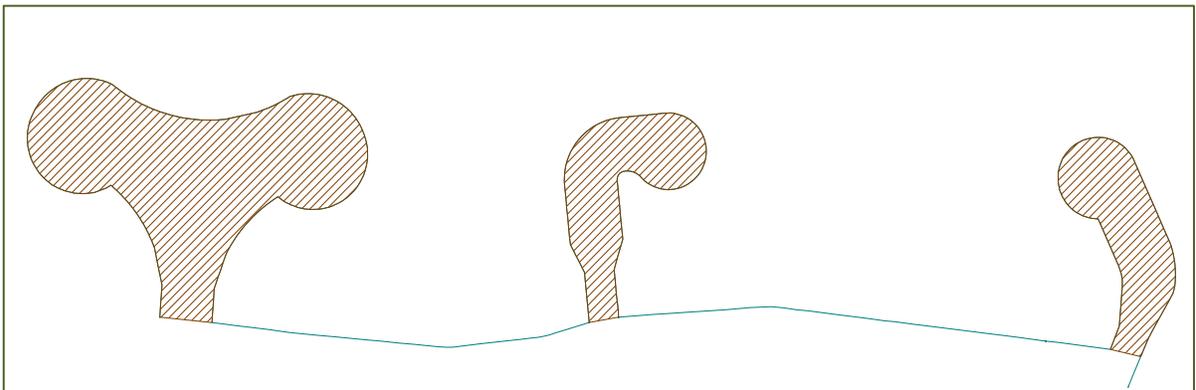


Gambar 15. Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 dan GN.2 – G.12

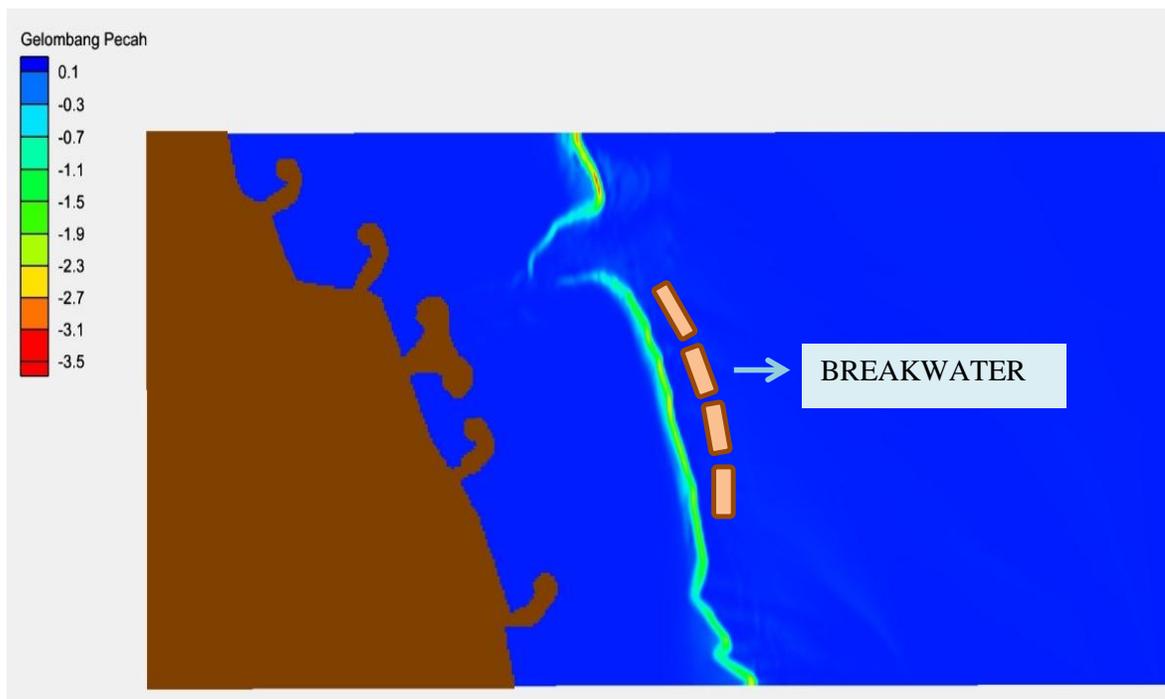
Evaluasi Struktur Groyne

Bangunan pantai yang terdapat pada pantai Nusa Dua, Bali adalah groyne. Fungsi pelindung pantai ini direncanakan untuk menahan atau menangkap angkutan pasir “*longshore transport*” atau untuk mengurangi angkutan pasir. Akan tetapi dari hasil simulasi diatas dapat diketahui bahwa fungsi groyne sebagai

penahan angkutan pasir tidak bekerja secara efektif. Sehingga perlu dilakukan evaluasi pada struktur groyne. Pada penelitian ini ditunjukkan beberapa alternatif desain bangunan pelindung pantai baik dengan perubahan struktur groyne ataupun dengan penambahan pemecah gelombang (*breakwater*).



Gambar 16. Alternatif 1



Gambar 17. Alternatif 2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil dari ketiga simulasi tersebut mengindikasikan bahwa pada segmen groyne

UG.1-G.12 profil pantai cenderung tergerus. Dapat diketahui pada segmen ini arus tidak dapat terarah dengan seimbang sehingga menyebabkan arus berputar pada beberapa

wilayah dan menyebabkan erosi pada satu bagian dan sedimentasi pada bagian yang lain. Kondisi ini juga didukung dengan adanya pergerakan gelombang dari arah tenggara yang menuju wilayah pantai. Adanya permasalahan ini disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah bentuk struktur groin pada segmen ini yang kurang sesuai dengan pola arus yang ada, dan pada akhirnya fungsi groin sebagai pelindung pantai terabaikan. Pada segmen UG.1-GN.2 jarak antar groin terlalu dekat dan bentuk struktur groin terlalu panjang. Begitu juga yang terjadi pada segmen groin GN.2-G.12, jarak antar groin yang terlalu panjang dan bentuk struktur groin yang terlalu pendek.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan hasil pemodelan untuk kondisi tanpa angin dan kondisi angin musim kemarau dengan data pasang surut yang sama tidak terjadi perbedaan. Kemudian untuk kondisi angin musim hujan dengan data pasang surut pada bulan hujan (Oktober – Januari) terdapat perbedaan untuk kondisi arus dan perubahan morfologi. Pada kondisi arus residual sebesar 0,04m/s, dan untuk perubahan morfologi terdapat perbedaan sekitar 0,0002m/s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasang surut adalah komponen utama yang mempengaruhi perubahan morfologi di Pantai Nusa Dua, Bali.

Hasil pemodelan *CMS-Flow* dalam *interface SMS* versi 11.0 sangat baik dan sesuai, ditandai dengan telah tercapainya target kesalahan relatif yang kurang dari 10%. Pola arus hasil pemodelan *CMS-Flow* juga memiliki kesesuaian dengan hasil monitoring profil pantai di lokasi studi. Sehingga program ini dianggap layak dan mampu untuk diaplikasikan dalam perencanaan bangunan pantai.

Saran

Keberadaan data asli yang diambil di lapangan akan sangat membantu dalam penentuan parameter pemodelan yang tepat di lokasi studi. Selain itu kajian yang lebih mendalam terhadap perubahan morfologi pantai dapat dilakukan untuk menyelesaikan

permasalahan perubahan garis pantai yang signifikan.

Survey diameter butiran perlu dilakukan untuk pantai yang ditinjau. Agar dapat digunakan persamaan angkutan sedimen yang memperhitungkan *properties* butiran. Evaluasi terhadap *series* groin juga perlu dilakukan dengan merubah bentuk struktur groin menjadi beberapa alternatif. Adanya beberapa alternatif struktur groin, diharapkan dapat menghasilkan pola perubahan morfologi pantai yang lebih seimbang.

Hasil pemodelan *CMS-Flow* dan *CMS-Wave* menunjukkan bahwa arus dan gelombang dominan datang dari arah tenggara menuju wilayah pantai menyebabkan terjadinya gerusan pada beberapa segmen groin. Sehingga diharapkan dengan adanya evaluasi pada *series* groin bisa menambah efektifitas penangkapan sedimen dan terbentuknya *harmonic structure*. Implikasi dari tindakan tersebut adalah sedimen pada tiap segmen groin diharapkan tidak terangkut lagi sehingga tidak perlu dilakukan pengisian pasir secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

- Beselly Putra, Sebrian Mirdeklis. 2017. Simulasi Numeris Perubahan Morfologi Dasar Laut Pada Desain Pelabuhan di Kabupaten Gresik, Indonesia. Jurnal Teknik Pengairan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2010. Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai. Jakarta Selatan : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Rawa dan Pantai.
- Silvester, Richard. 1974. *Coastal Engineering I Generation, Propagation and Influence of Wave*. Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company.
- Sorensen, Robert M. 2006. *Basic Coastal Engineering*. New York: Springer Science+ Business Media, Inc.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Teknik Pantai. Yogyakarta : Beta Offset.