



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG141536

# PEMODELAN POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK ANALISIS DAMPAK REKLAMASI TERHADAP PENDANGKALAN DI TELUK BENOA

IZHAD MIFTACHURROZAQ  
NRP 3513 100 073

Dosen Pembimbing  
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**TUGAS AKHIR - RG141536**

**PEMODELAN POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK ANALISIS  
DAMPAK REKLAMASI TERHADAP PENDANGKALAN DI  
TELUK BENOA**

**IZHAD MIFTACHURROZAQ**  
NRP 3513 100 073

Dosen Pembimbing  
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**FINAL ASSIGNMENT - RG 141536**

**MODELING OF SEDIMENT DISTRIBUTION TO ANALYSIS  
THE IMPACT OF RECLAMATION TO THE SHALLOWING  
OF BENOA BAY**

**IZHAD MIFTACHURROZAQ  
NRP 3513 100 073**

**Advisor  
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **PEMODELAN POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK ANALISIS DAMPAK REKLAMASI TERHADAP PENDANGKALAN DI TELUK BENOA**

Nama Mahasiswa : Izhad Miftachurrozaq  
NRP : 3513 100 073  
Departemen : Teknik Geomatika FTSP - ITS  
Dosen Pembimbing : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

## **Abstrak**

*Di tahun 2014, pemerintah merencanakan mega proyek Revitalisasi Teluk Benoa yang sampai saat ini masih menjadi konflik karena adanya pihak pro dan kontra. Proyek tersebut akan melakukan pembangunan pulau-pulau baru di perairan Teluk Benoa dengan melakukan reklamasi. Kegiatan reklamasi pada suatu perairan dapat berpotensi terjadinya proses sedimentasi, sebab pulau-pulau hasil reklamasi dapat menghambat aliran material sedimen sehingga mengakibatkan pengendapan. Proses sedimentasi dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika di perairan tersebut. Pergerakan aliran sedimen akan mengikuti dari pergerakan pola arusnya. Pemodelan hidrodinamika merupakan salah satu metode pendekatan untuk mengetahui kondisi hidrodinamik pada suatu perairan. Penelitian ini melakukan pemodelan arus serta sebaran sedimen di perairan Teluk Benoa pada saat pra reklamasi dan paska reklamasi untuk mengetahui dampak reklamasi terhadap pendangkalan di Teluk Benoa. Hasil pemodelan menunjukkan adanya peningkatan laju deposisi dan laju erosi sedimen. Besarnya nilai laju deposisi menunjukkan besarnya potensi terjadinya deposit sedimen (sedimentasi). Berdasarkan 10 titik sampel yang diambil menurut besarnya nilai laju deposisi, rerata nilai laju deposisi terbesar yaitu pada titik 1 dengan nilai laju deposisi  $3,49 \times 10^{-4}$  kg/m<sup>2</sup>/s yang terletak pada celah sisi antara pulau G dan F. Rerata nilai total akumulasi deposit bersih sedimen terbesar mencapai 9335,21 g/m<sup>2</sup> yang berada di antara sisi pulau A dan E, sehingga menyebabkan pendangkalan yang ditunjukkan dengan meningkatnya ketebalan lapisan dasar mencapai 15,2 cm.*

**Kata Kunci—Reklamasi, Sedimentasi, Hidrodinamik, Teluk Benoa.**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# **MODELING OF SEDIMENT DISTRIBUTION TO ANALYSIS THE IMPACT OF RECLAMATION TO THE SHALLOWING OF BENOA BAY**

Student Name : Izhad Miftachurrozaq  
Reg. Number : 3513 100 073  
Department : Teknik Geomatika FTSP - ITS  
Advisor : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

## **Abstract**

*In 2014, the government plans a mega project of Benoa Bay Revitalization which is still a conflict because of the pro and contra. The project will undertake the construction of new islands in the waters of Benoa Bay by reclamation. Reclamation activities can lead to an increasingly rapid sedimentation process. Reclaimed islands can inhibit the flow of sedimentary material resulting in precipitation. Sedimentation process is influenced by hydrodynamic conditions in that waters. The movement of the sedimentary stream will follow from the movement of the current pattern. Hydrodynamic modeling is one of approach method to know hydrodynamic condition in a waters. This research modeled the flow and distribution of sediments in the waters of Benoa Bay at the time of pre-reclamation and post-reclamation to determine the impact of reclamation on siltation in the Benoa Bay. The modeling results show an increase in sediment deposition rate and sediment erosion rate. The value of the deposition rate indicates the potential for sediment deposit (sedimentation). Based on the 10 sample points taken according to the rate of deposition, the average value of the largest deposition rate is on the point 1 with the deposition rate of  $3.49 \times 10^{-4}$  kg/m<sup>2</sup>/s, that located on the gap between the islands G and F. The average value of the largest total net sediment deposit accumulation reached 9335.21 g m<sup>2</sup> which lies between the islands of A and E, thus causing silting as indicated by increasing bed thickness of 15.2 cm.*

**Keywords—Reclamation, Sedimentation, Hydrodinamic, Benoa Bay**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LEMBAR PENGESAHAN

**Pemodelan Pola Sebaran Sedimen Untuk Analisis Dampak  
Reklamasi Terhadap Pendangkalan Di Teluk Benoa**

### TUGAS AKHIR

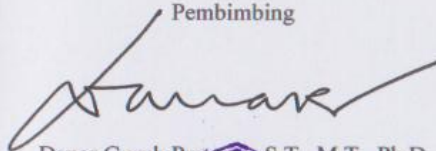
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**IZHAD MIFTACHURROZAQ**  
NRP. 3513 100 073

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Pembimbing



Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198005012003121001



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas segala karunia dan kasih-NYA kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam Tugas Akhir yang berjudul **“Pemodelan Pola Sebaran Sedimen Untuk Analisis Dampak Reklamasi Terhadap Pendangkalan Di Teluk Benoa”** sesuai dengan waktu yang ditentukan.

Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada:

1. Kedua Orang tua beserta keluarga, Bapak Mukayat, Ibu Kasiyem, dan Dihein Reksa Ikmaluhakim yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika FTSP - ITS.
3. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah memberi bimbingan dan bantuan dibidang akademis.
4. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing penulis.
5. Mayor Johar Setiyadi, Mayor Kuncoro, dan seluruh pegawai Pusat Hidro-Oceanografi TNI AL Jakarta yang telah memberi dukungan berupa bantuan data.
6. Bapak Komang Gde Subudi selaku Ketua Yayasan Bumi Bali Bagus Denpasar Bali yang telah memberi dukungan berupa bantuan data.
7. Bapak - Ibu Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Geomatika FTSP-ITS.
8. Teman-teman tercinta dari mahasiswa Teknik Geomatika ITS khususnya angkatan 2013.
9. Teman-teman tim laboratorium Geo-Marine Geomatika ITS.

10. Sahabat seperjuangan Ainur Rofiq RJ, Andyra Yahya, Dhiyaulhaq Al Majid, Muharrama Putra Prayoga, Fadhil Hamdi, Adib Zaid Nahdi, dan Hardani Satrio Hutomo.
11. Sahabat terhebat Najmah Su'ad, Mokhammad Gervier Octavin, Shafi Adhi Nugroho, Abyan Ilham, Syachnanta Tito, Odi Yoshitaka, Wirman Tirtamarta, Rizky Fajar Bahari, dan Muhammad Ilham Budiman.
12. Dan lagi pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu , penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya.

Penulis menyadari segala keterbatasan yang dimiliki, tentunya Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk pengembangan selanjutnya. Harapan penulis atas Tugas Akhir ini adalah semoga dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan dapat diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Reklamasi.....	5
2.2 Pasang Surut.....	5
2.3 Konstanta Harmonik Pasang Surut.....	7
2.4 Ketinggian Muka Air Laut.....	9
2.5 Arus Pasang Surut.....	10
2.6 Model Hidrodinamika.....	11
2.7 Sedimen.....	13
2.8 Transpor Sedimen.....	13
2.9 Sedimentasi.....	15
2.10 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Data dan Peralatan.....	19
3.2.1 Data.....	19
3.2.2 Peralatan.....	20

3.3 Metode Penelitian.....	21
3.3.1 Tahap Penelitian .....	21
3.3.2 Tahap Pengolahan Data .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Bidang Model.....	27
4.1.1 Pendefinisian Batas dan Kedalaman .....	27
4.1.2 <i>Mesh</i> .....	29
4.2 Pemodelan Arus Pasang Surut .....	30
4.2.1 Analisa Pasang Surut .....	30
4.2.2 Analisa Model Arus.....	32
4.3 Pemodelan Sebaran Sedimen .....	37
4.3.1 Parameter <i>Input</i> Model .....	37
4.3.2 Analisa Model Sebaran Sedimen.....	37
4.3.3 Analisa Dampak Reklamasi.....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Bulan dan Matahari Terhadap Pasang Surut.....	6
Gambar 2.2	Referensi Ketinggian Muka Air Laut.....	9
Gambar 2.3	Mekanisme Transpor Sedimen.....	14
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	21
Gambar 3.3	Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data.....	23
Gambar 4.1	<i>Mesh</i> dan <i>Boundary</i> Pra Reklamasi .....	28
Gambar 4.2	<i>Mesh</i> dan <i>Boundary</i> Paska Reklamasi .....	28
Gambar 4.3	Interpolasi <i>Mesh</i> Pra Reklamasi .....	29
Gambar 4.4	Interpolasi <i>Mesh</i> Paska Reklamasi .....	30
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Pasang Surut .....	30
Gambar 4.6	Grafik Pasang Surut 26 Mei 2013 .....	32
Gambar 4.7	Simulasi Arus Pra Reklamasi Kondisi Pasang Tertinggi.....	33
Gambar 4.8	Simulasi Arus Paska Reklamasi Kondisi Pasang Tertinggi.....	34
Gambar 4.9	Simulasi Arus Pra Reklamasi Kondisi Surut Terendah.....	35
Gambar 4.10	Simulasi Arus Paska Reklamasi Kondisi Surut Terendah.....	36
Gambar 4.11	Pola Sebaran Sedimen Pra Reklamasi Pasang Tertinggi.....	40
Gambar 4.12	Pola Sebaran Sedimen Paska Reklamasi Pasang Tertinggi.....	41
Gambar 4.13	Pola Sebaran Sedimen Pra Reklamasi Surut Terendah.....	42
Gambar 4.14	Pola Sebaran Sedimen Paska Reklamasi Surut Terendah.....	43
Gambar 4.15	Deposisi Sedimen Pra Reklamasi Pasang Tertinggi.....	44
Gambar 4.16	Deposisi Sedimen Paska Reklamasi Pasang Tertinggi.....	45

Gambar 4.17	Deposisi Sedimen Tertinggi Pra Reklamasi Pasang Tertinggi.....	46
Gambar 4.18	Deposisi Sedimen Tertinggi Paska Reklamasi Pasang Tertinggi.....	46
Gambar 4.19	Deposisi Sedimen Pra Reklamasi Surut Terendah.....	46
Gambar 4.20	Deposisi Sedimen Paska Reklamasi Surut Terendah.....	47
Gambar 4.21	Deposisi Sedimen Tertinggi Pra Reklamasi Surut Terendah.....	48
Gambar 4.22	Deposisi Sedimen Tertinggi Paska Reklamasi Surut Terendah.....	48
Gambar 4.23	Titik Lokasi Yang Berpotensi Terjadi Sedimentasi .....	49
Gambar 4.24	Grafik Perbandingan Total Akumulasi Deposit Bersih.....	51
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Ketebalan Dasar.....	51
Gambar 4.26	Lokasi Mulut Sungai Di Teluk Benoa.....	52
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Total Akumulasi Deposit Bersih Di Mulut Sungai .....	53
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Ketebalan Dasar Di Mulut Sungai.....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta Harmonik Pasang Surut .....	8
Tabel 4.1	Pendefinisian <i>Boundary</i> .....	28
Tabel 4.2	Perbandingan Ketinggian Muka Air Laut.....	31
Tabel 4.3	Parameter Input Model Sebaran Sedimen.....	37
Tabel 4.4	Rerata Hasil Model Sebaran Sedimen Pra Reklamasi .....	50
Tabel 4.5	Rerata Hasil Model Sebaran Sedimen Paska Reklamasi .....	50
Tabel 4.6	Rerata Hasil Model Sedimen Di Mulut Sungai Pra Reklamasi .....	53
Tabel 4.7	Rerata Hasil Model Sedimen Di Mulut Sungai Paska Reklamasi .....	53

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Peta Batimetri Teluk Benoa
- Lampiran 2. Data Pasang Surut
- Lampiran 3. Data Dedit Air Sungai
- Lampiran 4. Data Koordinat Rencana Reklamasi

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teluk Benoa adalah teluk yang terletak di sebelah selatan Pulau Bali, dengan luas perairan sekitar 1.988 Ha. Teluk Benoa merupakan tipologi teluk semi tertutup karena mulut teluk yang menyempit. Teluk Benoa merupakan teluk *intertidal* yang relatif dangkal, sehingga sebagian besar dasar laut terlihat pada waktu air surut rendah. Teluk Benoa memiliki berbagai macam bentuk sedimen, dari pasir sekasar kerikil sampai pasir berendapan sedimen di pesisirnya (*Conservation International*, 2013).

Menurut Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 45 Tahun 2011, Teluk Benoa merupakan kawasan konservasi perairan pesisir yang dilindungi. Teluk Benoa menjadi aset bagi pemerintah Provinsi Bali karena memiliki lokasi strategis dalam bidang pariwisata maupun transportasi. Teluk Benoa memiliki objek wisata pesisir dan hutan mangrove yang cukup luas. Teluk Benoa juga memiliki layanan fasilitas untuk transportasi laut tingkat Internasional. Di tahun 2012, pemerintah juga membangun Jalan Tol Bali Mandara, yang dibangun diatas perairan Teluk Benoa sepanjang 12,7 km menghubungkan Benoa, Ngurah Rai, dan Nusa Dua.

Di tahun 2014, pemerintah menyatakan kondisi eksisting kawasan Teluk Benoa sudah tidak seluruhnya memenuhi kriteria sebagai kawasan konservasi, dimana secara faktual telah ada perubahan fisik, seperti telah dibangunnya jalan tol, jaringan pipa migas, maupun Pelabuhan Internasional Benoa. Jalan tol layang yang dibangun diatas kawasan pantai Teluk Benoa, telah mengubah dinamika ekosistem pantai, sehingga diperlukan penyesuaian peruntukan ruang. Pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 51 Tahun 2014 tentang Perubahan Perpres Nomor 45 tahun 2011 yang menyebutkan

perubahan sebagian status zona kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil di Kawasan Teluk Benoa, serta arahan umum pemanfaatan ruang kawasan tersebut. Oleh sebab itu, pemerintah merencanakan mega proyek Revitalisasi Teluk Benoa dengan tujuan ingin memulihkan kembali kondisi lingkungan dan ekosistem Teluk Benoa. Proyek Revitalisasi Teluk Benoa akan melakukan pembangunan pulau-pulau baru dengan melakukan reklamasi di perairan Teluk Benoa.

Kegiatan reklamasi pada suatu perairan dapat berpotensi terjadinya sedimentasi, sebab pulau-pulau baru hasil reklamasi dapat menghambat aliran material sedimen dan mengakibatkan pengendapan. Material sedimen dibawa oleh aliran arus yang berasal dari sungai-sungai besar yang bermuara di Teluk Benoa, diantaranya yaitu Tukad Badung, Tukad Mati, Tukad Sama, dan Tukad Bualu. Pergerakan aliran sedimen akan mengikuti pergerakan dari pola arusnya. Sehingga, perlu dilakukan kajian hidrodinamika untuk mengetahui kondisi hidrodinamika pada suatu perairan, khususnya kondisi pola arus dan pola sebaran sedimen. Pola sebaran sedimen dapat digunakan untuk mengetahui besarnya tingkat sedimentasi yang terjadi.

Penelitian ini mengkaji pola sebaran sedimen di Teluk Benoa dengan melakukan pemodelan melalui aplikasi model numerik. Hasil pemodelan dapat digunakan untuk memprediksi dinamika pola sebaran sedimen yang terjadi di perairan Teluk Benoa pada saat pra dan paska reklamasi. Hasil dari penelitian ini berupa simulasi model sebaran sedimen yang digunakan untuk menganalisis dampak reklamasi terhadap sedimentasi dan pendangkalan di Teluk Benoa.



## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana pola sebaran sedimen di Teluk Benoa pada saat pra dan paska reklamasi?
- b) Bagaimana pengaruh perubahan pola sebaran sedimen terhadap pendangkalan di Teluk Benoa paska reklamasi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Pola sebaran sedimen di Teluk Benoa pra dan paska reklamasi dimodelkan dengan menggunakan aplikasi model numerik.
- b) Penelitian ini akan memodelkan pola sebaran sedimen di area Teluk Benoa yang akan direklamasi.
- c) Penelitian ini menganalisis pengaruh perubahan pola sebaran sedimen terhadap pendangkalan di Teluk Benoa.
- d) Penelitian ini memodelkan pola sebaran sedimen saat pra dan paska reklamasi menggunakan data pasang surut dan debit air sungai dengan karakteristik yang sama.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah melakukan pemodelan pola sebaran sedimen di Teluk Benoa pra dan paska reklamasi, serta menganalisis pola sebaran sedimen tersebut untuk mengetahui dampak reklamasi terhadap pendangkalan di Teluk Benoa.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut

- a) Menghasilkan informasi yang dapat digunakan untuk memprediksi dampak yang terjadi akibat reklamasi di Teluk Benoa.
- b) Sebagai kajian yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan dalam rangka Revitalisasi Teluk Benoa.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Reklamasi**

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 52 Tahun 2011, reklamasi adalah pekerjaan timbunan di perairan atau pesisir yang mengubah garis pantai dan atau kontur kedalaman perairan. Dalam Undang-Undang No 27 Tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, mengungkapkan bahwa reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan yang ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan atau drainase. Pada dasarnya reklamasi merupakan kegiatan merubah wilayah perairan pantai menjadi daratan. Reklamasi dimaksudkan upaya merubah permukaan tanah yang rendah (biasanya terpengaruh terhadap genangan air) menjadi lebih tinggi (tidak terpengaruh genangan air). (Wisnu Suharto, 1996).

Tujuan reklamasi yaitu untuk memperbaiki daerah atau area yang tidak terpakai atau tidak berguna menjadi daerah yang dapat dimanfaatkan kembali. Kegiatan reklamasi dapat berdampak positif terhadap peningkatan kualitas dan nilai ekonomi kawasan pesisir. Namun, reklamasi juga akan berdampak pada kondisi lingkungan pada area tersebut. Dampak lingkungan misalnya perubahan arus laut, kenaikan muka air laut dan muka air sungai yang menjadi terhambat untuk masuk ke laut yang memungkinkan terjadinya banjir, sedimentasi, dan perubahan kondisi hidrodinamika lainnya.

#### **2.2 Pasang Surut**

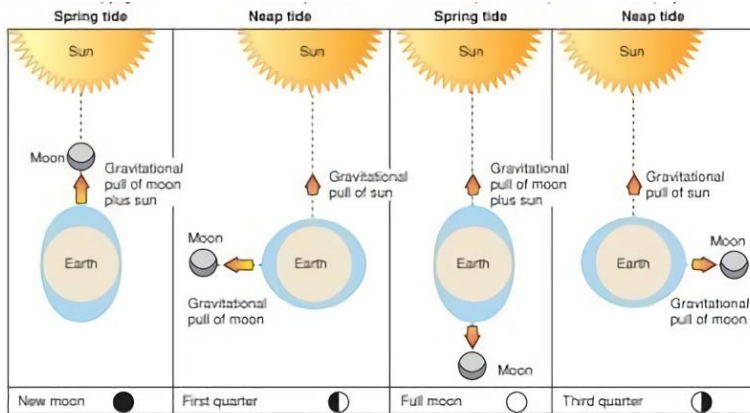
Salah satu parameter yang berpengaruh pada kondisi hidrodinamika pada suatu perairan yaitu kondisi pasang surut. Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya permukaan air laut yang terjadi secara periodik akibat adanya pergerakan benda-benda langit dan gaya tariknya, terutama pergerakan bulan mengelilingi bumi, pergerakan bumi dan bulan mengelilingi matahari, serta rotasi bumi terhadap sumbunya. Benda-benda langit yang bergerak secara periodik dan teratur mengikuti garis edarnya

masing-masing mengakibatkan fenomena pasang surut air laut ini terjadi secara periodik pula. Namun, hanya pergerakan bumi dan bulan terhadap matahari saja yang diperhitungkan, sebab benda-benda langit lainnya sangat kecil pengaruhnya terhadap pasang surut di bumi.

Pasang surut disetiap daerah di permukaan bumi berbeda-beda jenis dan tipenya tergantung dari kedudukan bulan dan matahari terhadap bumi. Menurut Poerbandono dan Djunarsjah (2005), saat matahari segaris dengan sumbu bumi bulan, maka akan terjadi pasang maksimum pada titik di permukaan bumi yang berada di sumbu kedudukan relatif bumi, bulan, dan matahari. Kondisi ini disebut dengan pasang surut perbani (*spring tide*) yang terjadi ketika bulan baru dan bulan purnama. Pada saat kedudukan matahari tegak lurus terhadap sumbu bumi bulan, terjadi pasang minimum pada titik di permukaan bumi yang tegak lurus sumbu bumi bulan. Kondisi ini disebut pasang surut mati (*neap tide*) yang terjadi di perempat awal dan akhir bulan.

Gaya gravitasi dan efek sentrifugal adalah penyebab utama terjadinya pasang surut. Efek sentrifugal adalah gaya dorong ke arah luar pusat rotasi bumi. Sedangkan gaya gravitasi adalah gaya tarik benda-benda langit yang mempunyai massa. Gaya gravitasi berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik terhadap jarak. Bulan memiliki gaya gravitasi lebih besar untuk membangkitkan pasang surut di bumi, hal ini disebabkan oleh jarak bulan ke bumi yang jauh lebih dekat dengan jarak bumi ke matahari.

Gaya gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari menghasilkan dua tonjolan (*bulge*) pasang surut gravitasional di laut. Posisi dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari. Kombinasi dari tonjolan yang diakibatkan oleh gravitasi bulan dan matahari ini menyebabkan perubahan ketinggian pasang dan surut di suatu perairan pada waktu tertentu. Pengaruh kedudukan bulan dan matahari terhadap pasang surut diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pengaruh Bulan dan Matahari Terhadap Pasang Surut  
(Sumber: Garrison, 1998)

### 2.3 Konstanta Harmonik Pasang Surut

Pasang surut memiliki beberapa tipe yang berbeda-beda jenisnya. Hal tersebut terjadi karena pasang surut disebabkan oleh gaya tarik benda-benda langit disekitar bumi yang bergerak. Revolusi bulan dan bumi mengelilingi matahari serta bulan mengelilingi bumi merupakan salah satu penyebab adanya jenis-jenis tipe pasang surut yang menimbulkan adanya komponen-komponen pembangkit pasang surut yang berbeda-beda nilainya, komponen-komponen tersebut disebut dengan konstanta harmonik. Konstanta pasang surut mempunyai nilai amplitudo dan periode yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan tipe pasang surut berbeda-beda pula. Secara garis besar konstanta harmonik dapat dikategorikan ke dalam 4 (empat) kelompok (Poerbandono, 1999), yaitu:

- Konstanta harmonik periode setengah harian (*semidiurnal period tide*), terdiri dari  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ , dan  $K_2$ .
- Konstanta harmonik periode harian (*diurnal period tide*), terdiri dari  $K_1$ ,  $O_1$ , dan  $P_1$ .
- Konstanta harmonik periode panjang (*long period tide*), terdiri dari  $M_f$  dan  $M_m$ .
- Konstanta harmonik perairan dangkal (*shallow water tide*), terdiri dari  $M_4$  dan  $MS_4$ .

Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut  
(Sumber: Poerbandono, 1999)

Nama Konstanta	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan (°/jam)	Jenis
<i>Principal lunar</i>	$M_2$	12,42	28,984	<i>Semidiurnal</i>
<i>Principal solar</i>	$S_2$	12,00	30,000	
<i>Larger lunar elliptic</i>	$N_2$	12,66	28,440	
<i>Luni solar semi diurnal</i>	$K_2$	11,98	30,082	
<i>Luni solar diurnal</i>	$K_1$	23,93	15,041	<i>Diurnal</i>
<i>Principal lunar diurnal</i>	$O_1$	25,82	13,943	
<i>Principal solar diurnal</i>	$P_1$	24,07	14,959	
<i>Lunar fortnightly</i>	$Mf$	327,82	1,098	<i>Long Period</i>
<i>Lunar monthly</i>	$Mm$	661,30	0,544	
<i>Main lunar</i>	$M_4$	6,21	57,968	<i>Shallow Water</i>
<i>Main luni-solar</i>	$MS_4$	6,20	58,084	

Tipe pasang surut disuatu perairan dapat diketahui dengan melakukan perhitungan menggunakan rumus *Formzahl*

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana  $AK_1$  adalah Amplitudo *Luni Solar Diurnal*,  $AO_1$  adalah Amplitudo *Principal Lunar Diurnal*,  $AM_2$  adalah Amplitudo *Principal Lunar*,  $AS_2$  adalah Amplitudo *Principal Solar*. Metode yang umumnya digunakan untuk menghitung nilai parameter amplitudo  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$  adalah hitung perataan metode *least square* dan *admiralty* (Poerbandono, 1999).

Dari nilai  $F$  tersebut, pasang surut diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, seperti berikut:

- a) Pasang surut harian ganda (*semidiurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 0–0,25. Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan muka air yang sama.

- b) Pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed semidiurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 0,25–1,5. Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan muka air yang berbeda.
- c) Pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed diurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 1,5–2,5. Dalam satu hari umumnya hanya terjadi satu kali pasang, namun terkadang terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan yang berbeda.
- d) Pasang surut harian tunggal (*diurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 2,5–3. Dalam satu hari hanya terjadi sekali pasang dan surut.

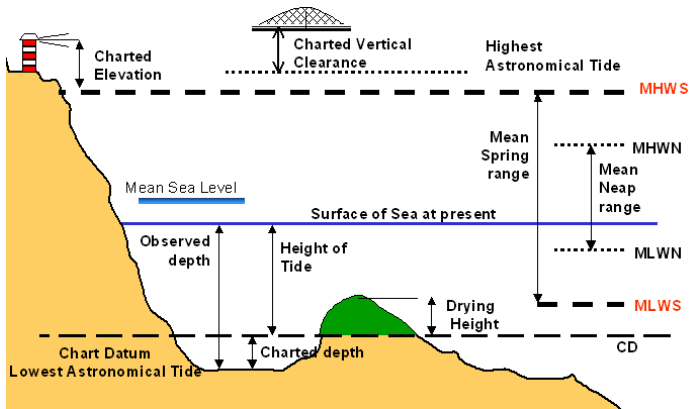
Perairan Teluk Benoa memiliki tipe pasang surut *mixed semidiurnal*, dimana perairan Teluk Benoa mengalami pasang surut sebanyak dua kali dalam sehari dengan kenaikan muka air laut yang berbeda.

#### **2.4 Ketinggian Muka Air Laut**

Pasang surut air laut setiap waktu selalu berubah-ubah, maka dibuatlah referensi ketinggian muka air laut sebagai acuan nilai kedalaman perairan. Berikut beberapa referensi ketinggian muka air yang biasa digunakan sebagai acuan:

- a) Muka air tinggi (*High Water Level, HWL*), merupakan muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- b) Muka air rendah (*Low Water Level, LWL*), merupakan kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
- c) Muka air tinggi rerata (*Mean High Water Level, MHWL*), adalah rata-rata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
- d) Muka air rendah rerata (*Mean Low Water Level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.

- e) Muka air laut rerata (*Mean Sea Level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
- f) Muka air tinggi tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- g) Muka air rendah terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- h) *Higher High Water Level (HHWL)*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
- i) *Lower Low Water Level (LLWL)*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.



Gambar 2.2. Referensi Ketinggian Muka Air Laut  
(Sumber: *skysail*, 2011)

## 2.5 Arus Pasang Surut

Pasang surut merupakan salah satu parameter sebagai gaya pembangkit arus pada suatu perairan. Arus yang dibangkitkan oleh pasang surut ini disebut arus pasang surut. Arus pasang surut biasanya dominan terjadi pada perairan yang dangkal seperti pantai, muara, teluk, dll. Sehingga,



pergerakan arus di Teluk Benoa dominan diakibatkan oleh gaya pasang surut pada perairan tersebut.

Menurut Gross (1972), arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari massa air menuju kestabilan yang terjadi secara terus menerus. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air adalah vektor yang mempunyai besaran kecepatan dan arah.

Pergerakan arus dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain angin, densitas, pasang surut, tekanan dan gaya koriolis. Arus yang disebabkan oleh pasang surut disebut arus pasang surut. Arus pasang surut merupakan arus dalam karena terjadi di kolom perairan. Arus pasang surut cukup dominan pada perairan yang memiliki karakteristik pasang surut seperti pantai, muara atau teluk. Gerakan arus pasang surut dari laut lepas yang merambat ke perairan dangkal akan mengalami perubahan akibat perubahan kedalaman (Pradana, 2016).

Pada perairan dimana arus pasang surut cukup kuat, tarikan gesekan dengan dasar laut dapat menghasilkan potongan vertikal maupun horizontal yang dapat menyebabkan gerakan memutar (*rotating movement*) yang disebut dengan *vortex*. Arus berputar yang muncul dapat berupa *primary vortex* dan *secondary vortex*, sesuai dengan besarnya arus pasang surut yang mempengaruhi. Arus pasang surut merupakan salah satu faktor penyebab proses sedimentasi (Kramadibrata, 1985).

## 2.6 Model Hidrodinamika

Kondisi pergerakan massa air (hidrodinamika) di suatu perairan dapat didekati dengan metode pemodelan numerik. Pemodelan numerik mensimulasikan pola sirkulasi arus berdasarkan hukum kekekalan massa (kontinuitas) dan kekekalan momentum.

Persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \dots\dots\dots(2-2)$$

Persamaan momentum dalam arah x dan y:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} =$$

$$f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + hu_s S \dots\dots\dots(2-3)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} =$$

$$f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + hv_s S \dots\dots\dots(2-4)$$

Dengan  $\bar{u}$  dan  $\bar{v}$  masing-masing menyatakan kecepatan arus dalam arah  $x$  dan  $y$  yang dirata-ratakan terhadap kedalaman dengan persamaan:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \dots\dots\dots(2-5)$$

dan,

$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana,  $\eta$  adalah elevasi muka air laut;  $h$  adalah kedalaman total;  $t$  menyatakan waktu;  $f$  adalah parameter koriolis;  $\rho$  adalah densitas fluida;  $S$  adalah *magnitude discharge*.  $T_{ij}$  menyatakan gesekan viskos masing-masing:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}; T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}; \text{ dan } T_{xy} = A \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(2-7)$$

$\tau_{sx}$ ,  $\tau_{sy}$  adalah tegangan (*stress*) yang terjadi di permukaan fluida dalam arah  $x$  dan  $y$ ;  $\tau_{bx}$ ,  $\tau_{by}$  adalah tegangan yang terjadi di dasar fluida dalam arah  $x$  dan  $y$ .

## **2.7 Sedimen**

Kondisi hidrodinamika suatu perairan dapat berpengaruh pada pergerakan aliran sebaran sedimen pada perairan tersebut. Sedimen merupakan tanah dan bagian-bagian tanah yang terangkut dari suatu tempat yang tererosi. Sedimen ini terbawa aliran air dari satu tempat ke tempat yang lain sampai mengendap pada lokasi tertentu. Sedimen yang dihasilkan dari proses erosi dan terbawa suatu aliran akan diendapkan di suatu tempat yang kecepatan airnya melambat atau berhenti disebut dengan sedimentasi (Arsyad, 2000 dalam Savitri, 2010). Pada umumnya, pengendapan sedimen pada proses sedimentasi terjadi di bawah bukit, daerah genangan banjir, saluran air, sungai, waduk, muara dan teluk.

Di dalam menentukan jenis sedimen, sifat dan karakter sedimen sangat penting untuk diketahui. Beberapa jenis sedimen dapat dibedakan berdasarkan ukuran partikel, distribusi butir sedimen, kerapatan, bentuk sedimen, kecepatan endap, berat jenis dan tahanan terhadap erosi (Triatmodjo, 1999). Berdasarkan ukuran butir, sedimen dapat diklasifikasikan menjadi pasir, lumpur, lempung, lanau, kerikil, koral, dan batu. Sedimen di Teluk Benoa terdiri atas tanah liat hitam dan pasir berendapan sedimen, mencerminkan masukan aluvium terestrial dari sungai-sungai yang mengalir ke teluk. Sedimen di dalam teluk beragam bentuknya dari kerikil, pasir, lanau, hingga lempung (*Conservation International, 2013*).

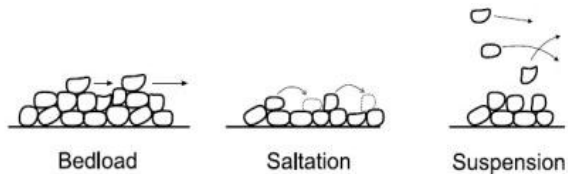
## **2.8 Transpor Sedimen**

Pergerakan sedimen yang mengalir mengikuti pola arus menunjukkan pola sebaran sedimen atau transpor sedimen. Transpor sedimen yaitu proses perpindahan sedimen akibat kombinasi gravitasi yang bekerja pada sedimen dan atau pergerakan fluida yang membawa sedimen tersebut. Aliran sedimen akibat gaya gravitasi terjadi secara alami dimana material sedimen kasar (batu, kerikil, pasir), lumpur atau lempung bergerak pada fluida sepanjang permukaan miring dimana material itu berada. Aliran sedimen ini tidak melibatkan faktor lain dan murni karena pengaruh gaya gravitasi. Aliran sedimen akibat gerak

fluida terjadi di sungai, samudra, laut, danau dan perairan lain. Arus, gelombang dan pasang surut membawa sedimen yang terdapat di dasar perairan tersebut.

Menurut Paolo (2012), secara umum mekanisme transpor sedimen pada fluida dibedakan menjadi tiga seperti diilustrasikan pada Gambar 2.3:

- Bedload*, sedimen yang menggelinding atau meluncur di dasar.
- Suspension*, aliran fluida membawa sedimen melayang hingga tidak menyentuh dasar.
- Saltation*, butiran tunggal yang melompat di dasar



Gambar 2.3 Mekanisme Transpor Sedimen

Transpor sedimen dapat disimulasikan dengan metode pemodelan numerik. Perhitungan untuk mendapatkan nilai konsentrasi sebaran sedimen tersuspensi menggunakan persamaan *Adveksi-Dispersi* yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( h D_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( h D_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S_c \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana,  $\bar{C}$  adalah konsentrasi rata-rata kedalaman ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  $u, v$  adalah kecepatan aliran rata-rata kedalaman ( $\text{m}/\text{s}$ );  $D_x, D_y$  adalah koefisien dispersi ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $h$  adalah kedalaman air ( $\text{m}$ );  $S_c$  adalah laju endapan (*deposition*) atau laju erosi (*erosion*) ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ );  $Q_L$  adalah sumber debit per unit horizontal area ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ );  $C_L$  adalah konsentrasi dari sumber debit ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Untuk mengestimasi laju endapan ( $S_D$ ) yaitu menggunakan pendekatan *Krone* sebagai berikut

$$S_D = W_s C_b p_d \dots\dots\dots (2-9)$$

$$p_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} = \tau_b \leq \tau_{cd} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana,  $W_s$  adalah kecepatan endapan (*settling*) (m/s);  $C_b$  adalah konsentrasi dekat dasar (*near bed*) ( $\text{kg/m}^3$ );  $p_d$  adalah kemungkinan mengendap (*probability of deposition*);  $\tau_b$  adalah gesekan dasar (*bed shear stress*) ( $\text{N/m}^2$ );  $\tau_{cd}$  adalah gesekan dasar kritis untuk endapan (*critical bed shear stress for deposition*) ( $\text{N/m}^2$ ).

Parameter erosi lumpur halus (*silt*) dan konsolidasi sebagian (*partly consolidated bed*) oleh Parchure and Mehta, (1985):

$$S_E = E \exp[\alpha(\tau_b - \tau_{ce})^{1/2}] \tau_b > \tau_{ce} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dimana,  $E$  adalah erodibilitas dasar (*erodibility of bed*) ( $\text{Kg/m}^2/\text{s}$ );  $\alpha$  adalah koefisien;  $\tau_b$  adalah gesekan dasar (*bed shear stress*) ( $\text{N/m}^2$ );  $\tau_{ce}$  adalah gesekan dasar kritis untuk erosi (*critical bed shear stress for erosion*) ( $\text{N/m}^2$ ).

## 2.9 Sedimentasi

Pola sebaran sedimen atau transpor sedimen dapat digunakan untuk mengetahui tingkat sedimentasi yang terjadi pada suatu perairan. Sedimentasi merupakan proses penghancuran, pengikisan, dan pengendapan material pada suatu tempat melalui media air laut, air tawar, angin dan es. Beberapa faktor alam yang menyebabkan terjadinya proses pendangkalan atau proses sedimentasi, yaitu :

- a) Sumber sedimentasi yang mengakibatkan banyaknya sedimen yang terbawa oleh arus.
- b) Adanya sungai-sungai yang bermuara.
- c) Adanya arus laut yang memungkinkan terjadinya sedimentasi.

- d) Berat dan besar butir-butir material pembentuk sedimen.
- e) Tempat pengendapan, untuk daerah relatif tenang seperti bentuk-bentuk lekukan teluk yang kecil, dimana air relatif tenang kemungkinan sedimentasi akan lebih besar dibandingkan dengan daerah yang arusnya kuat dan letaknya didaerah yang bebas.

Pengendapan dan resuspensi sedimen halus selama siklus pasut merupakan karakteristik penting dari transport sedimen kohesif di estuari. Hal tersebut sangat diperlukan dalam memodelkan dinamika sedimen untuk memperoleh informasi secara kuantitatif proses perubahan didasar, yaitu pengendapan dan erosi (Dronkers and Van Leussen, 1988).

Pengendapan merupakan suatu peristiwa dimana material sedimen tersuspensi (partikel, agregat atau *floc*) jatuh ke dasar perairan dan menjadi sedimen dasar. Pada peristiwa ini arus sudah tidak mampu lagi mengangkat atau mempertahankan partikel sedimen berada dalam kolam air. Dengan pengertian lain bahwa tegangan geser dasar aliran lebih kecil dibandingkan tegangan geser kritis pengendapan (Umar, 2000 dalam Mubarak, 2004).

Sedangkan peristiwa tergerus atau terangkatnya sedimen dari dasar perairan ke dalam kolam perairan menjadi sedimen tersuspensi disebut dengan erosi. Kecepatan erosi didefinisikan sebagai jumlah massa sedimen yang tererosi per satuan waktu. Partikel sedimen, gumpalan (*flocs*) atau bongkahan (*lumps*) di permukaan dasar akan tererosi jika tegangan geser dasar ( $\tau_b$ ) yang ditimbulkan oleh arus dan gelombang melebihi tegangan geser kritis erosi ( $\tau_{ce}$ ). Hal ini tergantung pada karakteristik material dasar (komposisi mineral, material organik, salinitas, densitas dan lain-lain) atau struktur dasar (Van Rijn, 1993).

## **2.10 Penelitian Terdahulu**

Rachman (2016) meneliti tentang transpor sedimen di Teluk Benoa menggunakan pemodelan numerik. Penelitian dilakukan di kawasan Teluk

Benoa, Bali pada periode Januari 2016. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui distribusi sedimen pada Teluk Benoa.

Pengambilan data dilakukan langsung di lapangan dengan mengambil data sampel *Total Suspended Solids* (TSS), pasang surut, dan debit sungai dilakukan pada setiap muara sungai yang kemudian dijadikan sebagai input model. Untuk elevasi muka air dilakukan validasi data pasang surut hasil observasi dengan data pengamatan pada stasiun pasut milik BMKG yang terdapat di Teluk Benoa pada periode Januari 2016.

Hasil pemodelan numerik untuk proses transpor sedimen merupakan pola sebaran konsentrasi sedimen pada setiap layer kedalaman di saat pasang, surut, dan kondisi menuju pasang dan surut. Hasil dari analisa penelitian ini yaitu pola transpor sedimen yang terdapat di teluk benoa akan mengikuti bentuk dari pola arusnya. Kecepatan arus yang cukup tinggi pada daerah teluk diduga membuat gesekan terhadap lapisan sedimen yang terdapat di dasar sehingga membuat sedimen di daerah mulut teluk cukup tinggi. Konsentrasi sedimen tertinggi berada pada bagian dekat muara sungai dengan konsentrasi mencapai 150 mg/l.

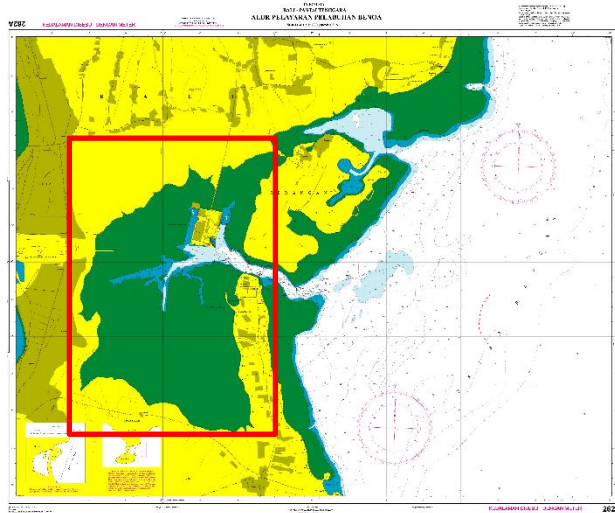
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berlokasi di Teluk Benoa, Bali. Teluk Benoa adalah sebuah teluk yang terletak dikoordinat  $8^{\circ}45'27''$  LS  $115^{\circ}13'11''$  BT di sebelah selatan Pulau Bali, Indonesia, dengan luas sekitar 1.988,1 ha.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian  
(Sumber: Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL)

### 3.2 Data dan Peralatan

#### 3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Peta batimetri yang diperoleh dari *Pusat Hidro-Oseanografi TNI-AL* dan *PT. Tirta Wahana Bali International*.
2. Data pasang surut dan ketinggian muka air laut Teluk Benoa yang diperoleh dari *Pusat Hidro-Oseanografi TNI-AL*.

3. Data debit air sungai yang mengarah ke Teluk Benoa yang diperoleh dari *PT. Tirta Wahana Bali International*
4. Data koordinat rencana reklamasi Teluk Benoa diperoleh dari *PT. Tirta Wahana Bali International*.

### 3.2.2 Peralatan

Peralatan / perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

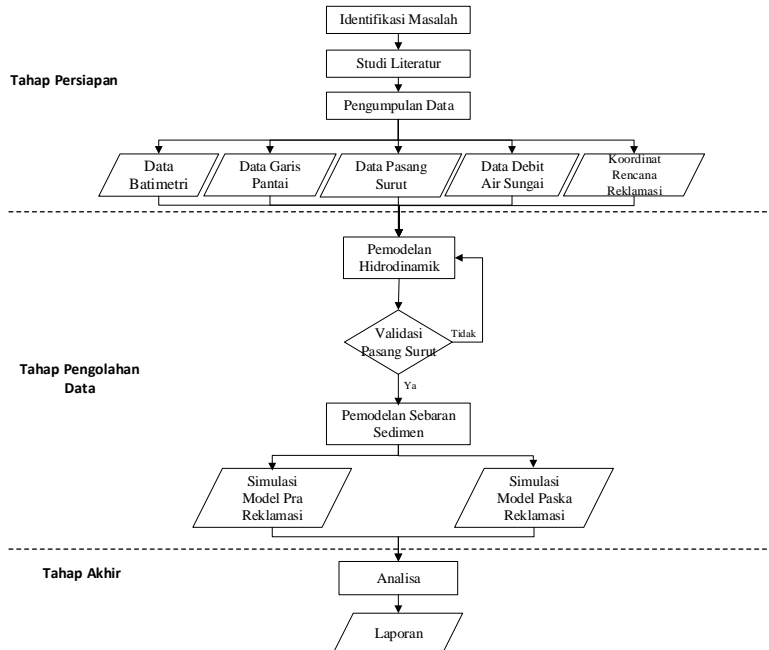
- *AutoCAD Land Dekstop 2009*

Perangkat lunak ini digunakan untuk merubah data raster menjadi data vektor, yaitu melakukan rektifikasi Peta Batimetri dan digitasi data batimetri serta garis pantainya.

- Perangkat lunak untuk mengkonversi data vektor menjadi data *xyz*
- Aplikasi model numerik untuk membuat simulasi model hidrodinamika.

### 3.3 Metode Penelitian

#### 3.3.1 Tahap Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

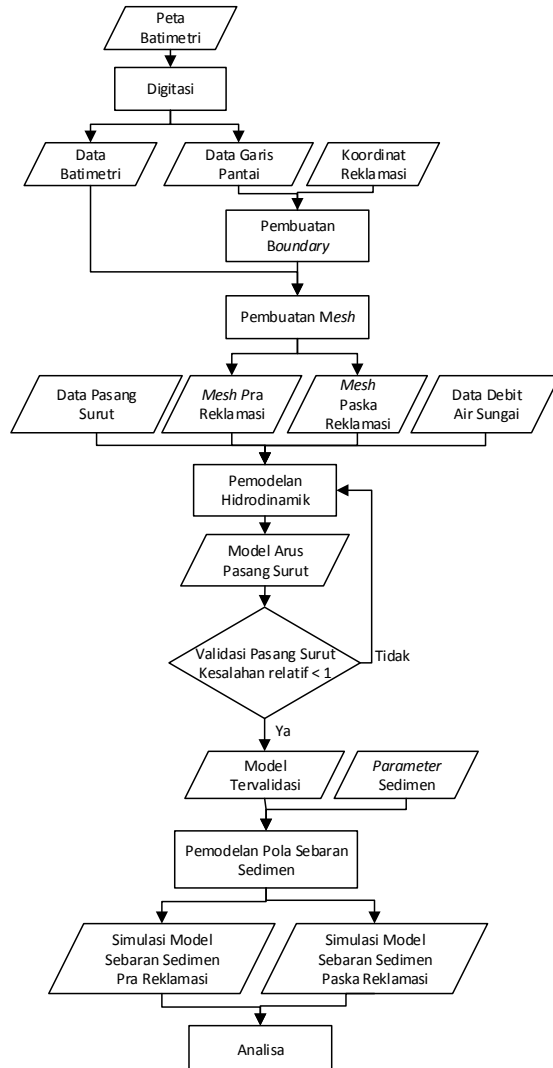
Berikut penjelasan dari diagram alir diatas:

#### a) Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah data batimetri, data pasang surut, data garis pantai, data debit air sungai, dan data koordinat rencana reklamasi.

- b) Tahap Pengolahan Data  
Pada tahap ini, data-data yang telah terkumpul kemudian dijadikan input dalam pengolahan data. Beberapa tahapan yang dilakukan dalam pengolahan data diantaranya rektifikasi peta batimetri, digitasi batimetri dan garis pantai, konversi data vektor menjadi data *xyz*, pembuatan desain bidang model, pemodelan hidrodinamik, validasi pasang surut, dan membuat simulasi model pola sebaran sedimen.
  
- c) Tahap Akhir  
Tahap akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisa dari hasil simulasi model sebaran sedimen pra dan paska reklamasi untuk mengetahui dampak reklamasi terhadap pendangkalan di Teluk Benoa, serta menyusun laporan sebagai bentuk pertanggung jawaban atas penelitian yang telah dilakukan.

### 3.3.2 Tahap Pengolahan Data



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Berikut penjelasan dari diagram alir diatas:

- a) Langkah awal dalam pengolahan data ini adalah melakukan digitasi batimetri dan garis pantai dari Peta Batimetri Teluk Benoa dengan sistem proyeksi *UTM* dalam zona 50S. Langkah ini dilakukan untuk mengkonversi data raster menjadi data vektor dan data vektor tersebut akan dikonversi lagi menjadi format data *xyz*. Data batimetri dan garis pantai dalam format *xyz* akan digunakan sebagai input dalam pembuatan desain bidang model.
- b) Desain bidang model berupa sekumpulan titik-titik kedalaman yang dihubungkan dan diinterpolasi sehingga membentuk jaring-jaring triangulasi (*mesh*). Jaring dibangun dari data batimetri dan *boundary*. *Boundary* digunakan sebagai batas area pemodelan. Batas ini dibuat berdasarkan data garis pantai dan data koordinat rencana reklamasi. Data garis pantai berbentuk format *xyz* dengan elevasi 0 dan data koordinat rencana reklamasi diasumsikan memiliki elevasi 1 m diatas *HHWL* (*Highest High Water Level*) atau muka air tinggi tertinggi. Data batimetri memiliki satuan meter, dengan nilai kedalaman terhadap duduk tengah atau *MSL* (*Mean Sea Level*). Bidang model ini dibuat dalam dua kondisi, yaitu model pada saat pra reklamasi dan paska reklamasi.
- c) Jaring (*mesh*) yang telah terbentuk dijadikan sebagai parameter bidang pemodelan, yang nantinya akan ditambahkan parameter *boundary conditions* dengan memasukkan data pasang surut dan data debit air sungai sebagai gaya pembangkit arus (hidrodinamik).
- d) Pemodelan arus disimulasikan dengan periode simulasi 29 April 2013 sampai 27 Mei 2013, dengan total time step 2780 dan interval *time step* 900 detik. Pemodelan dilakukan dengan memperhitungkan

kondisi perairan yang bersifat barotropik dengan mempertimbangkan parameter lain sebagai input dalam pemodelan arus yaitu viskositas *Eddy*.

- e) Validasi hasil pemodelan dilakukan pada ketinggian muka air laut, dengan membandingkan pasang surut hasil pemodelan dengan data pasang surut hasil pengamatan *Pushidros AL*. Validasi dilakukan dengan menghitung kesalahan relatif yang menunjukkan tingkat kesalahan suatu data dalam persentase nilai. Model dapat dikatakan baik dan dapat diterima apabila kesalahan relatifnya kurang dari 1 dan mendekati 0.
- h) Pemodelan pola sebaran sedimen menggunakan parameter deskripsi erosi, *settling velocity*, *erosion coefficient*, dan *erosion critical shear stress*. Pemodelan juga menggunakan data debit air sungai yang bermuara di Teluk Benoa sebagai sumber sedimen yang berada di dalam teluk dan memberi nilai konsentrasi sedimen. Pemodelan dilakukan berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan kekal momentum.
- i) Hasil dari pemodelan sebaran sedimen pra dan paska reklamasi dianalisis dengan meninjau dari perubahan tingkat deposisi dan erosi sedimen pada perairan Teluk Benoa. Nilai deposisi dan erosi menunjukkan seberapa besar sedimen yang akan mengendap dan terkikis sehingga dapat berpotensi terjadi proses sedimentasi dan pendangkalan.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

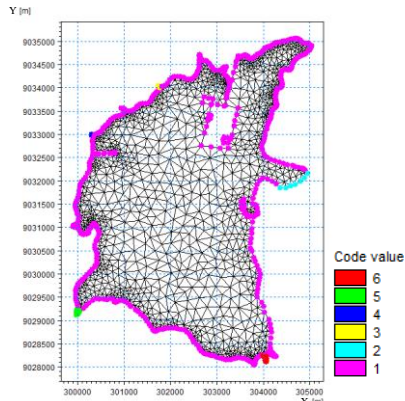
#### **4.1 Bidang Model**

##### **4.1.1. Pendefinisian Batas dan Kedalaman**

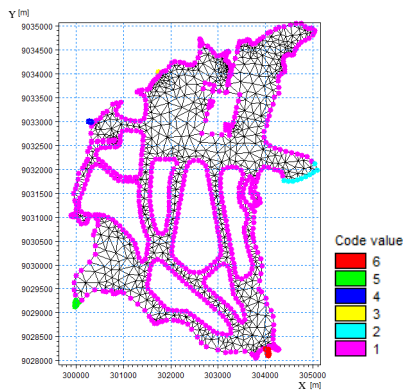
Untuk melakukan pemodelan hidrodinamika, diperlukan suatu bidang model yang telah ditentukan berdasarkan batas wilayah atau area yang akan dilakukan pemodelan. Bidang ini berupa sekumpulan titik-titik kedalaman yang dihubungkan sehingga membentuk jaring-jaring triangulasi (*mesh*). *Mesh* dibentuk dari data batimetri dan batas pemodelan (*boundary*). Batas pemodelan dibuat berdasarkan data garis pantai Teluk Benoa.

Batas pemodelan yang telah diplot didefinisikan untuk membedakan batas daratan, batas laut, dan batas pada muara sungai. Tahap ini dilakukan dengan memberi *code value* yang berbeda sesuai definisi batas pemodelan yang ditentukan. Dalam pendefinisian batas pemodelan Teluk Benoa, garis pantai di sepanjang Teluk Benoa dan pulau-pulau reklamasi didefinisikan sebagai batas daratan dengan *code 1*, mulut Teluk Benoa didefinisikan sebagai batas laut dengan *code 2*, dan *code 3, 4, 5, dan 6* masing-masing mendefinisikan muara Sungai Tukad Badung, Tukad Mati, Tukad Sama, dan Tukad Bualu. Data pasang surut Teluk Benoa akan diolah menjadi format data *time series (.dfs1)* yang nanti akan menjadi input *boundary conditions* pada batas laut (kode batas 2) dan data debit air sungai menjadi input pada batas muara sungai (kode batas 3,4,5,6). Tampilan *mesh* dan batas pemodelan yang telah didefinisikan dijelaskan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Pemodelan ini menggunakan data batimetri dan garis pantai Peta Batimetri Teluk Benoa, dengan sistem proyeksi *UTM* dalam zona 50S. Satuan koordinat yang digunakan adalah meter, dengan nilai kedalaman terhadap duduk tengah atau tinggi muka air laut rata-rata.



Gambar 4.1 *Mesh dan Boundary* Pra Reklamasi



Gambar 4.2 *Mesh dan Boundary* Paska Reklamasi

Tabel 4.1 Pendefinisian *Boundary*

<i>Code</i>	<i>Boundary</i>
1	Batas daratan
2	Batas laut
3	Batas muara sungai Tukad Badung
4	Batas muara sungai Tukad Mati
5	Batas muara sungai Tukad Sama
6	Batas muara sungai Tukad Bualu

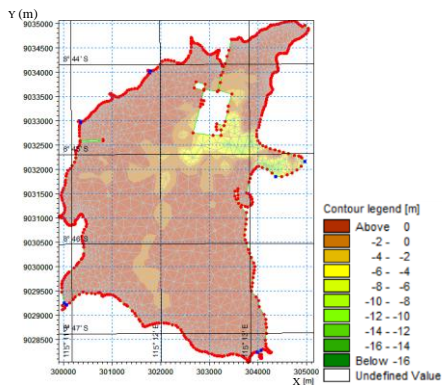
#### 4.1.2 Mesh

Data batimetri dan batas pemodelan yang telah didefinisikan akan dibangun menjadi jaring triangulasi (*mesh*). Terdapat beberapa parameter yang dimasukkan dalam membangun *mesh*, diantaranya:

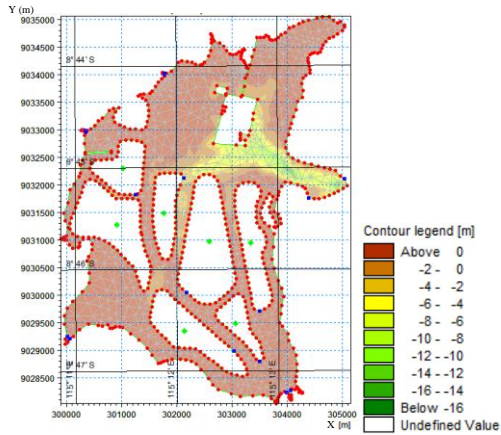
- a. Nilai luas maksimum terukur dalam bidang model tersebut adalah 36000 m<sup>2</sup>.
- b. Sudut minimum yang diijinkan antara dua sisi segitiga dalam jaring-jaring tersebut adalah 30°.
- c. Jumlah maksimum dari titik-titik yang dihubungkan adalah 100.000 titik.

*Mesh* yang telah dibangun lalu dianalisis dengan tujuan agar tidak terdapat jaring segitiga yang memiliki nilai sudut dibawah 30°. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari adanya *error* saat melakukan *running* model (*abnormal running*). Jika *mesh* sekiranya telah sesuai dengan parameter, maka dilanjutkan dengan proses interpolasi.

Interpolasi dilakukan untuk menentukan kedalaman diseluruh bidang model sesuai dengan *mesh* yang terbentuk. Interpolasi dilakukan dengan metode *natural neighbor*. Metode ini menggunakan teknik estimasi geometrik berdasarkan titik-titik kedalaman yang berdekatan. Hasil interpolasi menunjukkan kedalaman bidang model yang dibentuk, hasil interpolasi *mesh* ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Interpolasi Mesh Pra Reklamasi

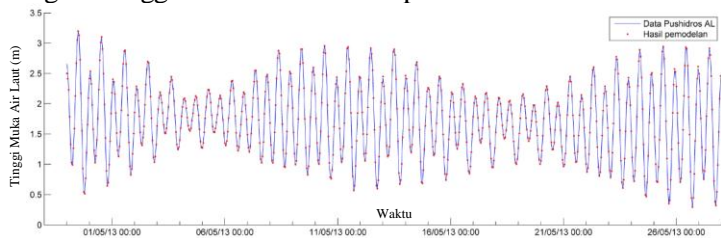


Gambar 4.4 Interpolasi *Mesh* Paska Reklamasi

## 4.2 Pemodelan Arus Pasang Surut

### 4.2.1. Analisa Pasang Surut

Pemodelan menggunakan data pasang surut hasil pengamatan oleh *Pushidros AL* tanggal 29 April 2013 hingga 27 Mei 2013 dengan interval pengamatan satu jam. Data pasang surut digunakan sebagai input dalam *boundary conditions* sebagai pembangkit pemodelan arus dan sedimen. Ketinggian muka air laut pada hasil simulasi akan divalidasi dengan data pasang surut *Pushidros AL*. Validasi dilakukan di titik stasiun pengamatan pasang surut yang berada di Dermaga Kepanduan Pelabuhan Benoa dengan posisi koordinat  $08^{\circ} 44' 40,74''$  LS dan  $115^{\circ} 12' 38,08''$  BT. Berikut hasil perbandingan data pasang surut hasil pengamatan *Pushidros AL* dengan ketinggian muka air laut hasil pemodelan:



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Pasang Surut

Tabel 4.2 Perbandingan ketinggian muka air laut

Waktu	Jam	Data Pasut	Hasil
		<i>Pushidros AL</i> (m)	Simulasi (m)
29/04/2013	01:00	2,51	2,41
29/04/2013	02:00	2,16	2,22
29/04/2013	03:00	1,72	1,78
29/04/2013	04:00	1,28	1,32
29/04/2013	05:00	0,99	1,03
...	...	...	...
27/05/2013	22:00	2,06	2,08
27/05/2013	23:00	2,43	2,45

Validasi pasang surut dilakukan dengan menghitung nilai *Root Mean Square Error (RMSE)*. Nilai *RMSE* merupakan nilai total dari residu dan menjadi ukuran tunggal dari kekuatan hasil model. Nilai *RMSE* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model,i})^2}{n}} \dots\dots\dots(4-1)$$

Dimana, *Xobs* menyatakan nilai observasi dan *Xmodel* adalah nilai model; sedangkan *n* adalah banyaknya populasi. Hasil pemodelan dapat dikatakan valid jika nilai *RMSE* kurang dari 1 dan mendekati 0.

Dengan jumlah populasi 696 dari banyaknya pengamatan, maka perhitungan nilai *RMSE* adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,32732176}{696}} = 0,02$$

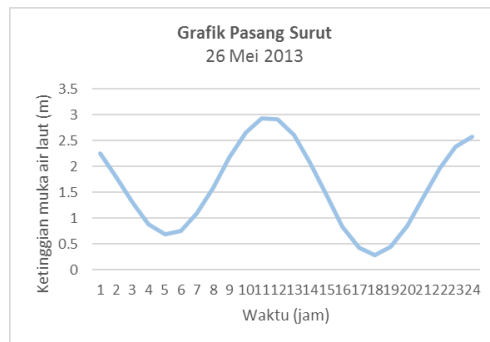
Dari perhitungan didapatkan bahwa nilai *RMSE* yaitu 0,02 dimana nilai *RMSE* kurang dari 1 dan mendekati 0, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pemodelan adalah cukup baik dan valid.

#### 4.2.2. Analisa Model Arus

Pemodelan hidrodinamik menghasilkan output simulasi pola aliran arus pasang surut. Pemodelan hidrodinamik dilakukan dengan metode numerik yang dibangkitkan dari gaya pasang surut. Model hidrodinamik disimulasikan dengan periode simulasi 29 April 2013 sampai 27 Mei 2013, dengan data *warming up* tiga hari yaitu pada 29 April 2013 sampai 1 Mei 2013, dan interval *time step* 900 detik.

Data batimetri dan pasang surut digunakan sebagai data input utama dengan gaya pembangkit debit air sungai yang bermuara di Teluk Benoa. Pemodelan dilakukan dengan memperhitungkan kondisi perairan yang bersifat barotropik dengan mempertimbangkan parameter lain sebagai input dalam pemodelan arus yaitu *viskositas Eddy*.

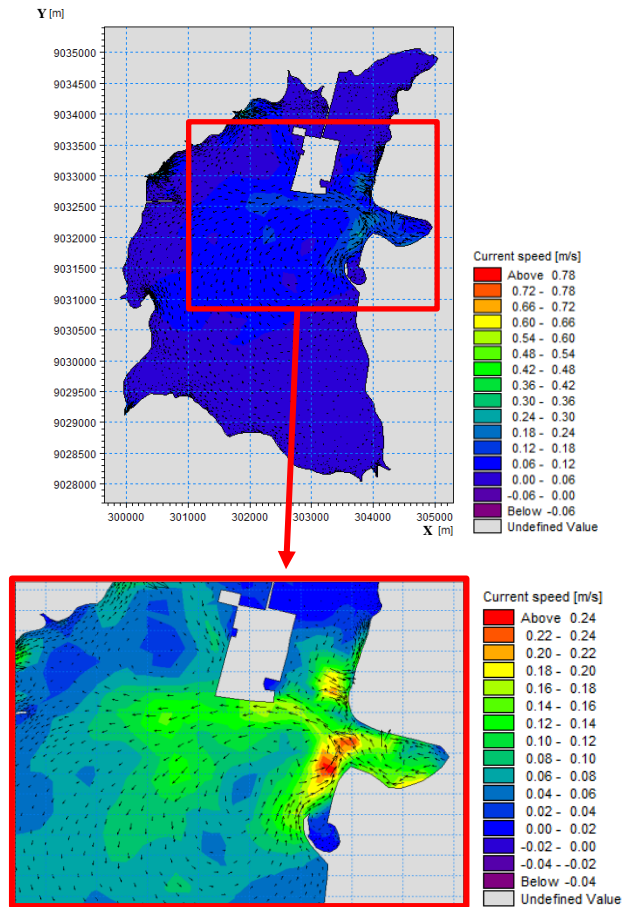
Analisa hasil pemodelan arus dilakukan dengan mengamati perubahan arah dan kecepatan arus yang terjadi pada pra dan paska reklamasi. Analisa arus dilakukan pada saat kondisi perairan pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang tertinggi terjadi pada tanggal 26 Mei 2013 pukul 10:15 dan surut terendah terjadi pada tanggal 26 Mei 2013 pukul 17:00.



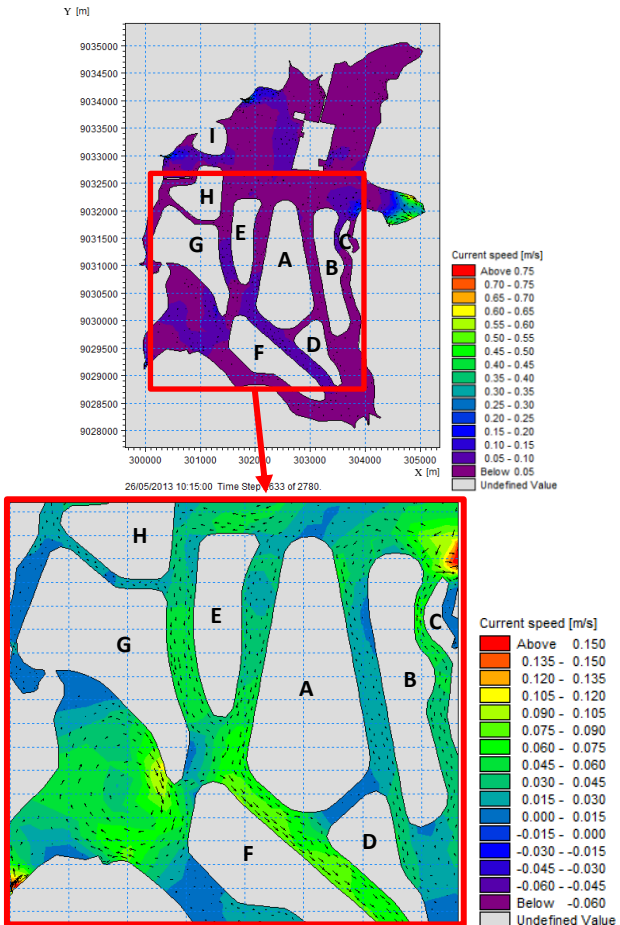
Gambar 4.6 Grafik Pasang Surut 26 Mei 2013

Berikut hasil pemodelan arus pada saat pasang tertinggi dan saat menuju surut terendah:

a. Arus Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4.7 Simulasi Arus Pra Reklamasi Kondisi Pasang Tertinggi



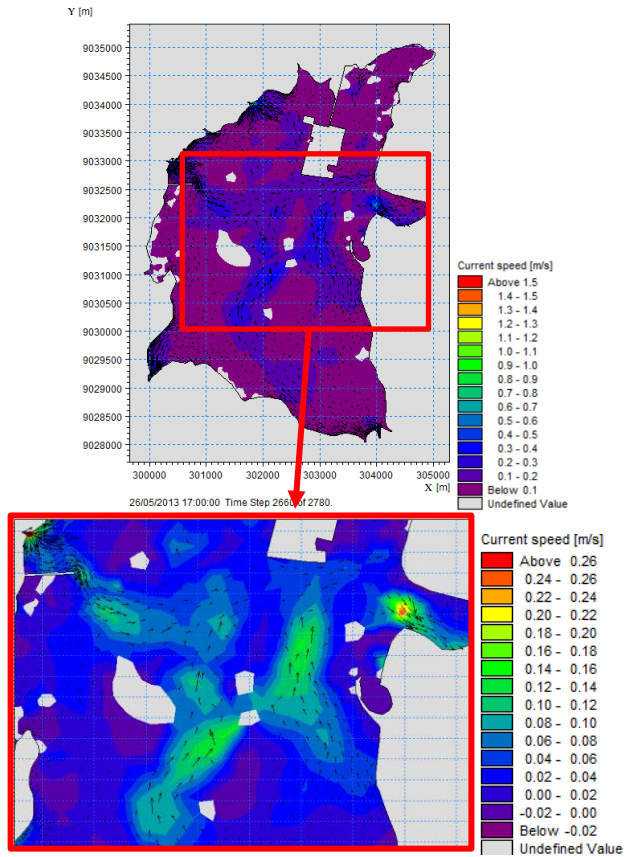
Gambar 4.8 Simulasi Arus Paska Reklamasi Kondisi Pasang Tertinggi

Pada kondisi pasang tertinggi, arus dari laut masuk melalui mulut teluk menuju kedalam teluk. Sehingga arus tertinggi terjadi pada mulut teluk yang mencapai 0,25 m/s. Pada paska reklamasi, pola arus mengalir mengikuti celah dari sisi pulau – pulau baru hasil reklamasi dan bertemu dengan

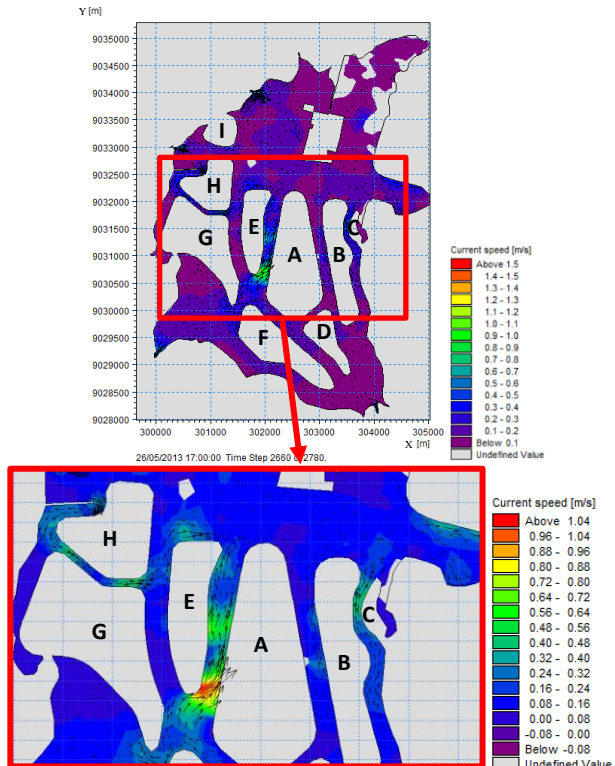


arus dari sungai di daerah muara. Pada Gambar 4.8 terlihat arus yang keluar dari sungai berputar akibat terhalang pulau reklamasi dan bertemu arus dari laut. Arus yang mengalir di celah-celah sisi pulau reklamasi maksimum mencapai 0,1 m/s.

b. Arus Kondisi Surut Terendah



Gambar 4.9 Simulasi Arus Pra Reklamasi Kondisi Surut Terendah



Gambar 4.10 Simulasi Arus Paska Reklamasi Kondisi Surut Terendah

Pada kondisi surut terendah, terdapat dasar perairan kering yang muncul diatas permukaan air. Pola arus menunjukkan arus didalam teluk mengalir menuju keluar kearah mulut teluk. Terjadi peningkatan arus pada celah sisi pulau reklamasi, dimana pada pasang tertinggi arus maksimum mencapai 0,1 m/s sedangkan pada surut terendah arus maksimum mencapai 1 m/s. Arus yang berada di tengah teluk juga meningkat akibat adanya pulau-pulau reklamasi yang mempersempit dan memperkecil volume perairan. Pada pra reklamasi, arus yang mengalir ditengah teluk maksimum mencapai

0,2 m/s, sedangkan pada paska reklamasi, arus yang mengalir di celah-celah sisi pulau reklamasi meningkat hingga 1 m/s.

### **4.3 Pemodelan Pola Sebaran Sedimen**

#### **4.3.1. Parameter Input Model**

Dalam simulasi model sebaran sedimen, diasumsikan konsentrasi sedimen yang berada di dalam teluk, berasal dari sungai-sungai yang bermuara di Teluk Benoa. Data debit yang digunakan sebagai input *boundary conditions* diasumsikan konstan dengan nilai debit yang didapat dari rata-rata debit maksimum per tahun dari tahun 1971 sampai 2010. Konsentrasi sedimen yang menjadi input pemodelan menggunakan data dari hasil pengukuran konsentrasi *TSS* oleh peneliti terdahulu (Rachman, 2016), dimana pengukuran dilakukan pada bulan Januari 2016. Dari hasil pengukuran konsentrasi *TSS* menunjukkan konsentrasi tertinggi berada di muara Tukad Mati dengan nilai mencapai 188,6 mg/l. Konsentrasi sedimen yang digunakan sebagai input pada setiap muara sungai diasumsikan sama dan konstan dengan nilai 188,6 mg/l.

Pemodelan sebaran sedimen disimulasikan dengan mempertimbangkan beberapa parameter-parameter sebagai berikut:

Tabel 4.3 Parameter Input Model Sebaran Sedimen

Parameter	Keterangan
<i>Erosion description</i>	<i>Soft mud (silt)</i>
<i>Settling velocity</i>	0,001
<i>Critical shear stress for deposition</i>	0,09 N/m <sup>2</sup>
<i>Critical shear stress for erosion</i>	0,1 N/m <sup>2</sup>

#### **4.3.2. Analisa Model Sebaran Sedimen**

Pemodelan sebaran sedimen dilakukan dengan metode simulasi numerik berdasarkan pada formula persamaan Adveksi – Dispersi (DHI, 2012) yang digunakan untuk

mendapatkan konsentrasi dari sebaran sedimen yang tersuspensi.

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( h D_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( h D_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S_c$$

.....(4-2)

dimana,

- $\bar{C}$  = Konsentrasi rata-rata kedalaman ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $u, v$  = Kecepatan aliran rata-rata kedalaman ( $\text{m}/\text{s}$ )  
 $D_x, D_y$  = Koefisien dispersi ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $h$  = Kedalaman air ( $\text{m}$ )  
 $S_c$  = Laju endapan (*deposition*) atau laju erosi (*erosion*) ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $Q_L$  = Sumber debit per unit horizontal area ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ )  
 $C_L$  = Konsentrasi dari sumber debit ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

Parameter-parameter input model pada tabel 4.3 digunakan untuk mendapatkan estimasi laju endapan ( $S_D$ ). Perhitungan tersebut menggunakan pendekatan *Krone* (DHI, 2012).

$$S_D = W_s C_b p_d \dots \dots \dots (4-3)$$

$$p_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} = \tau_b \leq \tau_{cd} \dots \dots \dots (4-4)$$

dimana,

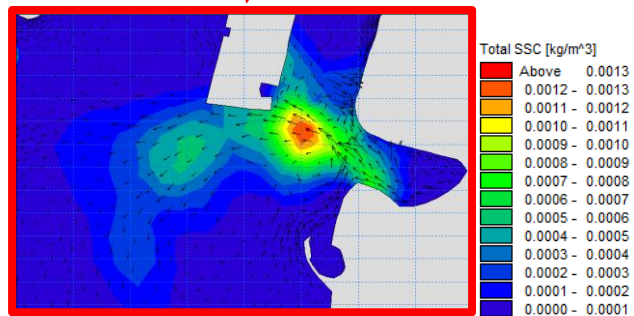
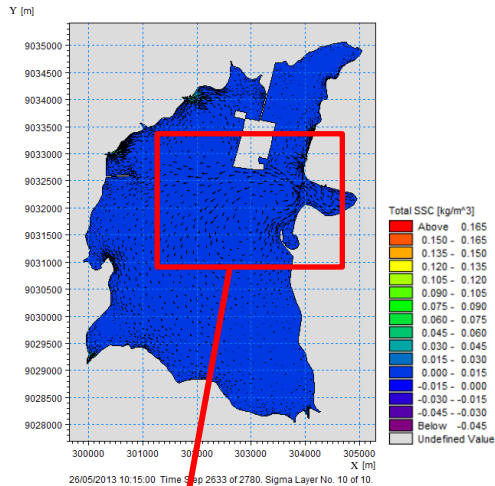
- $W_s$  = Kecepatan endapan (*settling*) ( $\text{m}/\text{s}$ )  
 $C_b$  = Konsentrasi dekat dasar (*near bed*) ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )  
 $p_d$  = Kemungkinan mengendap (*probability of deposition*)  
 $\tau_b$  = Gesekan dasar (*bed shear stress*) ( $\text{N}/\text{m}^2$ )  
 $\tau_{cd}$  = Gesekan dasar kritis untuk endapan (*critical bed shear stress for deposition*) ( $\text{N}/\text{m}^2$ ).

Hasil pemodelan sebaran sedimen dianalisis dari tingkat deposisi dan erosi. Nilai deposisi menunjukkan tingkat laju deposit / endapan sedimen disetiap detik. Sedangkan, nilai erosi menunjukkan tingkat laju erosi / pengikisan sedimen disetiap detik. Dengan mengetahui nilai deposisi dan erosi, maka dapat dianalisa area-area mana saja yang berpotensi terjadi sedimentasi dan akan mengakibatkan pendangkalan.

Hasil dari model sebaran sedimen ini yaitu pola sebaran sedimen tersuspensi dan sebaran laju deposisi dan laju erosi sedimen. Analisa model sebaran sedimen dilakukan dengan membandingkan pada pra dan paska reklamasi saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Dimana kondisi tersebut mewakili kondisi perairan pada saat arus tinggi dan arus rendah. Berikut hasil dari pemodelan sebaran sedimen di Teluk Benoa:

***a) Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Kondisi Pasang Tertinggi***

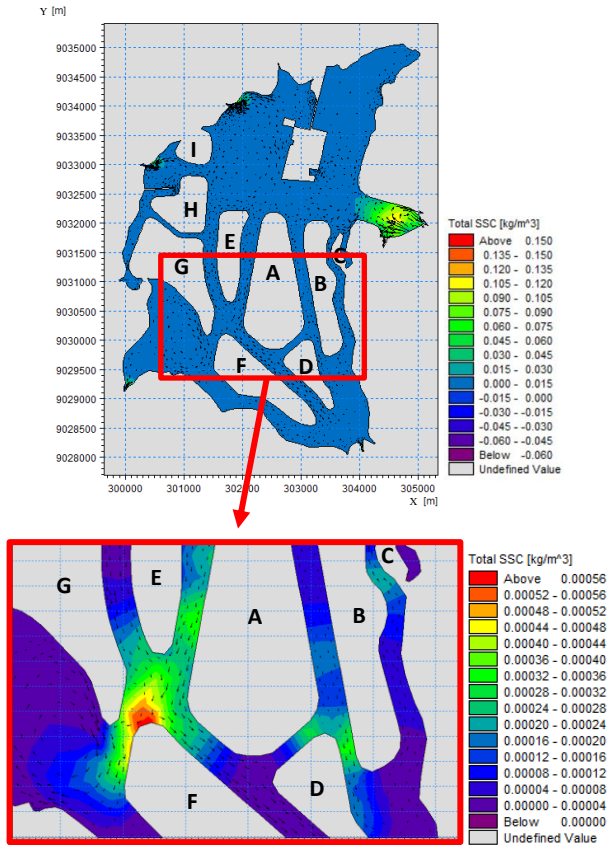
Pada pra reklamasi kondisi pasang tertinggi, rata-rata konsentrasi sedimen tersuspensi pada perairan yaitu dibawah 0,4 mg/l. Konsentrasi sedimen terbesar terletak pada sekitar muara-muara sungai dengan konsentrasi mencapai 0,1 kg/m<sup>3</sup>. Pada Gambar 4.11, terlihat arus dari mulut teluk masuk kedalam teluk kemudian berputar kembali menuju mulut teluk. Hal tersebut disebabkan arus yang datang dari laut mengalir kedalam teluk bertemu dengan arus dari sungai yang mengangkut material sedimen, sehingga arus kembali menuju mulut teluk dengan mengangkut material sedimen dari sungai. Maka, konsentrasi sedimen disekitar mulut teluk dan pelabuhan Benoa pun meningkat mencapai 0,09 mg/l.



Gambar 4.11 Pola Sebaran Sedimen Pra Reklamasi Pasang Tertinggi

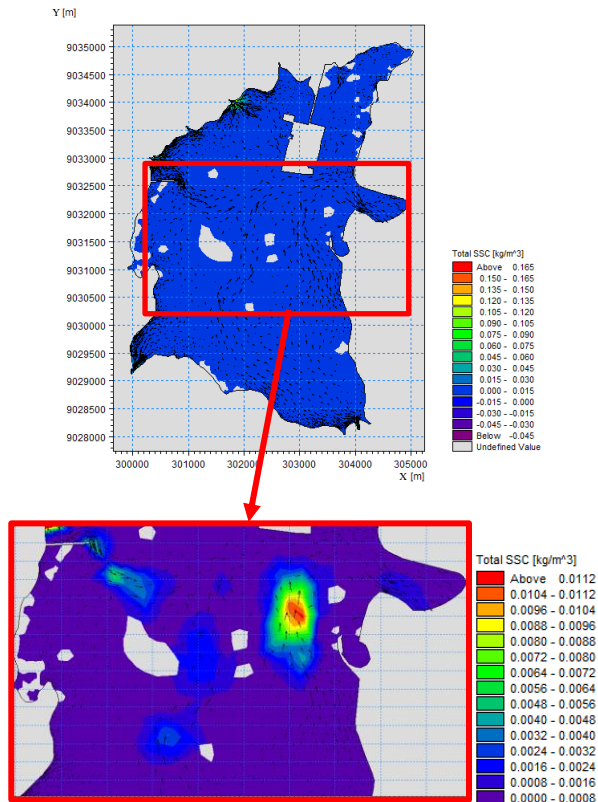
Pada paska reklamasi, arus yang datang dari mulut teluk mengalir masuk kedalam teluk melewati celah-celah dari sisi pulau-pulau baru hasil reklamasi. Arus tersebut bertemu dengan material sedimen yang terangkut oleh arus sungai Tukad Sama dan Tukad Bualu, sehingga konsentrasi sedimen meningkat disekitar sisi-sisi pulau-pulau reklamasi yang berdekatan dengan muara sungai tersebut. Seperti pada Gambar 4.12, material sedimen yang berasal dari sungai Tukad Sama terkena arus pasang, sehingga material sedimen

tersangkut di sisi-sisi pulau G dan F. Konsentrasi sedimen tertinggi mencapai 0,56 mg/l. Dari hasil tersebut, menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi setelah dilakukan reklamasi pada teluk benoa



Gambar 4.12 Pola Sebaran Sedimen Paska Reklamasi Pasang Tertinggi

***b) Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Kondisi Surut Terendah***

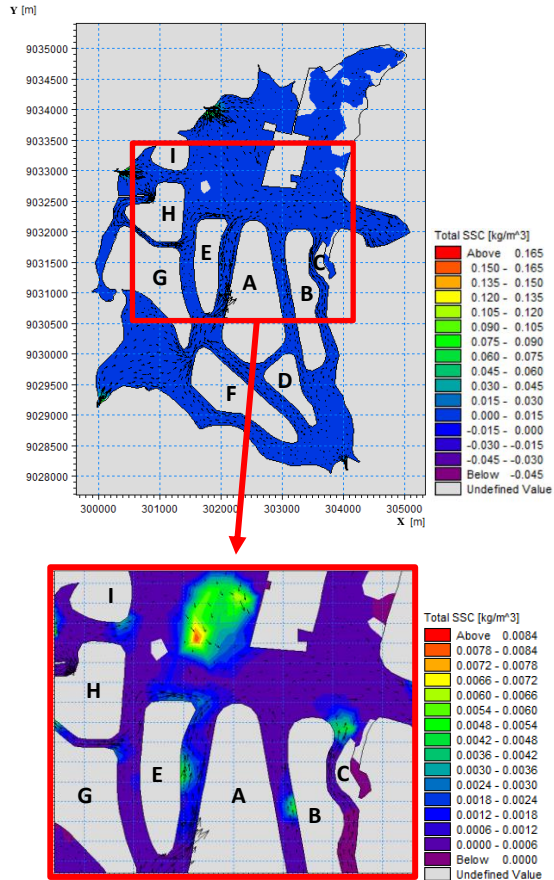


Gambar 4.13 Pola Sebaran Sedimen Pra Reklamasi Surut Terendah

Pada pra reklamasi kondisi surut terendah, arus dari sungai-sungai yang bermuara di teluk seluruhnya menuju keluar kearah mulut teluk, dengan konsentrasi sedimen rata-rata mencapai 0,8 mg/l. Konsentrasi sedimen terbesar terletak disekitar muara-muara sungai dengan nilai konsentrasi mencapai 0,1 kg/m<sup>3</sup>. Dari Gambar 4.13, terlihat sedimen yang dibawa dari arus sungai Tukad Mati dan Tukad Bualu bertemu di tengah teluk,



sehingga konsentrasi sedimen di tengah teluk meningkat hingga 11,2 mg/l.

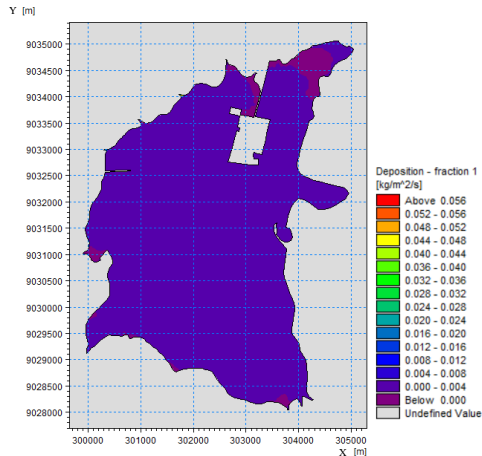


Gambar 4.14 Pola Sebaran Sedimen Paska Reklamasi Surut Terendah

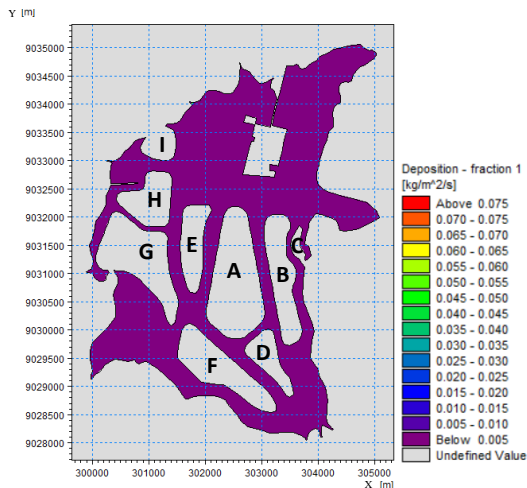
Pada paska reklamasi, sedimen yang terbawa dari sungai mengalir mengikuti pola arus melewati celah-celah dari sisi pulau-pulau baru hasil reklamasi. Dari Gambar 4.14, terlihat material sedimen yang berasal

dari sungai Tukad Mati dan Tukad Badung terbawa arus surut dan bertemu, sehingga terjadi peningkatan konsentrasi sedimen di area sekitar pelabuhan Benoa dan pulau I, dengan nilai konsentrasi maksimum mencapai 8,4 mg/l. Material sedimen yang terbawa arus surut dari sungai Tukad Mati dan Tukad Bualu pun tersangkut di sisi-sisi pulau E, pulau B, dan pulau C. Konsentrasi sedimen di area tersebut maksimum mencapai 6 mg/l. Dari hasil tersebut, menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi pada perairan Teluk Benoa khususnya ditengah teluk yang dibangun pulau-pulau reklamasi. Konsentrasi sedimen tersuspensi pada kondisi surut terendah pun meningkat jika dibandingkan dengan pada saat pasang tertinggi.

c) *Deposisi Sedimen Kondisi Pasang Tertinggi*

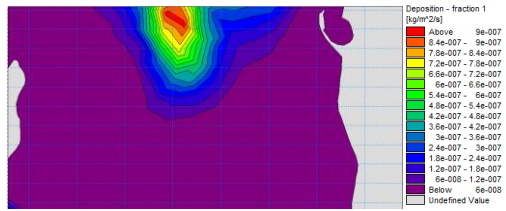


Gambar 4.15 Deposisi Sedimen Pra Reklamasi Pasang Tertinggi

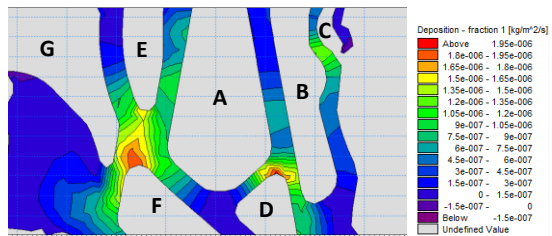


Gambar 4.16 Deposisi Sedimen Paska Reklamasi Pasang Tertinggi

Nilai deposisi sedimen pada pra dan paska reklamasi pasang tertinggi memiliki nilai dengan rentang  $0-5 \text{ g/m}^2/\text{s}$ . Pada paska reklamasi, deposisi tertinggi terjadi diantara pulau A-E-G-F, diantara pulau A-B-D, dan diantara pulau B dan C. Nilai deposisi tertinggi pada area tersebut mencapai  $1,95 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2/\text{s}$  (Gambar 4.18). Sedimen yang terdeposisi pada area tersebut merupakan sedimen yang berasal dari sungai Tukad Bualu dan Tukad Sama. Sedangkan pada pra reklamasi, nilai deposisi tertinggi berada ditengah perairan teluk mencapai  $9 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2/\text{s}$  (Gambar 4.17). Maka, dari hasil tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan nilai laju deposisi sedimen setelah dilakukan reklamasi pada Teluk Benoa.

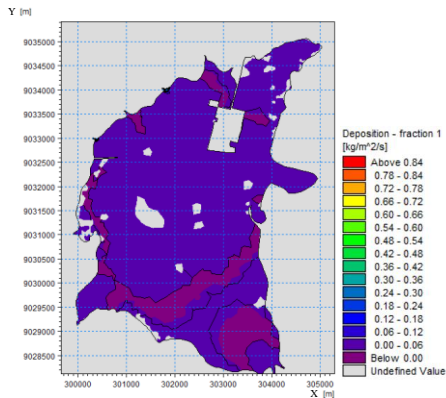


Gambar 4.17 Deposisi Sedimen Tertinggi Pra Reklamasi Pasang Tertinggi

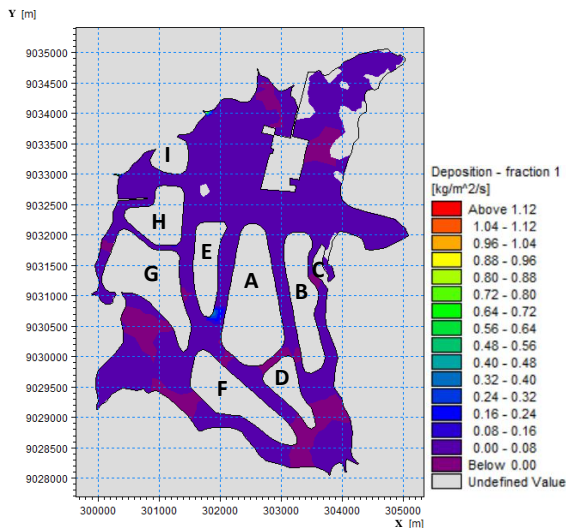


Gambar 4.18 Deposisi Sedimen Tertinggi Paska Reklamasi Pasang Tertinggi

**d) Deposisi Sedimen Kondisi Surut Terendah**



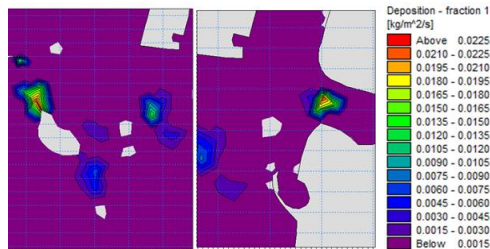
Gambar 4.19 Deposisi Sedimen Pra Reklamasi Surut Terendah



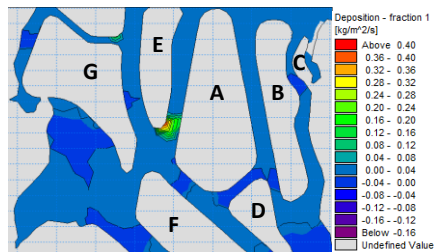
Gambar 4.20 Deposisi Sedimen Paska Reklamasi Surut Terendah

Nilai deposisi sedimen pada pra dan paska reklamasi surut terendah memiliki nilai rentang 0–0,08 kg/m<sup>2</sup>/s. Pada pra reklamasi, nilai deposisi tertinggi terjadi di sekitar dasar perairan yang kering di tengah perairan teluk dan disekitar mulut teluk (Gambar 4.21). Nilai deposisi tertinggi mencapai 0,02 kg/m<sup>2</sup>/s dengan rata-rata nilai deposisi direntang 0–0,001 kg/m<sup>2</sup>/s.

Pada paska reklamasi, nilai deposisi tertinggi terjadi diantara pulau A dan E, dengan nilai deposisi mencapai 0,4 kg/m<sup>2</sup>/s, dan nilai deposisi rata-rata direntang nilai 0–0,04 kg/m<sup>2</sup>/s (Gambar 4.22). Dari hasil tersebut, menunjukkan terjadi peningkatan nilai laju deposisi sedimen setelah dilakukan reklamasi pada Teluk Benoa. Nilai laju deposisi sedimen juga meningkat pada saat kondisi surut terendah jika dibandingkan dengan saat kondisi pasang tertinggi.



Gambar 4.21 Deposisi Sediment tertinggi Pra Reklamasi Kondisi Surut Terendah



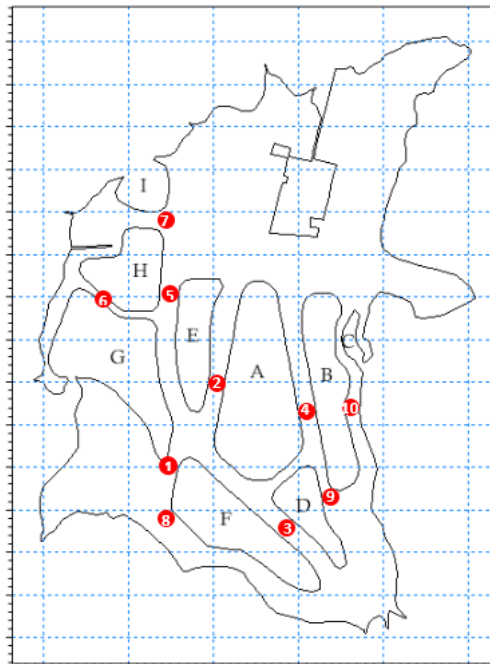
Gambar 4.22 Deposisi Sedimen Tertinggi Paska Reklamasi Kondisi Surut Terendah

#### 4.3.3. Analisa Dampak Reklamasi

Dari hasil pemodelan diatas, dapat ditunjukkan bahwa pulau-pulau baru hasil reklamasi menyebabkan peningkatan nilai laju deposisi sedimen pada perairan Teluk Benoa. Hal tersebut terjadi akibat material sedimen yang terbawa oleh pola aliran arus yang mengalir mengikuti celah dari sisi-sisi pulau-pulau reklamasi, terhalang oleh pulau-pulau tersebut.

Dari perbandingan hasil model sebaran sedimen pra dan paska reklamasi, dapat dianalisis terkait lokasi yang memiliki potensi akan terjadi proses sedimentasi dengan meninjau nilai laju deposisi tertinggi. Terjadinya proses sedimentasi pada suatu perairan juga dapat ditinjau dari nilai ketebalan lapisan dasar perairan (*bed thickness*). Tingkat ketebalan lapisan dasar merupakan salah satu indikator dari proses pengendapan sedimen.

Maka, dengan melakukan perbandingan rerata nilai laju deposisi dan laju erosi sedimen serta rerata ketebalan lapisan dasar perairan pada pra dan paska reklamasi, dapat terlihat perubahan yang terjadi setelah dilakukan reklamasi. Terdapat 10 titik lokasi yang berpotensi terjadi sedimentasi (Gambar 4.23), dan perbandingan rerata nilai laju deposisi dan laju erosi serta rerata ketebalan lapisan dasar dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.23 Titik Sampel Lokasi Yang Berpotensi Terjadi Sedimentasi

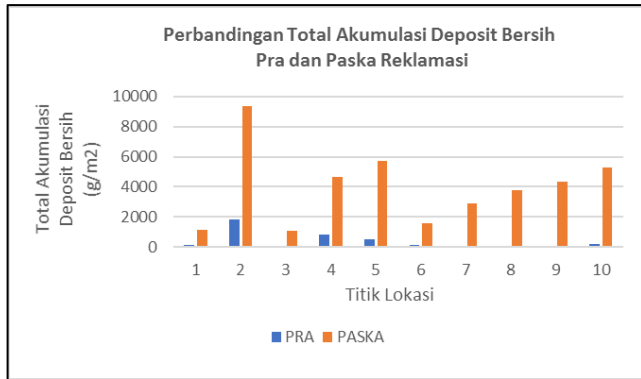
Tabel 4.4 Rerata Hasil Model Sedimen Pra Reklamasi

Titik	Laju Erosi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Laju Deposisi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Total Akumulasi Deposit Bersih (g/m <sup>2</sup> )	Ketebalan Lapisan Dasar (cm)
1	$3,24 \times 10^{-4}$	$3,24 \times 10^{-4}$	160,81	10,2
2	$7,42 \times 10^{-5}$	$7,56 \times 10^{-5}$	1841,17	10,9
3	$1,22 \times 10^{-6}$	$1,27 \times 10^{-6}$	48,49	10
4	$8,97 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-5}$	857,31	10,5
5	$1,01 \times 10^{-5}$	$1,05 \times 10^{-5}$	525,71	10,2
6	$1,46 \times 10^{-7}$	$2,89 \times 10^{-7}$	156,06	10
7	$1,66 \times 10^{-10}$	$6,26 \times 10^{-8}$	68,90	10
8	$2,05 \times 10^{-8}$	$8,51 \times 10^{-8}$	65,47	10
9	$1,94 \times 10^{-6}$	$1,91 \times 10^{-6}$	0,20	10
10	$4,39 \times 10^{-6}$	$5,02 \times 10^{-6}$	478,40	10,3

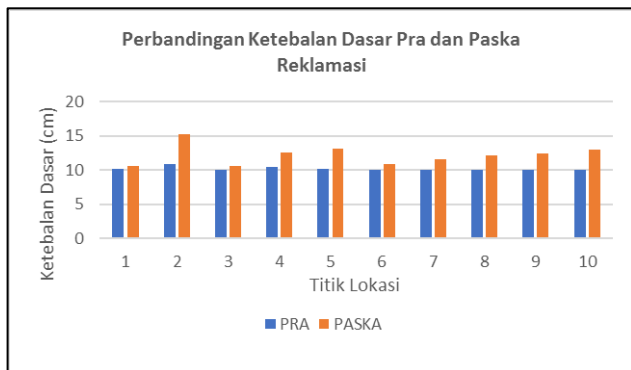
Tabel 4.5 Rerata Hasil Model Sedimen Paska Reklamasi

Titik	Laju Erosi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Laju Deposisi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Total Akumulasi Deposit Bersih (g/m <sup>2</sup> )	Ketebalan Lapisan Dasar (cm)
1	$3,47 \times 10^{-4}$	$3,49 \times 10^{-4}$	1120,3	10,6
2	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-4}$	9335,21	15,2
3	$7,72 \times 10^{-6}$	$8,91 \times 10^{-6}$	1079	10,6
4	$5,79 \times 10^{-5}$	$6,15 \times 10^{-5}$	4662,9	12,6
5	$6,01 \times 10^{-6}$	$9,87 \times 10^{-6}$	5719,77	13,1
6	$3,56 \times 10^{-6}$	$4,87 \times 10^{-6}$	1568,87	10,9
7	$4,89 \times 10^{-5}$	$5,14 \times 10^{-5}$	2876,24	11,6
8	$1,33 \times 10^{-5}$	$1,59 \times 10^{-5}$	3772,21	12,1
9	$3,98 \times 10^{-5}$	$4,26 \times 10^{-5}$	4355,55	12,4
10	$1,34 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-5}$	2536,94	13,2





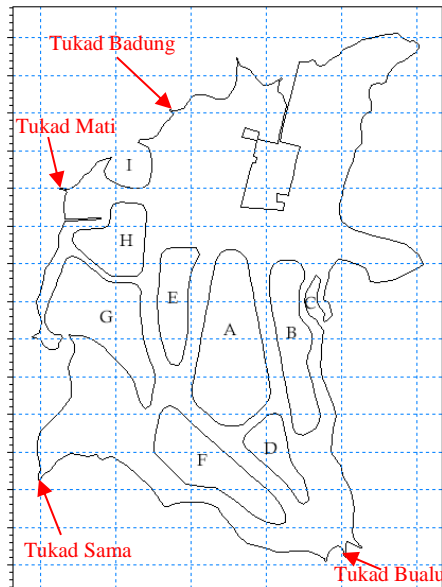
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Total Akumulasi Deposit Bersih



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Ketebalan Dasar

Dari perbandingan tabel dan grafik diatas, menunjukkan pada paska reklamasi terjadi peningkatan deposit sedimen dan ketebalan dasar perairan. Nilai deposit bersih terbesar terjadi pada titik 2 dengan nilai deposit mencapai 9335,21 g/m<sup>2</sup>, dimana titik tersebut berada diantara pulau A dan E. Besarnya nilai deposit sedimen pada titik 2, mengakibatkan area pada titik tersebut memiliki ketebalan dasar perairan hingga 15,2 cm.

Mengingat bahwa sumber sedimen pada pemodelan yaitu berasal dari angkutan aliran sungai, maka mulut sungai atau muara menjadi tempat penumpukannya material-material sedimen yang dibawa dari daratan menuju perairan teluk. Sehingga, proses sedimentasi yang terjadi di mulut sungai pun terjadi begitu cepat, dan mengakibatkan terbentuknya delta di setiap mulut sungai. Hasil pemodelan menunjukkan tingkat sedimentasi pada mulut sungai begitu besar dan menyebabkan pendangkalan yang begitu cepat. Sedimentasi tertinggi terjadi pada mulut sungai Tukad Sama dengan rata-rata total akumulasi deposit bersih mencapai  $289 \text{ kg/m}^2$  pada paska reklamasi. Hasil model sedimen pada mulut sungai dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dan perbandingan saat pra dan paska pada grafik Gambar 4.27 dan gambar 4.28.



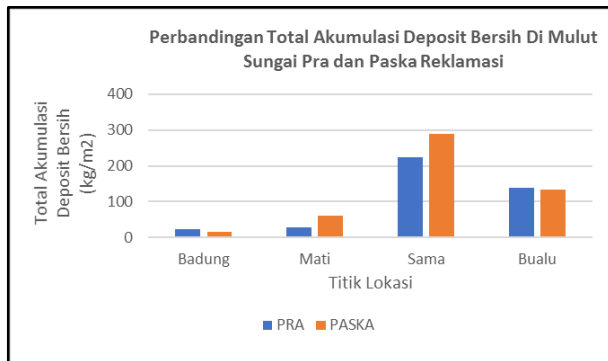
Gambar 4.26 Lokasi Mulut Sungai di Teluk Benoa

Tabel 4.6 Rerata Hasil Model Sedimen Di Mulut Sungai Pra Reklamasi

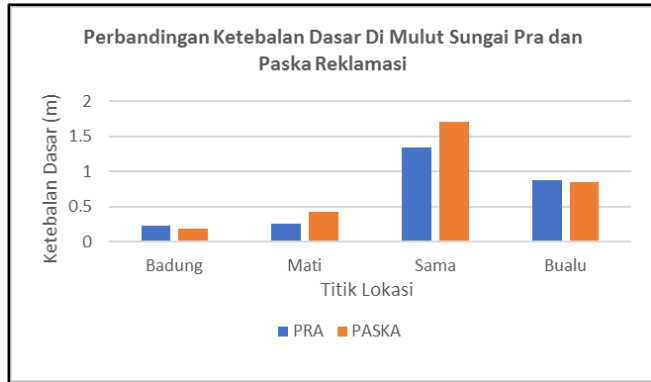
Sungai	Laju Erosi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Laju Deposisi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Total Akumulasi Deposit Bersih (kg/m <sup>2</sup> )	Ketebalan Lapisan Dasar (m)
Tukad Badung	0,68	0,68	24,23	0,23
Tukad Mati	0,54	0,54	27,97	0,25
Tukad Sama	$0,18 \times 10^{-2}$	$0,19 \times 10^{-2}$	222,88	1,34
Tukad Bualu	0	$0,1 \times 10^{-3}$	139,09	0,87

Tabel 4.7 Rerata Hasil Model Sedimen Di Mulut Sungai Paska Reklamasi

Sungai	Laju Erosi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Laju Deposisi (kg/m <sup>2</sup> /s)	Total Akumulasi Deposit Bersih (kg/m <sup>2</sup> )	Ketebalan Lapisan Dasar (m)
Tukad Badung	0,74	0,74	15,98	0,19
Tukad Mati	0,40	0,40	60,18	0,43
Tukad Sama	$0,19 \times 10^{-2}$	$0,21 \times 10^{-2}$	288,97	1,70
Tukad Bualu	0	$9,88 \times 10^{-5}$	133,88	0,84



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Total Akumulasi Deposit Bersih Di Mulut Sungai



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Ketebalan Dasar Di Mulut Sungai

Hasil pemodelan diatas merupakan prediksi dari dampak reklamasi di Teluk Benoa dalam periode 29 hari, yang menunjukkan adanya perubahan yang terjadi paska dilakukannya reklamasi di Teluk Benoa. Sedimentasi di perairan Teluk Benoa pada paska reklamasi cenderung meningkat yang mengakibatkan peningkatan ketebalan lapisan dasar perairan, sehingga terjadi pendangkalan.

Hasil dari pemodelan ini memberikan gambaran prediksi yaitu pada paska reklamasi akan terjadi peningkatan deposit bersih sedimen mencapai  $7,5 \text{ kg/m}^2$  di tengah perairan teluk dan  $66 \text{ kg/m}^2$  di mulut sungai pada setiap 29 hari. Peningkatan deposit sedimen menyebabkan terjadinya peningkatan ketebalan lapisan di tengah perairan teluk mencapai 4,3 cm dan di mulut sungai mencapai 36 cm pada setiap 29 hari. Kondisi sebaran sedimen di Teluk Benoa sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surutnya, sehingga untuk mengetahui kondisi sebaran sedimen dengan periode yang lebih lama, maka diperlukan melakukan pemodelan dengan periode data pasang surut yang lebih panjang.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pola sebaran sedimen pada perairan Teluk Benoa mengalami perubahan pada saat paska reklamasi. Pada paska reklamasi kondisi surut terendah, terjadi peningkatan konsentrasi *TSS* pada sisi-sisi pulau reklamasi, dengan nilai mencapai 6 mg/l. Sedangkan pada pra reklamasi, konsentrasi *TSS* pada perairan Teluk Benoa rata-rata dibawah 0,8 mg/l. Perubahan sebaran sedimen pada paska reklamasi mengakibatkan adanya peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi pada perairan teluk dan peningkatan nilai laju deposisi serta laju erosi. Peningkatan laju deposisi merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya proses sedimentasi dan pendangkalan.

Hasil pemodelan menunjukkan, pada saat paska reklamasi terdapat banyak area yang mengalami deposisi dan erosi sedimen, terutama pada perairan yang berada diantara sisi-sisi pulau baru hasil reklamasi. Nilai laju deposisi dan erosi sedimen terbesar yaitu mencapai  $3,49 \times 10^{-4}$  kg/m<sup>2</sup>/s dan  $3,47 \times 10^{-4}$  kg/m<sup>2</sup>/s, dimana area tersebut berada di antara pulau G dan F. Sedangkan, total akumulasi deposit bersih terbesar mencapai 9335,21 g/m<sup>2</sup> yang berada di antara sisi pulau A dan E, sehingga menyebabkan pendangkalan yang ditunjukkan dengan meningkatnya ketebalan lapisan dasar mencapai 15,2 cm.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Data yang digunakan sebaiknya lebih lengkap dan akurat sesuai kondisi eksisting Teluk Benoa pada saat ini, seperti data debit muara sungai harian, data gelombang, data angin, data curah hujan, data salinitas, dan data *TSS* di setiap muara sungai dengan periode yang lebih lama.

- 2) Untuk menganalisis dampak dari reklamasi yang akan dilakukan, sebaiknya dalam melakukan pemodelan pada paska reklamasi menggunakan data-data kondisi perairan yang akan direncanakan, agar hasil analisis dampak reklamasi lebih akurat. Misalnya, menggunakan data rencana kedalaman perairan pada paska reklamasi (akan dilakukan pengerukan).
- 3) Sebaiknya dilakukan validasi arus dan *TSS* di dalam teluk dan disetiap muara sungai, agar hasil dari pemodelan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Mega., dkk. (2013). Dampak Reklamasi Lingkungan Perairan : Studi Kasus Teluk Benoa, Bali, Indonesia. Universitas Padjajaran. Bandung, Indonesia.
- Blondeaux, Paolo. (2012). *Sediment Transport at The Bottom Of Sea Waves*. Journal of Fluid Mechanics, 697,115-149
- Damanik, J. R. (2016). Simulasi Model Arus Dan Sebaran Sedimen Untuk Mendukung Keamanan Alur Layar Kapal (Studi Kasus : Alur Pelayaran Barat Surabaya). Teknik Geomatika ITS, Surabaya.
- DHI. (2012). *Mud Transport Module*. MIKE 3 Flow Model. Denmark.
- Dronkers, J., Van Leussen. W. (1988). *Physical Processes in Estuaries*. ISBN 3-540-1966-2, ISBN 0-387-1966-2.
- Kramadibrata, Soedjono. (1985) . Perencanaan Pelabuhan. Bandung: Ganesa Exact
- Made Narayana Adibhusanaa, I. G. (2016). Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung, Bali. Journal of Marine and Aquatic Sciences 2 , 54-59 (2016), 54-59.
- Noya, Yunita. A., dkk. (2016). Pemodelan Transpor Sedimen Kohesif Pada Teluk Ambon Dalam. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK – ITB. Bandung, Indonesia.
- Parchure, T.M and A.J. Mehta. (1985). *Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposits*. J. of Hydrauluc Engineering ASCE 11 (10):1308-1326.
- Pradana. R. A. (2016) Pemodelan Aliran Material Sedimen Akibat Arus Pasang Surut Untuk Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak Teluk Lamong, Surabaya). Teknik Geomatika ITS, Surabaya.

- Poerbandono dan Djunarsjah, Eka. (2005). *Survey Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- Rachman, H.A. (2016). *Studi Transpor Sedimen di Perairan Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik Tiga Dimensi*. Skripsi Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana. Indonesia.
- Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 52 Tahun 2011 Tentang Pengerukan Dan Reklamasi*. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia No 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau – Pulau Kecil*. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Presiden Republik Indonesia No 45 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Denpasar, Badung, Gianyar, dan Tabanan*. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Presiden Republik Indonesia No 51 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden No 45 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Denpasar, Badung, Gianyar, dan Tabanan*. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Savitri, D. (2010). *Simulasi Sebaran Sedimen Terhadap Ketinggian Gelombang*. *Jurnal Teknik Waktu* Volume 8 Nomer 2.
- Sudiarta, K., dkk. (2013). *Kajian Modeling Dampak Perubahan Fungsi Teluk Benoa Untuk Sistem Pendukung Keputusan Dalam Jejaring KKP Bali*. Conservation International, Indonesia.
- Sugianto, D. N. (2009). *Simulasi Model Transpor Sedimen Tersuspensi Untuk Mendukung Perencanaan Pelabuhan Teluk Bayur, Sumatera Barat*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol.5, No. 2, Desember 2009, pp. 46-54, 46-54.
- Triatmodjo, Bambang. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada



Umar. (2000). Kajian Karakteristik dan Simulasi Numerik Perubahan Elevasi Dasar Saluran Untuk Kasus Sedimen Kohesif. Tesis Magister Jurusan Teknik Sipil – ITB, Bandung.

Van Rijn, L.C. (1984). *Sediment Transport*. ASCE J. Hydraulic Engineering

Wisnu Suharto. (1996). Reklamasi Pantai dalam Perspektif Tata Air. Semarang: Unika Soegijapran.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**LAMPIRAN I**

**PETA BATIMETRI TELUK BENOA**

**Sumber : Pusat Hidro-Oceanografi TNI-AL & PT. Tirta  
Wahana Bali Internasional**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

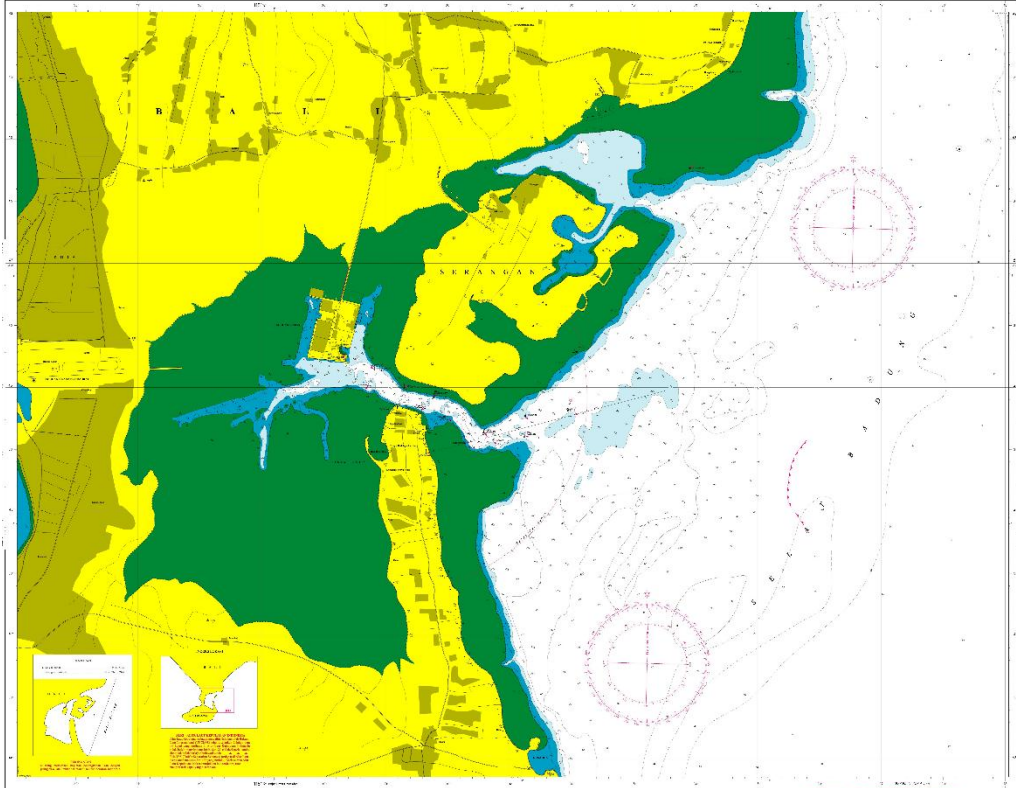
VZ9C

KEDALAMAN DISEBUT DENGAN METER

INDONESIA  
KEMENTERIAN PERTAHANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PEMERINTAHAN MILITER  
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PERIKANAN

INDONESIA  
BALI - PUNTAH PENGARAH  
ALUR PELAYARAN PELABUHAN BENOA  
SKALA 1 : 15 000 (1:50 000 I.P.S.)

PROJEKSI : UTM  
MERIDIAN : 115° 00' 00" B  
DATUM : WGS 84  
ZONA : 48 S  
KEMENTERIAN PERTAHANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PEMERINTAHAN MILITER  
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PERIKANAN



NO. 1000 - 1001  
KEMENTERIAN PERTAHANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PEMERINTAHAN MILITER  
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PERIKANAN

115° 00' 00" B

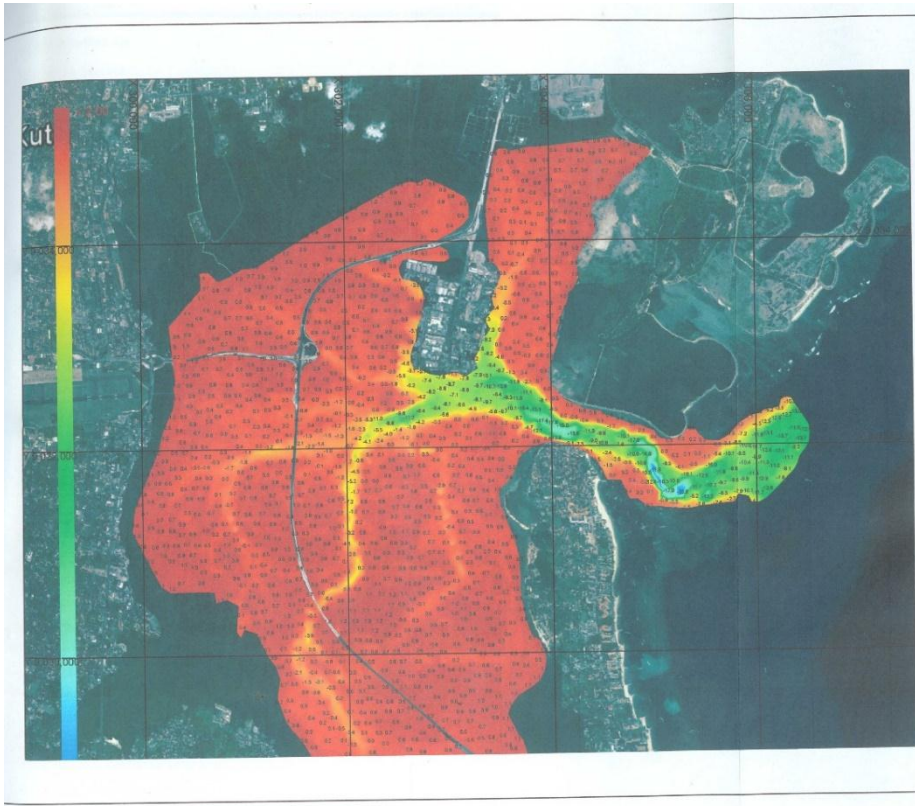
INDONESIA  
KEMENTERIAN PERTAHANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PEMERINTAHAN MILITER  
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN  
DIREKTORAT JENDERAL PERIKANAN

115° 00' 00" B

KEDALAMAN DISEBUT DENGAN METER

262A

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**PT. Tirta Wahana Bali Internasional**

KAJIANDIL  
RENCANA KEGIATAN RESTORASI TELUK BENOA DAN  
PENAMBANGAN PASIR LAUT

Gambar 2.70:

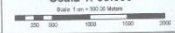
Peta Bathimetri Teluk Benoa



Key Plan



Scala 1: 30.000



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**LAMPIRAN 2**

**DATA PASANG SURUT**

**Sumber : Pusat Hidro-Oseanografi TNI-AL**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DATA PASANG SURUT

LOKASI PENGAMATAN : DERMAGA KEPANDUAN

LINTANG : 08° 44' 40.74" S

WAKTU TOLOK : GMT + 8

DI AMATI OLEH : TIDE GAUGE VALEPORT 740

BUJUR : 115° 12' 38.08" T

WAKTU PENGAMATAN : 29 APRIL S.D 27 MEI 2013

JAM TGL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
29	266	251	217	173	128	100	98	127	160	210	264	302	319	311	269	213	150	89	53	52	78	121	168	212
30	243	253	232	196	155	121	102	114	141	177	226	274	301	310	289	247	195	139	86	64	70	100	140	181
1	216	238	236	214	181	148	120	111	129	154	191	231	267	287	288	264	224	178	133	95	82	92	118	151
2	183	212	227	223	203	176	150	133	130	144	163	200	233	257	270	267	243	210	174	137	110	103	113	133
3	163	189	208	218	213	200	182	162	150	150	159	176	195	218	234	244	238	223	202	177	150	130	123	127
4	140	160	180	195	207	209	204	191	175	162	156	154	159	172	184	198	206	213	209	196	179	155	135	127
5	126	135	153	177	195	212	223	223	216	200	178	160	152	152	159	169	182	196	208	213	207	191	171	149
6	133	130	138	154	177	201	222	237	238	225	202	177	149	128	121	128	147	166	187	208	218	216	195	171
7	146	125	119	129	151	180	211	237	255	255	236	207	171	133	107	102	113	137	181	218	242	248	234	203
8	164	128	104	101	119	154	200	244	276	288	282	254	211	163	121	95	95	118	156	199	234	253	250	227
9	189	148	114	98	105	134	177	226	267	290	290	266	223	171	124	92	82	97	131	175	219	249	259	246
10	213	171	131	104	99	118	156	204	251	285	296	282	245	194	142	100	78	77	91	116	162	202	230	242
11	226	193	155	121	102	109	130	170	220	255	292	294	272	234	181	124	78	56	65	98	141	187	222	245
12	243	218	182	146	114	104	118	151	196	242	276	292	282	254	206	153	100	64	60	74	114	161	201	232
13	243	228	197	161	127	111	114	129	176	220	257	286	290	279	236	187	134	83	67	74	101	146	190	223
14	244	241	219	188	153	126	118	132	162	203	240	264	269	256	207	153	101	70	69	91	126	165	197	221
15	226	224	210	183	152	126	113	117	138	169	203	231	245	242	220	185	145	108	82	73	83	108	142	176
16	203	217	216	200	175	149	130	124	132	153	180	208	227	233	224	200	168	133	104	87	84	96	121	151
17	180	202	212	209	195	174	153	138	134	142	160	182	203	216	218	208	187	159	131	107	94	94	106	127
18	154	180	199	210	209	199	181	162	147	141	144	156	173	190	203	205	198	182	159	135	114	101	99	108
19	127	152	177	199	213	216	209	194	174	155	142	137	142	155	172	188	197	197	186	168	145	122	106	99
20	105	123	148	177	203	222	229	223	205	181	155	134	123	124	136	157	179	196	202	196	179	153	126	105
21	95	99	118	148	183	215	237	245	236	212	179	145	117	103	104	121	148	178	202	213	208	188	157	124
22	98	86	93	117	154	195	233	256	261	245	211	168	126	94	80	87	112	148	186	215	227	220	194	156
23	117	88	77	88	120	165	213	253	275	273	247	203	151	103	70	61	75	110	155	199	230	241	227	194
24	150	107	78	71	89	129	181	233	272	289	277	241	187	128	78	49	47	71	115	168	215	245	250	229
25	189	140	96	70	70	96	143	200	252	287	295	273	227	166	105	57	35	41	75	126	182	229	254	253
26	226	180	130	89	69	76	109	160	217	266	293	291	261	207	144	84	43	29	45	85	140	196	239	258
27	250	218	171	123	87	74	88	125	177	231	272	290	279	242	186	124	70	38	32	55	100	154	206	243

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**LAMPIRAN 3**

**DATA DEBIT AIR SUNGAI**

**Sumber : PT. Tirta Wahana Bali Internasional**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

Tahun	Debit sungai maksimum tahunan (m <sup>3</sup> /s)			
	Tukad Mati	Tukad Badung	Tukad Sama	Tukad Bualu
1971	12,49	15,41	7,78	2,67
1972	19,71	24,3	12,27	4,21
1973	51,94	64,06	32,35	11,08
1975	86,85	107,1	54,09	18,53
1976	40,25	49,64	25,07	8,59
1977	38,75	47,78	24,13	8,27
1978	80,5	99,28	50,14	17,18
1979	27,22	33,57	16,96	5,81
1980	36,07	44,49	22,47	7,7
1981	55,11	67,97	34,33	11,76
1982	4,53	5,58	2,82	0,97
1983	20,54	25,33	12,79	4,38
1984	38,41	47,37	23,92	8,2
1985	32,23	39,75	20,08	6,88
1986	13,73	16,93	8,55	2,93
1987	10,19	12,56	6,35	2,17
1988	16,87	20,8	10,51	3,6
1990	24,88	30,69	15,5	5,31
1991	35,07	43,25	21,84	7,48
1992	54,61	67,35	34,01	11,65
1993	57,29	70,65	35,68	12,22
1994	68,47	84,45	42,65	14,61
1995	26,22	32,34	16,33	5,6
1996	33,75	41,63	21,02	7,2
1997	29,06	35,84	18,1	6,2

Tahun	Debit sungai maksimum tahunan (m <sup>3</sup> /s)			
	Tukad Mati	Tukad Badung	Tukad Sama	Tukad Bualu
1998	13,28	16,37	8,27	2,83
1999	20,46	25,23	12,74	4,37
2000	70,94	87,48	44,18	15,14
2001	88	108,52	54,18	18,78
2002	70,94	87,48	44,18	15,14
2003	36,37	44,85	22,65	7,76
2004	36,37	44,85	22,65	7,76
2005	65,03	80,2	40,51	13,88
2006	9,17	11,31	5,71	1,96
2007	10,04	12,38	6,25	2,14
2008	10,04	12,38	6,25	2,14
2009	54,36	67,04	33,86	11,6
2010	70,94	87,48	44,18	15,14
Rata-rata	38,70210526	47,72868421	24,08815789	8,258947368



**LAMPIRAN 4**  
**DATA KOORDINAT RENCANA REKLAMASI**

**Sumber : PT, Tirta Wahana Bali Internasional**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU A	A1	302095,013	9030115,474
	A2	302035,598	9030195,005
	A3	302013,408	9030291,749
	A4	302026,620	9030390,663
	A5	302044,602	9030489,033
	A6	302062,584	9030587,403
	A7	302080,566	9030685,773
	A8	302098,5479	9030784,143
	A9	302116,5297	9030882,513
	A10	302134,5115	9030980,883
	A11	302152,4933	9031079,253
	A12	302170,4751	9031177,623
	A13	302188,4568	9031275,993
	A14	302206,4386	9031374,362
	A15	302224,4204	9031472,732
	A16	302242,4022	9031571,102
	A17	302260,384	9031669,472
	A18	302278,3657	9031767,842
	A19	302296,3475	9031866,212
	A20	302314,3293	9031964,582
	A21	302337,5776	9032061,579
	A22	302395,9225	9032141,704
	A23	302483,4984	9032188,141
	A24	302582,5815	9032191,325
	A25	302672,9821	9032150,677
	A26	302736,41	9032074,506
	A27	302763,0695	9031978,595

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU A	A28	302781,0513	9031880,225
	A29	302799,0331	9031781,855
	A30	302817,0149	9031683,485
	A31	302834,9966	9031585,115
	A32	302852,9784	9031486,745
	A33	302870,9602	9031388,375
	A34	302888,942	9031290,005
	A35	302906,9238	9031191,635
	A36	302924,9056	9031093,265
	A37	302942,8873	9030994,895
	A38	302960,8691	9030896,525
	A39	302978,8509	9030798,155
	A40	302996,8327	9030699,785
	A41	303014,8145	9030601,415
	A42	303032,7962	9030503,045
	A43	303050,778	9030404,675
	A44	303066,377	9030305,987
	A45	303049,9586	9030208,099
	A46	302995,3622	9030125,19
	A47	302920,4783	9030058,925
	A48	302845,301	9029992,982
	A49	302770,1237	9029927,04
	A50	302691,1253	9029866,281
	A51	302594,5008	9029844,791
A52	302494,5008	9029844,791	
A53	302396,9761	9029862,348	
A54	302316,6336	9029921,078	

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU A	A55	302241,4563	9029987,02
	A56	302166,279	9030052,963
PULAU B	B1	303493,5841	9029715,395
	B2	303402,7627	9029749,797
	B3	303364,0982	9029839,78
	B4	303346,1165	9029938,15
	B5	303328,1347	9030036,52
	B6	303310,1529	9030134,89
	B7	303292,1711	9030233,26
	B8	303274,1893	9030331,63
	B9	303256,2076	9030430
	B10	303238,2258	9030528,37
	B11	303220,244	9030626,74
	B12	303202,2622	9030725,11
	B13	303184,2804	9030823,48
	B14	303166,2986	9030921,85
	B15	303148,3169	9031020,22
	B16	303130,3351	9031118,59
	B17	303112,3533	9031216,96
	B18	303094,3715	9031315,33
	B19	303076,3897	9031413,7
	B20	303058,408	9031512,07
	B21	303046,5381	9031611,228
	B22	303046,3154	9031711,226
	B23	303046,3154	9031811,226
	B24	303055,7036	9031910,265

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU B	B24	303055,7036	9031910,265
	B25	303108,0271	9031994,255
	B26	303194,2109	9032042,869
	B27	303293,5938	9032049,84
	B28	303392,4527	9032039,533
	B29	303474,3771	9031984,261
	B30	303517,4928	9031895,339
	B31	303510,1183	9031796,772
	B32	303460,7956	9031710,178
	B33	303437,8605	9031613,605
	B34	303437,8089	9031513,605
	B35	303437,8089	9031413,605
	B36	303446,6653	9031314,489
	B37	303498,1804	9031230,01
	B38	303565,6735	9031156,699
	B39	303606,8704	9031066,083
	B40	303616,5303	9030967,012
	B41	303593,7819	9030870,11
	B42	303549,6853	9030780,584
	B43	303543,1864	9030681,851
B44	303568,3404	9030585,084	
B45	303594,1407	9030488,47	
B46	303619,941	9030391,855	
B47	303645,7413	9030295,241	
B48	303671,5416	9030198,627	
B49	303697,3418	9030102,012	

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU B	B50	303722,6932	9030005,347
	B51	303715,7271	9029906,457
	B52	303665,9648	9029820,724
	B53	303587,2981	9029759,32
	B54	303498,8757	9029715,903
PULAU C	C1	303728,3284	9031794,469
	C2	303712,2135	9031696,107
	C3	303677,0487	9031602,69
	C4	303679,8501	9031503,821
	C5	303730,2328	9031418,684
	C6	303782,3455	9031335,349
	C7	303760,4928	9031244,179
	C8	303666,7647	9031253,926
	C9	303588,3532	9031315,143
	C10	303535,7311	9031399,549
	C11	303515,2842	9031496,901
	C12	303529,6254	9031595,346
	C13	303576,7103	9031683,025
	C14	303620,4565	9031772,382
	C15	303674,8633	9031845,151
PULAU D	D1	303436,0676	9028837,524
	D2	303386,051	9028924,077
	D3	303328,5994	9029005,881
	D4	303263,966	9029082,14
	D5	303192,8142	9029152,354
	D6	303117,7248	9029218,396

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU D	D7	303042,5475	9029284,338
	D8	302967,3703	9029350,28
	D9	302892,193	9029416,222
	D10	302817,0158	9029482,164
	D11	302741,8385	9029548,107
	D12	302693,6819	9029632,649
	D13	302723,3924	9029725,085
	D14	302797,8702	9029791,755
	D15	302873,0475	9029857,698
	D16	302948,2247	9029923,64
	D17	303023,402	9029989,582
	D18	303114,2392	9030024,186
	D19	303200,9717	9029980,556
	D20	303233,3941	9029887,46
	D21	303251,3759	9029789,09
	D22	303269,3576	9029690,72
	D23	303287,3394	9029592,35
	D24	303305,3212	9029493,98
	D25	303323,4855	9029395,647
	D26	303367,3178	9029306,909
	D27	303430,279	9029229,218
	D28	303492,5018	9029150,968
	D29	303527,2468	9029057,99
	D30	303549,3916	9028960,473
D31	303567,8201	9028862,523	
D32	303500,8862	9028799,888	



Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU E	E1	302111,954	9032095,553
	E2	302064,737	9032007,436
	E3	302024,9369	9031915,732
	E4	301993,11	9031820,969
	E5	301974,0047	9031722,933
	E6	301970,4812	9031623,057
	E7	301970,4812	9031523,057
	E8	301970,4812	9031423,057
	E9	301970,4812	9031323,057
	E10	301970,4812	9031223,057
	E11	301966,1438	9031123,232
	E12	301949,3671	9031024,669
	E13	301931,3853	9030926,299
	E14	301913,4035	9030827,929
	E15	301895,297	9030729,584
	E16	301832,844	9030656,899
	E17	301737,9028	9030670,149
	E18	301687,9595	9030754,927
	E19	301654,0909	9030849,004
	E20	301625,3635	9030944,775
	E21	301601,6837	9031041,916
	E22	301583,1274	9031140,167
	E23	301569,9528	9031239,283
	E24	301561,9792	9031338,949
	E25	301559,2281	9031438,899
	E26	301561,9148	9031538,851

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU E	E27	301569,0403	9031638,592
	E28	301576,8439	9031738,288
	E29	301584,6476	9031837,983
	E30	301592,4512	9031937,678
	E31	301600,2549	9032037,373
	E32	301612,3564	9032136,335
	E33	301679,351	9032206,642
	E34	301778,164	9032215,848
	E35	301878,1639	9032216,026
	E36	301978,1637	9032216,204
	E37	302077,0287	9032208,681
	E38	302122,4823	9032126,92
	PULAU F	F1	303029,9185
F2		303101,2025	9028919,411
F3		303164,1318	9028841,76
F4		303217,904	9028757,51
F5		303261,8334	9028667,735
F6		303266,4387	9028572,439
F7		303180,6776	9028534,921
F8		303082,6468	9028554,668
F9		302984,8153	9028575,283
F10		302894,6631	9028617,457
F11		302815,0147	9028677,917
F12		302735,5829	9028738,667
F13		302656,1511	9028799,417
F14		302576,7193	9028860,167

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU F	F15	302497,2875	9028920,918
	F16	302417,8557	9028981,668
	F17	302331,6682	9029029,736
	F18	302232,0133	9029037,863
	F19	302132,3052	9029045,497
	F20	302032,597	9029053,131
	F21	301935,7728	9029073,085
	F22	301863,1731	9029141,446
	F23	301793,2778	9029212,963
	F24	301723,3825	9029284,48
	F25	301653,4872	9029355,997
	F26	301583,5915	9029427,513
	F27	301517,4105	9029502,02
	F28	301508,6347	9029599,206
	F29	301527,1134	9029697,484
	F30	301545,5921	9029795,762
	F31	301564,0708	9029894,04
	F32	301582,7147	9029992,283
	F33	301634,0233	9030075,918
	F34	301726,0704	9030109,94
F35	301819,458	9030079,725	
F36	301888,0444	9030007,153	
F37	301957,5054	9029935,229	
F38	302030,2533	9029866,633	
F39	302105,2819	9029800,523	
F40	302180,4592	9029734,581	

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU F	F41	302255,6364	9029668,639
	F42	302330,8137	9029602,696
	F43	302405,9909	9029536,754
	F44	302481,1682	9029470,812
	F45	302556,3455	9029404,87
	F46	302631,5227	9029338,927
	F47	302706,7	9029272,985
	F48	302781,8772	9029207,043
	F49	302857,0545	9029141,101
	F50	302932,2318	9029075,158
	F51	303007,409	9029009,216
PULAU G	G1	301356,2829	9031102,134
	G2	301374,6471	9031003,845
	G3	301397,4839	9030906,499
	G4	301425,0178	9030810,375
	G5	301456,9687	9030715,628
	G6	301493,4277	9030622,523
	G7	301528,1217	9030529,008
	G8	301522,8613	9030429,868
	G9	301504,3826	9030331,59
	G10	301485,9039	9030233,312
	G11	301467,4252	9030135,034
	G12	301397,1455	9030080,342
	G13	301330,1294	9030153,818
	G14	301307,4755	9030248,676
	G15	301275,8217	9030343,534

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU G	G16	301243,9072	9030438,301
	G17	301195,1828	9030525,177
	G18	301126,9863	9030598,238
	G19	301057,2715	9030669,931
	G20	300987,5568	9030741,624
	G21	300917,8421	9030813,316
	G22	300847,9117	9030884,796
	G23	300770,7158	9030948,168
	G24	300684,1153	9030997,926
	G25	300590,4346	9031032,571
	G26	300492,305	9031051,169
	G27	300392,4308	9031053,872
	G28	300292,453	9031051,767
	G29	300194,3436	9031066,526
	G30	300112,468	9031122,386
	G31	300063,3823	9031208,516
	G32	300057,2398	9031307,457
	G33	300088,5976	9031402,199
	G34	300124,2374	9031495,632
	G35	300159,8772	9031589,066
	G36	300195,5171	9031682,499
G37	300231,1569	9031775,933	
G38	300266,7967	9031869,366	
G39	300302,4365	9031962,799	
G40	300340,9054	9032054,902	
G41	300423,041	9032106,693	

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU G	G42	300516,6122	9032080,755
	G43	300592,9739	9032016,191
	G44	300669,2898	9031951,57
	G45	300745,6057	9031886,949
	G46	300821,9217	9031822,328
	G47	300899,7008	9031759,742
	G48	300998,1368	9031749,91
	G49	301098,1368	9031749,91
	G50	301198,1368	9031749,91
	G51	301292,1185	9031723,607
	G52	301336,9906	9031637,504
	G53	301331,5711	9031537,694
	G54	301329,2919	9031437,732
	G55	301331,696	9031337,771
	G56	301338,9133	9031238,043
G57	301350,7115	9031138,752	
PULAU H	H1	301242,3381	9031829,91
	H2	301142,3381	9031829,91
	H3	301042,3381	9031829,91
	H4	300943,7139	9031841,986
	H5	300859,8135	9031895,07
	H6	300783,4975	9031959,691
	H7	300707,1816	9032024,312
	H8	300630,8657	9032088,933
	H9	300554,5498	9032153,554
	H10	300478,2339	9032218,175

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU H	H11	300425,9337	9032300,713
	H12	300445,2637	9032396,313
	H13	300525,6545	9032451,533
	H14	300625,3429	9032458,094
	H15	300725,2369	9032462,696
	H16	300825,1307	9032467,304
	H17	300911,9626	9032510,81
	H18	300938,9279	9032604,349
	H19	300935,4488	9032704,282
	H20	300977,0929	9032792,009
	H21	301070,0599	9032820,286
	H22	301169,7136	9032811,97
	H23	301269,3672	9032803,655
	H24	301365,3521	9032780,963
	H25	301418,0773	9032699,401
	H26	301413,5675	9032599,699
	H27	301405,7639	9032500,004
	H28	301397,9602	9032400,309
	H29	301390,1566	9032300,614
	H30	301382,353	9032200,919
H31	301374,5493	9032101,224	
H32	301366,7457	9032001,529	
H33	301352,7462	9031902,998	
H34	301281,8182	9031836,667	
PULAU I	I1	301346,8017	9033004,555
	I2	301247,078	9033010,996

Nama Pulau	Nama Titik	X (m)	Y (m)
PULAU I	I3	301147,5572	9033020,473
	I4	301051,9954	9033049,007
	I5	300961,137	9033090,774
	I6	300876,2282	9033141,778
	I7	300847,8597	9033234,633
	I8	300890,9385	9033323,624
	I9	300945,4187	9033407,48
	I10	300999,8989	9033491,337
	I11	301066,6367	9033565,055
	I12	301155,4168	9033609,773
	I13	301254,3637	9033619,32
	I14	301350,3961	9033593,177
	I15	301436,3778	9033544,467
	I16	301469,2185	9033451,988
	I17	301482,8232	9033352,921
	I18	301483,0174	9033253,347
	I19	301464,7149	9033155,036
	I20	301437,8966	9033059,483
	I21	301356,934	9033005,847



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 13 Nopember 1994, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Islam Mutiara, SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMPN 19 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya, Setelah lulus dari SMA melanjutkan pendidikan S1 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN pada tahun 2013 dengan NRP 3513100073. Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan sebagai pengurus dari Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS (HIMAGE-ITS) yaitu sebagai staff Daya-cipta Kreasi Mahasiswa HIMAGE-ITS tahun 2014/2015. Selain itu penulis juga pernah mengikuti ketrampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD FTSP tahun 2013 dan juga dalam bidang organisasi kepanitiaan. Sebagai bentuk ketertarikan pada bidang Geomarine dengan topik Hidrodinamika, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Pemodelan Pola Sebaran Sedimen Untuk Analisis Dampak Reklamasi Terhadap Pendangkalan Di Teluk Benoa” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.