# KAJIAN PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT DAN IN-SITU DI PANTAI KUTA, BALI

**SKRIPSI**
**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN**
**JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**


**Oleh :**

**RESKYANI FAJRI RAHMAWATI**
**NIM. 125080600111037**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**
**MALANG**
**2016**

# KAJIAN PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT DAN IN-SITU DI PANTAI KUTA, BALI

**SKRIPSI**
**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN**
**JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan**

**di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan**

**Universitas Brawijaya**

**Oleh :**

**RESKYANI FAJRI RAHMAWATI**
**NIM. 125080600111037**

**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**
**MALANG**
**2016**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**SKRIPSI**

**KAJIAN PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT DAN IN-SITU DI PANTAI KUTA, BALI**

**Oleh:**

**RESKYANI FAJRI RAHMAWATI**
**NIM. 125080600111037**

**Telah dipertahankan di depan penguji**
**Pada tanggal 21 Juli 2016**
**Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Menyetujui,**

**Dosen Penguji I**

**Nurin Hidayati, S.T., M.Sc**
**NIP. 19781102 200502 2 001**
**Tanggal:** 16 AUG 2016

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D**
**NIP. 19621220 198803 1 004**
**Tanggal:** 16 AUG 2016

**Dosen Penguji II**

**Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.Sc., MP**
**NIP. 19860115 201504 2 001**
**Tanggal:** 16 AUG 2016

**Dosen Pembimbing II**

**Andik Isdianto, S.T., M.T**
**NIK. 20130982 0928 1 001**
**Tanggal:** 16 AUG 2016

**Mengetahui,**
**Ketua Jurusan PSPK**

**Dr.Ir.Daduk Setyohadi, MP**
**NIP. 19630608 198703 1 003**
**Tanggal:** 16 AUG 2016

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tulisan pembuatan Laporan Skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak pernah terdapat tulisan, pendapat atau bentuk lain yang telah diterbitkan oleh orang lain kecuali tertulis dalam laporan ini di Daftar Pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan skripsi ini hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 14 Juli 2016

Penulis

Reskyani Fajri Rahmawati

## UCAPAN TERIMA KASIH

Berkaitan dengan terselesaikannya penelitian ini, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Bambang Semedi, Msc. Ph.D selaku dosen pembimbing pertama dan Andik Isdianto, S.T., MT selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan arahan dan bimbingan dalam pelaksaan serta penyusunan laporan penelitian.
2. Nurin Hidayati, S.T., M.Sc selaku dosen penguji pertama dan Dwi Candra Pratiwi, S.Pi, M.Sc selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan bagi penulis.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung memberikan doa, dukungan, serta perhatian pada saat pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan.
4. Gilang Ramadhan dan M. Ramadhani Marfatah yang telah membantu penulis pada saat pengambilan data lapang. Teman-teman terdekat (Annisa, Indri, Puja) yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan laporan.
5. Teman-teman Ilmu Kelautan 2012, yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah mengukir sejarah bersama dalam kehidupan penulis selama menimba ilmu di kampus Universitas Brawijaya.
6. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama pembuatan laporan penelitian ini.

Penulis

repository.ub.ac.id

# RINGKASAN

**RESKYANI FAJRI RAHMAWATI.** Kajian Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Data Citra Satelit dan In-Situ di Pantai Kuta, Bali (di bawah bimbingan **Ir. BAMBANG SEMEDI, M.SC., Ph.D** dan **ANDIK ISDIANTO, S.T., M.T)**

Pantai merupakan bagian dari pesisir yang bersifat sangat dinamis, dimana pantai akan berubah sebagai respon dari proses alam dan aktivitas manusia. Upaya manusia dalam memanfaatkan kawasan pantai tidak dilandasi dengan pemahaman yang baik sehingga menimbulkan dampak yang merugikan lingkungan pantai seperti proses erosi dan sedimentasi. Terjadinya erosi dan sedimentasi di kawasan pantai menyebabkan fenomena perubahan garis pantai. Salah satu kawasan pantai yang mengalami perubahan garis pantai adalah Pantai Kuta, Bali. Dibalik keindahan dan potensi yang ada di Pantai Kuta, pantai tersebut memiliki permasalahan yang cukup besar.yaitu terjadinya perubahan garis pantai.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi berdasarkan analisa data citra satelit secara multitemporal dan mengetahui prediksi perubahan garis pantai berdasarkan angkutan sedimen sepanjang pantai.

Lokasi yang digunakan sebagai kajian penelitian ini yaitu Pantai Kuta sepanjang ± 4 km dengan koordinat 8°42'34.76” LS - 115° 9'58.02" BT hingga 8°44'30.92" LS - 115° 9'35.68" BT yang dibagi menjadi 4 stasiun berdasarkan metode *purposive sampling.* Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analitik, yaitu dengan mendeskripsikan kondisi yang sesunggguhnya dengan menganalisis hasil dari pengolahan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data *tracking* garis pantai, pengukuran kemiringan, pengambilan sampel sedimen dan pengukuran gelombang. Sedangkan, data sekunder meliputi data citra satelit *Google Earth*, data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Balai Besar Wilayah III Denpasar, Kuta-Badung, Bali dan data pasang surut yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

Hasil pengolahan data citra satelit pada tahun 2002, 2009 dan 2015 didapatkan nilai perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Kuta, yaitu erosi sebesar -13.55 m/13 tahun pada stasiun A, erosi sebesar -20.43 m/13 tahun pada stasiun B, sedimentasi sebesar 37.33 m/13 tahun pada stasiun C dan sedimentasi sebesar 10.27 m/13 tahun pada stasiun D. Hasil perhitungan numerik selama 5, 10 dan 15 tahun mendatang didapatkan prediksi perubahan garis Pantai Kuta, yaitu erosi sebesar -3.76 m/tahun pada stasiun A, erosi sebesar -3.02 m/tahun pada stasiun B, sedimentasi sebesar 2.85 m/tahun pada stasiun C dan erosi sebesar -4.11 m/tahun pada stasiun D.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian (skripsi) mengenai "Kajian Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Data Citra Satelit dan In-Situ di Pantai Kuta, Bali" ini sesuai harapan. Penulisan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Ilmu Kelautan jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan usulan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi tulisan maupun sistem penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna memperbaiki penulisan ini.

Malang, 14 Juli 2016

Reskyani Fajri Rahmawati

## DAFTAR ISI

**PERNYATAAN ORISINALITAS** ..... **ii**
**UCAPAN TERIMA KASIH** ..... **iv**
**RINGKASAN** ..... **v**
**KATA PENGANTAR** ..... **vi**
**DAFTAR ISI** ..... **vii**
**DAFTAR TABEL** ..... **ix**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **x**
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xi**
**1. PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Tujuan ..... 3
1.4 Kegunaan ..... 4
1.5 Tempat, Waktu/ Jadwal Pelaksanaan ..... 4
**2. TINJAUAN PUSTAKA** ..... **5**
2.1 Pengertian Pantai dan Pesisir ..... 5
2.2 Perubahan Garis Pantai dan Penyebabnya ..... 5
2.3 Gelombang Laut ..... 6
2.3.1 Pembangkitan Gelombang Laut oleh Angin ..... 7
2.3.2 Peramalan Gelombang Menggunakan Data Angin ..... 7
2.3.3 Penentuan Karakteristik Gelombang ..... 9
2.3.4 Transformasi Gelombang ..... 10
2.5 Transpor Sedimen ..... 15
2.6 Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai ..... 16
2.7 Prediksi Numerik Perubahan Garis Pantai ..... 18
2.8 Studi Terdahulu ..... 20
**3. METODE PENELITIAN** ..... **21**
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian ..... 21
3.2 Alat dan Bahan ..... 22
3.2.1 Alat dan Bahan Lapang ..... 22
3.2.2 Alat dan Bahan Laboratorium ..... 23
3.3 Sarana dan Prasarana Pengolahan Data ..... 24

3.4 Teknik Pengumpulan Data ..... 24
3.5 Metode Penelitian ..... 25
3.6 Prosedur Penelitian ..... 25
3.6.1 Pengolahan Data Citra Satelit ..... 28
3.6.2 *Tracking* Garis Pantai ..... 29
3.6.3 Pengukuran Kemiringan Pantai ..... 30
3.6.4 Pengukuran Gelombang dan Penentuan Arah Angin ..... 31
3.6.5 Pengambilan Sampel Sedimen dan Uji Laboratorium ..... 31
3.6.6 Pengolahan Data Gelombang ..... 35
3.6.7 Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai ..... 41
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 44**
4.1 Profil Lokasi Penelitian ..... 44
4.2 Hasil Pengolahan Data Citra Satelit ..... 47
4.3 Hasil Data Kemiringan Pantai ..... 54
4.4 Data Sedimen Hasil Uji Laboratorium ..... 57
4.4.1 Ukuran Butir Sedimen dan Jenis Sedimen ..... 57
4.4.2 Massa Jenis Sedimen ..... 60
4.5 Hasil Pengolahan Data Angin dan Data Gelombang ..... 61
4.5.1 Kecepatan dan Distribusi Arah Angin ..... 61
4.5.2 Peramalan Gelombang Angin ..... 62
4.5.3 Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Hasil Pengukuran Lapang . 63
4.6 Hasil Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai Kuta ..... 64
4.7 Analisis Perubahan Garis Pantai Kuta Berdasarkan Data Citra Satelit dan Perhitungan Numerik ..... 64
4.7.1 Stasiun A ..... 67
4.7.2 Stasiun B ..... 68
4.7.3 Stasiun C ..... 68
4.7.4 Stasiun D ..... 69
**5. PENUTUP ..... 70**
5.1 Kesimpulan ..... 70
5.2 Saran ..... 70
**DAFTAR PUSTAKA ..... 71**
**LAMPIRAN ..... 73**

## DAFTAR TABEL

**Tabel 1.** Beberapa Rumus Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai ..... 17
**Tabel 2.** Alat dan Fungsi di Lapang ..... 22
**Tabel 3.** Bahan dan Fungsi di Lapang ..... 23
**Tabel 4.** Alat dan Fungsi di Laboratorium ..... 23
**Tabel 5.** Bahan dan Fungsi di Laboratorium ..... 24
**Tabel 6.** Sarana dan Prasarana Pengolahan Data ..... 24
**Tabel 7.** Tabel Analisa Saringan ..... 34
**Tabel 8.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen ..... 34
**Tabel 9.** Tabel Analisa Massa Jenis Sedimen ..... 35
**Tabel 10.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 -2009 ..... 49
**Tabel 11.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 - 2015 ..... 51
**Tabel 12.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 - 2015 ..... 54
**Tabel 13.** Data Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai ..... 55
**Tabel 14.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun A ..... 58
**Tabel 15.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun B ..... 58
**Tabel 16.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun C ..... 59
**Tabel 17.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun D ..... 59
**Tabel 18.** Tabel Massa Jenis Sedimen Pantai Kuta ..... 60
**Tabel 19.** Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Hasil Pengukuran Lapang ..... 64
**Tabel 20.** Nilai Prediksi Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Selama 5, 10 dan 15 Tahun ..... 65
**Tabel 21.** Jarak Perubahan Garis Pantai Hasil Pengolahan Data Citra Satelit dan Perhitungan Numerik ..... 66

## DAFTAR GAMBAR

**Gambar 1.** Grafik Hubungan Kecepatan Angin Laut dan Darat ..... 8
**Gambar 2**. Hukum Snell untuk Refraksi Gelombang . ..... 12
**Gambar 3.** Difraksi Gelombang. ..... 12
**Gambar 4.** Penentuan Tinggi Gelombang Pecah (*Hb)*. ..... 14
**Gambar 5.** Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen Berdasarkan Wenthworth ..... 16
**Gambar 6.** Pembagian Pantai Menjadi Sejumlah Sel ..... 19
**Gambar 7.** Peta Lokasi Penelitian ..... 22
**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian ..... 27
**Gambar 9.** Perbedaan antara Metode *Single Transect* Asli dan Modifikasi ..... 29
**Gambar 10.** Bagan Skema Kerja *Tracking* Garis Pantai ..... 30
**Gambar 11.** Bagan Skema Kerja Pengukuran Kemiringan Pantai ..... 31
**Gambar 12.** Grafik Koreksi Stabilitas. ..... 38
**Gambar 13.** Bagan Skema Kerja Perhitungan Numerik ..... 43
**Gambar 14.** *Breakwater* di Pantai Kuta ..... 45
**Gambar 15.** *Revetment* di Pantai Kuta ..... 45
**Gambar 16.** *Permanent Sand Stockpile* di Pantai Kuta ..... 46
**Gambar 17.** Proyek Perlindungan Pantai Kuta ..... 46
**Gambar 18.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 – 2009 ..... 48
**Gambar 19.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 - 2009 ..... 49
**Gambar 20.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 – 2015 ..... 50
**Gambar 21.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 - 2015 ..... 51
**Gambar 22.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 – 2015 ..... 53
**Gambar 23.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta (m/tahun) Tahun 2002 - 201554
**Gambar 24.** Grafik Elevasi Pasang Surut Pantai Kuta 18 Maret 2016 ..... 55
**Gambar 25.** Grafik Kemiringan Pantai Kuta Tahun 2016 ..... 57
**Gambar 26.** Grafik Prosentase Ukuran Partikel Sedimen Tiap Stasiun ..... 60
**Gambar 27.** Wind Rose di Pantai Kuta Tahun 2006 - 2015 ..... 61
**Gambar 28.** Histogram Distribusi Frekuensi Angin di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015 ..... 62
**Gambar 29.** Hasil Peramalan Tinggi Gelombang di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015 ..... 63
**Gambar 30.** Hasil Peramalan Periode Gelombang di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015 ..... 63

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Hasil Analisa Saringan ..... 73
**Lampiran 2.** Hasil Uji Massa Jenis ..... 77
**Lampiran 3.** Hasil Perubahan Garis Pantai dengan Perhitungan Numerik ..... 80
**Lampiran 4.** Jarak Perubahan Garis Pantai Hasil Pengolahan Data Citra Satelit ..... 84
**Lampiran 5.** Grafik Prediksi Perubahan Garis Pantai 5, 10 dan 15 Tahun Mendatang ..... 88
**Lampiran 6.** Dokumentasi Stasiun Peneltian ..... 90
**Lampiran 7.** Dokumentasi Pengambilan Data Lapang dan Uji Laboratorium ..... 92

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pantai merupakan bagian dari pesisir yang bersifat sangat dinamis, dimana pantai akan berubah sebagai respon dari proses alam dan aktivitas manusia (Semedi *et al.,* 2016). Menurut Bird (1998) *dalam* Hidayah *et al.,* (2010), pantai masih dipengaruhi oleh daratan dan lautan. Pengaruh daratan terhadap pantai adalah morfologi dan litologi. Sedangkan, pengaruh lautan terhadap pantai meliputi gelombang, arus, pasang surut, dan batimetri.

Pantai memiliki peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Lebih dari 70% kota besar di dunia berada di daerah pantai. Pantai dimanfaatkan sebagai kawasan pemukiman, budidaya perikanan, tambak, pertanian, pelabuhan, pariwisata dan sebagainya (Wahyudi *et al.,* 2009). Namun, upaya manusia dalam memanfaatkan kawasan pantai tidak dilandasi dengan pemahaman yang baik sehingga menimbulkan dampak yang merugikan lingkungan pantai seperti proses erosi dan sedimentasi (Dewi, 2001). Terjadinya erosi dan sedimentasi di kawasan pantai menyebabkan fenomena perubahan garis pantai.

Salah satu kawasan pantai yang mengalami perubahan garis pantai adalah Pantai Kuta, Bali. Pantai Kuta merupakan salah satu pantai wisata yang terletak di Kabupaten Badung, Bali. Pantai ini merupakan tujuan wisata bagi wisatawan lokal dan mancanegara dan merupakan sektor perekonomian Bali. Di sekitar pantai, telah dibangun hotel, restoran, mall hingga warung-warung miliki warga sekitar sebagai fasilitas penunjang bagi para wisatawan yang datang.

Dibalik keindahan dan potensi yang ada di Pantai Kuta, pantai tersebut memiliki permasalahan yang cukup besar. Sebelum tahun 1967, Pantai Kuta merupakan kawasan pantai dan *resort* terbesar di Bali. Adanya pembangunan

landasan pacu bandara pada tahun 1967 sepanjang 914 m lepas pantai menyebabkan terjadinya erosi lebih dari 304 m di sekitar landasan pacu. Hal ini disebabkan oleh landasan pacu yang berperan sebagai *groin* besar yang mengganggu transport sedimen dan menyebabkan terjanya erosi (Clark, 1995). Pengukuran garis pantai dilakukan pada tahun 1960, 1977, 1980 dan 1987 menunjukkan bahwa terjadi kemunduran dari tahun ke tahun pada wilayah Pantai Kuta, terutama pada wilayah di dekat landasan pacu (Syamsudin *et al*., 1994).

Untuk mengamati perubahan garis pantai yang terjadi dapat menggunakan teknologi penginderaan jauh. Menurut Arief *et al.*, (2011), teknologi penginderaan jauh merupakan teknik yang berlandaskan pada penggunaan gelombang elektromagnetik. Teknologi tersebut menghasilkan citra oleh sensor yang dibawa oleh satelit dengan sifat-sifat fisik obyek yang diamati/ obyek di permukaan bumi. Untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi, dapat dilakukan analisa citra satelit selama beberapa tahun (*multi temporal).* Kemudian, untuk memprediksi perubahan garis pantai selama beberapa tahun ke depan dapat digunakan model matematika yang didasarkan pada transpor sedimen sepanjang pantai.

Melihat kerusakan pantai yang terjadi di Pantai Kuta dan mengingat pentingnya peranan pantai tersebut yaitu sebagai sektor pariwisata dan perekonomian Provinsi Bali. Maka, perlu dilaksanakan penelitian mengenai "Kajian Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Data Citra Satelit dan In-Situ di Pantai Kuta, Bali".

## 1.2 Rumusan Masalah

Pantai Kuta merupakan salah satu pantai wisata unggulan di Provinsi Bali. Namun, dibalik keindahan dan potensinya, pantai ini mengalami permasalahan terutama adalah erosi. Menurut Tanimoto dan Uda (1990) *dalam*

Wijayanti *et al.,* (2012) , dalam jangka waktu 10 tahun (1978-1988), pantai Kuta kehilangan sedimen sebesar 16.000 $m^3$ per tahun.

Pada tahun 2008, di beberapa wilayah pantai telah dibangun sistem perlindungan pantai dan juga *beach nourishment* untuk mengembalikan kondisi pantai seperti awal. Proyek perbaikan tersebut memakan dana setidaknya sebesar 335 milyar rupiah. Namun, seiring berjalannya waktu erosi tetap saja terjadi di wilayah Pantai Kuta.

Dari permasalahan tersebut, maka upaya-upaya perlindungan pantai harus terus dilakukan untuk menghindari terjadinya degradasi lingkungan walaupun tidak dapat dilakukan sepanjang pantai karena akan membutuhkan biaya yang sangat besar. Adanya prediksi mengenai perubahan garis pantai selama beberapa tahun ke depan sangat diperlukan guna membantu pihak Provinsi menentukan upaya perlindungan di Pantai Kuta.

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan garis pantai di wilayah Pantai Kuta berdasarkan analisa data citra satelit secara *multi temporal.*
2. Bagaimana prediksi perubahan garis pantai di wilayah Pantai Kuta selama beberapa tahun ke depan berdasarkan angkutan sedimen sepanjang pantai yang disebabkan oleh gelombang.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Perubahan garis pantai di wilayah Pantai Kuta berdasarkan analisa data citra satelit secara *multi temporal.*
2. Prediksi perubahan garis pantai di wilayah Pantai Kuta selama beberapa tahun ke depan berdasarkan angkutan sedimen sepanjang pantai yang disebabkan oleh gelombang.

## 1.4 Kegunaan

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai sumber informasi mengenai kondisi dan perkembangan di wilayah Pantai Kuta, Bali. Selain itu, informasi mengenai perubahan garis pantai dan prediksinya diharapkan dapat dijadikan bahan rujukan dan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan bagi pemerintah daerah Provinsi Bali dalam perencanaan pembangunan di lokasi penelitian, sehingga pembangunan yang dilakukan merupakan pembangunan yang terencana dan berwawasan lingkungan.

## 1.5 Tempat, Waktu/ Jadwal Pelaksanaan

Pembuatan proposal dimulai pada bulan Februari 2016. Sebelum dilakukan pengambilan data primer, dilakukan survey lapang pada tanggal 02 Maret 2016 di Pantai Kuta, Bali. Pengambilan data primer berupa *tracking* garis pantai, pengukuran kemiringan pantai, pengukuran gelombang dan penentuan arah angin, serta pengambilan sampel sedimen dilaksanakan pada 17 - 18 Maret 2016 di Pantai Kuta, Bali. Uji sedimen dilaksanakan di Laboratorium Tanah dan Air Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada bulan Maret 2016. Penyusunan laporan dilaksanakan pada bulan April-Mei 2016.

# 2. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Pengertian Pantai dan Pesisir

Menurut Baker and Kaeonian (1985) *dalam* Muryani (2010), pantai merupakan area geografis dimana faktor-faktor darat dan laut bercampur dan membentuk bentang lahan dan ekosistem yang unik.

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh serangan gelombang, sifat-sifat sedimen seperti rapat massa, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus, serta batimetri. Pantai bisa terbentuk dari material dasar berupa pasir, lumpur, dan kerikil (Triatmodjo, 1999).

## 2.2 Perubahan Garis Pantai dan Penyebabnya

Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Hal tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut (Triatmodjo, 1999). Jika pada bagian pantai mengalami erosi, maka material yang terbawa arus akan diendapkan di bagian lain yang lebih tenang seperti muara sungai, teluk dan sebagainya. Sehingga menyebabkan terjadinya sedimentasi di daerah tersebut (Wahyudi *et al.,* 2009).

Perubahan garis pantai dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu mundurnya garis pantai ke arah daratan (Erosi) dan majunya garis pantai ke arah laut (Sedimentasi). Menurut Triatmodjo (1999), suatu pantai mengalami erosi, sedimentasi atau tetap stabil tergantung pada sedimen yang masuk dan yang meninggalkan pantai tersebut. Erosi pantai terjadi apabila di suatu pantai mengalami pengurangan sedimen, artinya sedimen yang terangkut lebih besar dibandingkan dengan sedimen yang diendapkan. Sedangkan, sedimentasi terjadi ketika jumlah sedimen yang mengendap lebih besar dibandingkan sedimen yang diangkut di pesisir.

Perubahan garis pantai disebabkan oleh adanya erosi dan akresi yang terjadi, dimana penyebab utama dari hal tersebut adalah gelombang, angin dan pasang surut. Diantara ketiga proses tersebut, gelombang merupakan proses yang paling penting. Saat bergerak menuju pantai, gelombang akan mengalami transformasi yang kemudian membangkitkan arus di dekat pantai. Arus yang bergerak di sepanjang pantai memindahkan sedimen sehingga menyebabkan perubahan garis pantai (Angkotasan *et al.,* 2012).

Perubahan garis pantai umumnya disebabkan tidak saja oleh faktor alam tetapi juga akibat kegiatan manusia. Perubahan karena faktor manusia antara lain adalah kegiatan pembangunan pelabuhan, pertambangan, pengerukan, perusakan vegetasi pantai, pertambakan, perlindungan pantai, reklamasi pantai dan kegiatan wisata pantai (Azhar *et al.,* 2012).

## 2.3 Gelombang Laut

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada faktor pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari, bulan dan bumi, gelombang tsunami yang dibangkitkan oleh letusan gunung api atau gempa bawah laut serta gelombang yang dibangkitkan oleh kapal (Triatmodjo, 1999).

Di antara beberapa gelombang tersebut, yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang surut. Dalam sub bab ini akan dibahas mengenai pembangkitan gelombang laut oleh angin, prediksi gelombang menggunakan data angin, penentuan karakteristik gelombang dan transformasi gelombang.

### 2.3.1 Pembangkitan Gelombang Laut oleh Angin

Angin yang bertiup di atas permukaan laut akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga pada permukaan air yang semula tenang akan timbul riak gelombang kecil. Semakin besar kecepatan angin yang berhembus, maka riak tersebut akan menjadi besar, dan semakin lama angin berhembus maka riak tersebut akan menjadi gelombang. Semakin lama dan semakin besar angin yang berhembus, semakin besar pula gelombang yang terbentuk (Triatmodjo, 1999).

Tinggi dan periode gelombang yang terbentuk dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin (U), lamanya angin berhembus (D), arah angin, dan *fetch* (F). *Fetch* adalah daerah di mana kecepatan dan arah angin adalah konstan (Triatmodjo, 1999).

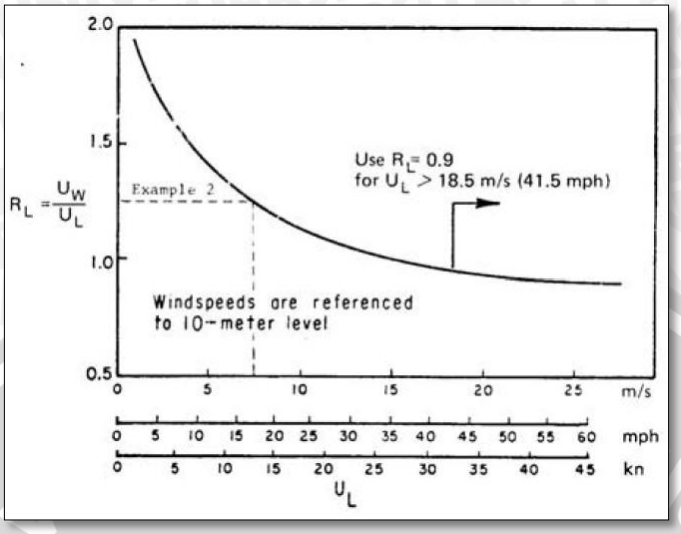
### 2.3.2 Peramalan Gelombang Menggunakan Data Angin

Peramalan gelombang dimaksudkan untuk mengalihragamkan (transformasi) data angin menjadi data gelombang. Hal ini dilakukan mengingat kurangnya data gelombang di Indonesia, sehingga untuk keperluan perencanaan bangunan pantai sering dilakukan peramalan gelombang berdasarkan data angin (Triatmodjo, 1999).

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data angin di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung di permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer dengan satuan knot (1 knot = 0.5 m/s) (Triatmodjo, 1999).

Data angin yang berasal dari hasil pengukuran di daratan perlu diubah menjadi data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di daratan diberikan dalam persamaan 2.1 seperti dalam Gambar 1.

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (2.1)$$




**Gambar 1.** Grafik Hubungan Kecepatan Angin Laut dan Darat (Triatmodjo, 1999)

Setelah dilakukan berbagai koreksi dan konversi, kecepatan angin dikonversikan menjadi *wind stress factor* atau faktor tegangan angin ($U_A$) dengan menggunakan persamaan:

$$U_A = 0.71\ U^{1.23} \quad (2.2)$$

*Fetch* rata-rata efektif diberikan oleh persamaan berikut:

$$F_{eff} : \frac{\sum Xi.\cos\alpha}{\sum \cos\alpha} \quad (2.3)$$

Dimana:

$F_{eff}$ : *Fetch* rata-rata efektif

$X_i$ : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Peramalan gelombang di laut dalam dianalisis dengan menggunakan rumus empiris berdasarkan buku *Shore Protection Manual* (SPM) 1984. Prosedur

tersebut berlaku pada *fetch limited condition* maupun *duration limited condition* dengan persamaan sebagai berikut:

- Untuk panjang *fetch* terbatas

$$\frac{g.H_{mo}}{U_A^2} = 1.6 \; x \; 10^{-3} \left(\frac{g.Feff}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\frac{g.T_p}{U_A^2} = 2.857 \; x \; 10^{-1} \left(\frac{g.Feff}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

$$\frac{g.t_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{g.Feff}{U_A^2}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.6)$$

- Untuk panjang *fetch* tidak terbatas

$$\frac{g.H_{mo}}{U_A^2} = 2.433.10^{-1} \quad (2.7)$$

$$\frac{g.T_p}{U_A^2} = 8.133 \quad (2.8)$$

$$\frac{g.t_d}{U_A} = 7.17 \; x \; 10^{-4} \quad (2.9)$$

Dimana:

$H_{mo}$ : Tinggi gelombang signifikan (m)

$T_p$ : Periode puncak gelombang

$t_d$ : Durasi angin bertiup (s)

$F_{eff}$ : Panjang *fetch* efektif (m)

g : Percepatan gravitasi bumi = 9.81 m/s$^2$

$U_A$ : *wind stress factor* (m/s)

### 2.3.3 Penentuan Karakteristik Gelombang

Untuk keperluan perencanaan bangunan pantai, perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang tersebut dikenal sebagai gelombang representatif ($H_1$, $H_{10}$, $H_s$, dan sebagainya) (Triatmodjo, 1999).

Diantara beberapa gelombang representatif tersebut, yang paling banyak digunakan adalah gelombang signifikan $H_s$. $H_s$ atau $H_{33}$ merupakan tinggi rata-rata

dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang. Di dalam peramalan gelombang, gelombang yang didapatkan adalah gelombang signifikan (Triatmodjo, 1999).

### 2.3.4 Transformasi Gelombang

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk. Di laut dalam, bentuk gelombang adalah sinusoidal. Di laut transisi dan dangkal, puncak gelombang menjadi semakin tajam sementara lembah gelombang menjadi semakin landai. Pada suatu kedalaman tertentu puncak gelombang sedemikian tajam sehingga tidak stabil dan pecah. Setelah pecah, gelombang terus menjalar ke pantai, dan semakin dekat dengan pantai tinggi gelombang semakin berkurang.

Bentuk transformasi gelombang yang akan dibahas pada penelitian ini adalah refraksi, difraksi dan gelombang pecah.

- **Refraksi Gelombang dan Koefisien Refraksi (Kr)**

Cepat rambat gelombang tergantung pada kedalaman perairan di mana gelombang bergerak. Ketika cepat rambat berkurang sesuai kedalaman, panjang gelombang juga berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang terjadi sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk sudut terhadap garis kedalaman laut, karena bagian dari gelombang di laut dalam bergerak lebih cepat daripada bagian di laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut (Triatmodjo, 1999).

Proses refraksi gelombang sama dengan proses refraksi cahaya yang terjadi ketika melewati dua media yang berbeda. Dari kesamaan sifat tersebut, maka untuk menyelesaikan permasalahan refraksi gelombang dapat digunakan hukum Snell seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 dapat dilihat terdapat deretan gelombang yang menjalar dari kedalaman $d_1$ menuju $d_2$ dengan perubahan kedalaman dan dianggap tidak terjadi refleksi gelombang. Dengan adanya perubahan kedalaman, maka cepat rambat dan panjang gelombang akan berkurang dari $C_1$ dan $L_1$ menjadi $C_2$ dan $L_2$. Sesuai dengan hukum Snell, berlaku persamaan berikut ini:

$$\text{Sin } \alpha_2 = \frac{C2}{C1} \sin \alpha_1 \qquad (2.10)$$

Apabila yang ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, maka:

$$\text{Sin } \alpha = \frac{C}{C0} \sin \alpha_0 \qquad (2.11)$$

Untuk mencari nilai koefisien refraksi (Kr) dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$Kr = \frac{\overline{\cos \propto 0}}{\cos \propto} \qquad (2.12)$$

Dimana:

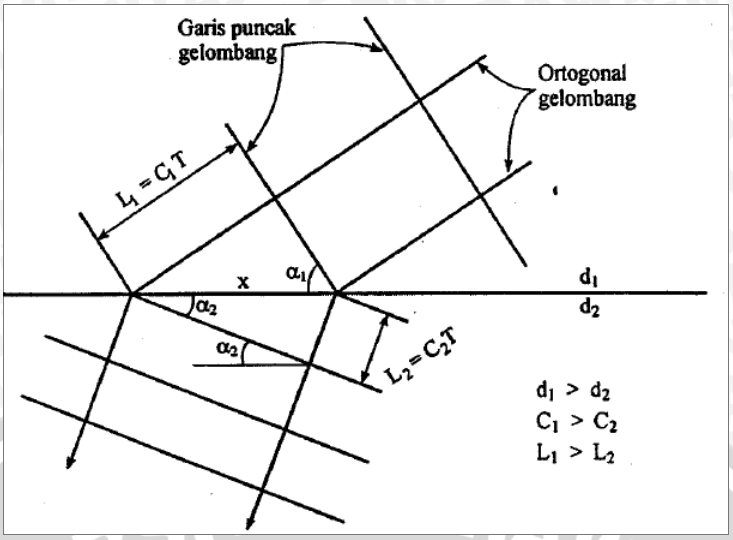
$\alpha$ atau $\alpha_2$ : Sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau.

$\alpha_0$ atau $\alpha_1$ : Sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai.

C atau $C_2$ : Kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur kedua.

$C_0$ atau $C_1$ : Kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama.

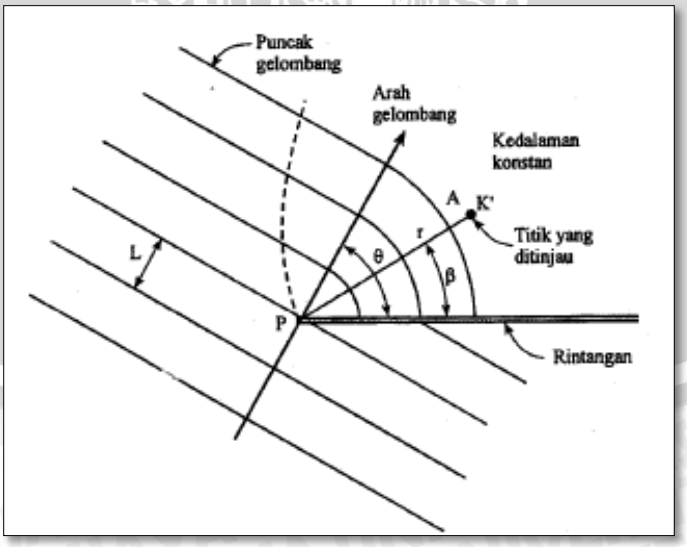
Kr : Koefisien refraksi.




**Gambar 2**. Hukum Snell untuk Refraksi Gelombang (Triatmodjo, 1999).

- **Difraksi Gelombang dan Koefisien Difraksi (K')**

Difraksi gelombang terjadi ketika gelombang yang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, sehingga gelombang membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya. Pada saat difraksi, terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung; seperti terlihat pada Gambar 3.




**Gambar 3.** Difraksi Gelombang (Triatmodjo, 1999).

Pada daerah dengan rintangan tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan (r), sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan ($\beta$), dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan ($\theta$). Koefisien difraksi (K') merupakan perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung ($H_A$) dan tinggi gelombang datang ($H_P$). Nilai K' untuk $\theta$, $\beta$, dan r/L tertentu disajikan pada Lampiran.

- **Gelombang Pecah**

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam, kemiringan gelombang maksimum di mana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh persamaan 2.13 berikut:

$$\frac{H0}{L0} = \frac{1}{7} = 0{,}142 \qquad (2.13)$$

Apabila kemiringan lebih tajam dari batas tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari cepat rambat gelombang dan menyebabkan terjadinya gelombang pecah.

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif *d/L* dan kemiringan dasar laut *m*. gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah $d_{b,}$ sedangkan tinggi gelombang pecah diberi notasi $H_b$. Untuk menentukan nilai $H_b$ dan $d_{b,}$ dapat digunakan persamaan 2.14.

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b-(\frac{\alpha Hb}{gT_2})} \qquad (2.14)$$

Di mana $\alpha$ dan *b* merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan 2.15 dan 2.16:

$$\propto = 43{,}75\ (1 - e^{-19m}) \qquad (2.15)$$

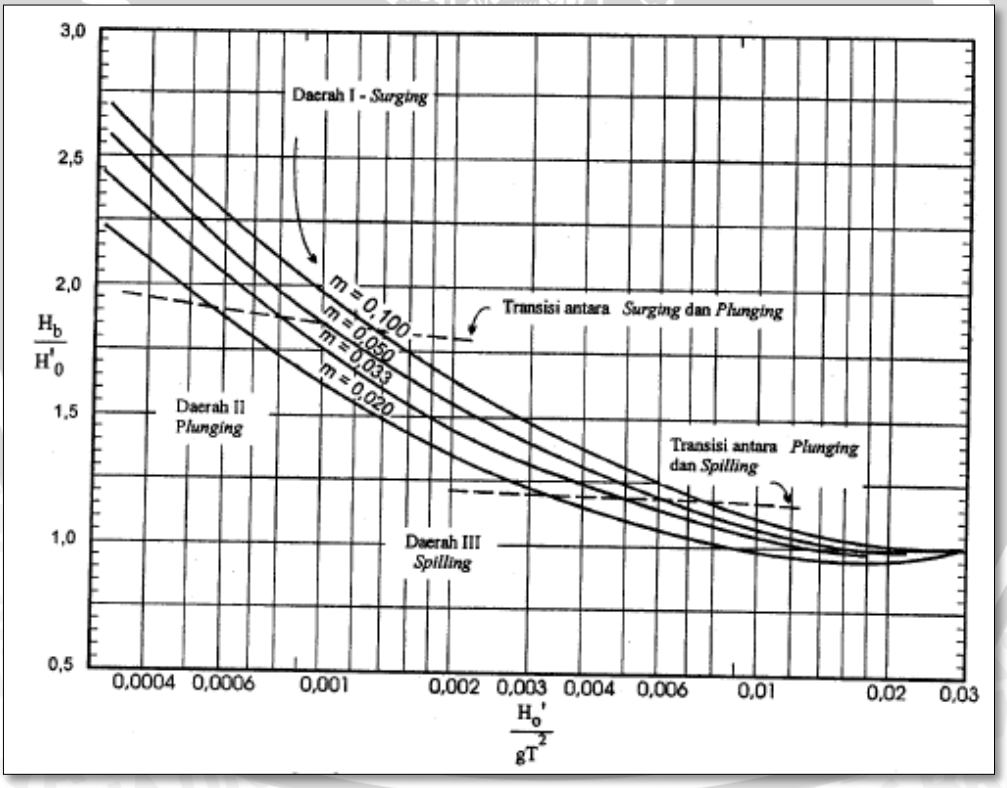
$$b = \frac{1{,}56}{(1+e^{-19{,}5m})} \qquad (2.16)$$

Dengan mengetahui data periode gelombang (T), tinggi gelombang, koefisien refraksi (Kr) dan perbandingan angka kemiringan maka dapat dihitung tinggi dan kedalaman gelombang pecah dengan menggunakan persamaan 2.17, 2.18 dan 2.19:

$$H'_0 = K'Kr.H_0 \qquad (2.17)$$

$$\frac{Ho\prime}{gT^2} \qquad (2.18)$$

Dengan membandingkan antara hasil persamaan 2.18 dengan nilai kedalaman hasil data lapang, kemudian masuk ke Gambar 4.




**Gambar 4.** Penentuan Tinggi Gelombang Pecah (*Hb)* (Triatmodjo, 1999).

$$\frac{H_b}{H\prime_0} \qquad (2.19)$$

Didapatkan nilai gelombang pecah (Hb). Nilai kedalaman gelombang pecah (*db)* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.14.

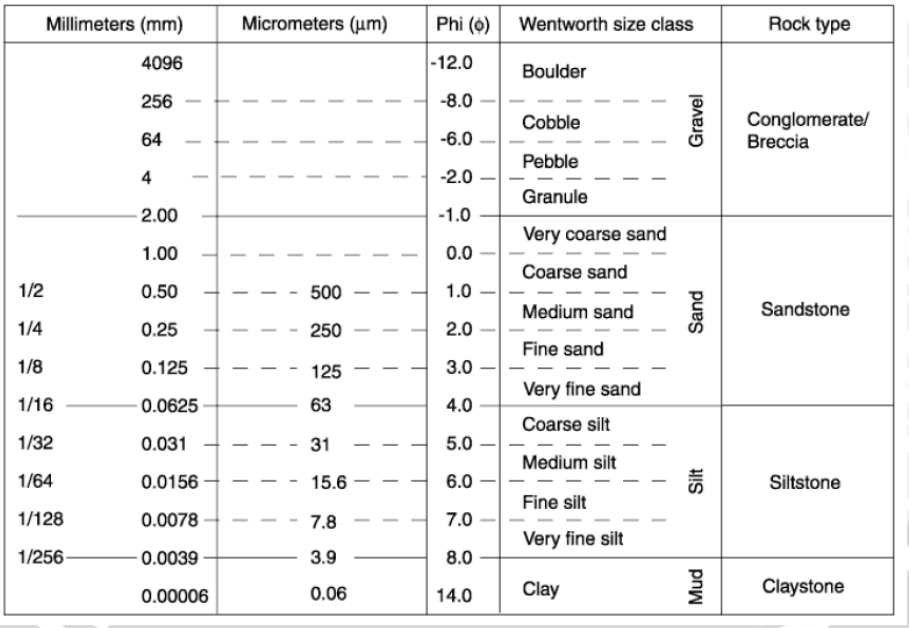
## 2.5 Transpor Sedimen

Transpor sedimen atau *littoral transport* merupakan gerakan sedimen di daerah dekat pantai oleh gelombang dan arus. *Littoral transport* dibedakan menjadi dua, yaitu transport sepanjang pantai *(longshore transport*) dan transport tegak lurus pantai (*onshore-offshore)*. Transpor menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedangkan transport sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Material yang ditranspor disebut dengan *littoral drift* (Triatmodjo, 1999).

Laju transpor sepanjang pantai tergantung pada sudut datang gelombang, durasi dan energi gelombang, sehingga gelombang besar akan mengangkut material lebih banyak dibandingkan gelombang kecil. Namun, apabila gelombang kecil terjadi dalam waktu yang lebih lama dibanding gelombang besar, maka gelombang kecil tersebut dapat mengangkut pasir lebih banyak (Triatmodjo, 1999).

Transpor sedimen dipengaruhi oleh sifat dasar sedimen seperti ukuran butir, berat jenis, dan kecepatan endap. Di antara beberapa sifat tersebut, yang paling penting adalah ukuran butir sedimen.

Berdasarkan klasifikasi ukuran butir dan sedimen menurut *Wenthworth* (Gambar 5), sedimen pantai terdiri dari lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*), *cobble,* dan batu (*boulder).*




**Gambar 5.** Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen Berdasarkan Wenthworth (Wentworth, 1922 *dalam* Minarto *et al.,* 2008)

## 2.6 Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai

Arus sepanjang pantai atau *longshore current* yang disebabkan oleh gelombang merupakan penyebab utama transport sedimen sepanjang pantai. Angkutan sedimen sepanjang pantai lebih disebabkan oleh adanya pengaruh arus dan gelombang oleh adanya gelombang pecah. Material sedimen yang mengalami turbulensi karena adanya arus dan gelombang yang bergerak sepanjang atau sejajar pantai kemudian mengendap di daerah sekitar pantai. Transport sedimen sepanjang pantai terjadi di *surf zone* yaitu daerah antara garis pantai sampai dengan titik gelombang pecah (Wahyudi *et al.,* 2009).

Menurut Triatmodjo (1999), terdapat beberapa cara yang dapat digunakan untuk memprediksi tranpor sedimen sepanjang pantai, yaitu:

1. Mengukur debit sedimen pada lokasi yang ditinjau.
2. Peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dalam periode tertentu dapat memberikan petunjuk tentang angkutan sedimen. Cara ini terutama baik apabila di daerah yang ditinjau terdapat bangunan

yang bisa menangkap transport sedimen sepanjang pantai, misalnya groin, pemecah gelombang suatu pelabuhan, dan sebagainya.

3. Rumus empiris yang didasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

Seperti telah disebutkan di atas, salah satu cara untuk memprediksi transport sedimen adalah dengan menggunakan rumus empiris. Terdapat beberapa rumus dari peneliti untuk menghitung transpor sedimen seperti disajikan dalam Tabel 1. dari beberapa rumus tersebut hanya rumus yang diberikan oleh Manohar yang memperhitungkan sifat sedimen. Sebagian rumus-rumus tersebut merupakan hubungan yang sederhana antara transport sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk:

$$Qs = K\ Pi^n \quad (2.15)$$

$$Pi = \frac{\rho g}{8} Hb^2 Cb \sin \propto b \cos \propto b \quad (2.16)$$

Dimana:

Qs : Angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3$/hari)

Pi : Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/d/m)

$\rho$ : rapat massa air laut ($kg/m^3$)

$H_b$ : Tinggi gelombang pecah (m)

$C_b$ : Cepat rambat gelombang pecah (m/d) = $\overline{g\ db}$

$\alpha_b$ : Sudut datang gelombang pecah

K, n : Konstanta

**Tabel 1.** Beberapa Rumus Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai

| No | Nama | Rumus |
|---|---|---|
| 1 | Caldwell | $Qs = 1{,}200Pi^{0,8}$ |
| 2 | Savage | $Qs = 0{,}219\ Pi$ |
| 3 | Ijima, Sato, Aono, Ishii | $Qs = 0{,}130\ Pi^{0,54}$ |
| 4 | Ichikawa, Achiai, | $Qs = 0{,}120\ Pi^{0,8}$ |

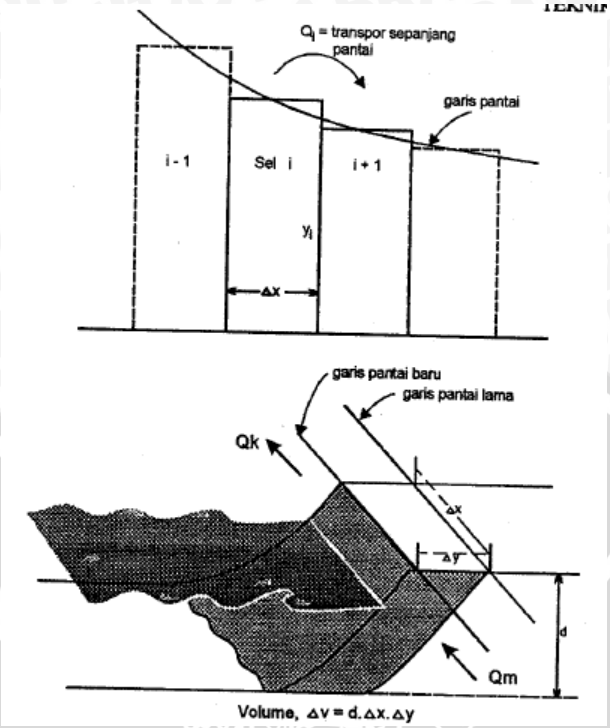
| No | Nama | Rumus |
|---|---|---|
| | Tomita, Murobuse | |
| 5 | Manohar | $Qs = 55{,}7D^{0,59}\left(\frac{\rho s-\rho}{\rho}\right)^{-0,41}P_1^{0,91}$ |
| 6 | Ijima, Sato | Qs = 0,060 Pi |
| 7 | Tanaka | Qs = 0,120 Pi |
| 8 | Komar, Inmam | Qs = 0,778 Pi |
| 9 | Komar, Inmam | $Qs = 0{,}283\frac{VPi}{U\infty \sin\propto b}$ |
| 10 | Das | Qs = 0,325 Pi |
| 11 | CERC | Qs = 0,401 Pi |

Sumber: Triatmodjo, 1999

### 2.7 Prediksi Numerik Perubahan Garis Pantai

Dalam upaya untuk memperkirakan perubahan garis pantai yang akan terjadi di waktu mendatang, maka dilakukan simulasi perubahan garis pantai dengan metode matematik. Simulasi dilakukan dengan memasukkan parameter hidro-oseanografi ke dalam formula transport sedimen serta memasukkan kondisi awal, kondisi batas dan waktu. Dengan simulasi matematik dapat diperoleh kondisi garis pantai pada waktu yang diinginkan (Wahyudi *et al.,* 2009).

Model perubahan garis pantai didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen. Untuk itu pantai dibagi menjadi sejumlah sel (ruas) (Gambar 6). Pada tiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. Sesuai dengan hukum kekekalan massa, jumlah laju aliran massa netto di dalam sel adalah sama dengan laju perubahan massa di dalam sel tiap satuan waktu (Triatmodjo, 1999).




**Gambar 6.** Pembagian Pantai Menjadi Sejumlah Sel (Triatmodjo, 1999)

Persamaan kontinuitas sedimen dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = -\frac{1}{d}\frac{\Delta Q}{\Delta x} \qquad (2.17)$$

Dimana:

y : Jarak garis pantai dan garis referensi

Q : Transpor sedimen sepanjang pantai

t : Waktu

x : Absis searah pantai pantai

d : Kedalaman gelombang pecah

Dalam persamaan (2.17), apabila nilai ΔQ negatif (transport sedimen yang masuk lebih kecil daripada yang keluar sel), maka nilai Δy akan negatif, yang berarti pantai mengalami erosi dan apabila sebaliknya maka pantai mengalami sedimentasi. Apabila ΔQ bernilai 0, maka Δy juga 0 yang berarti pantai stabil (transport sedimen yang masuk sama dengan transport sedimen yang keluar sel)

## 2.8 Studi Terdahulu

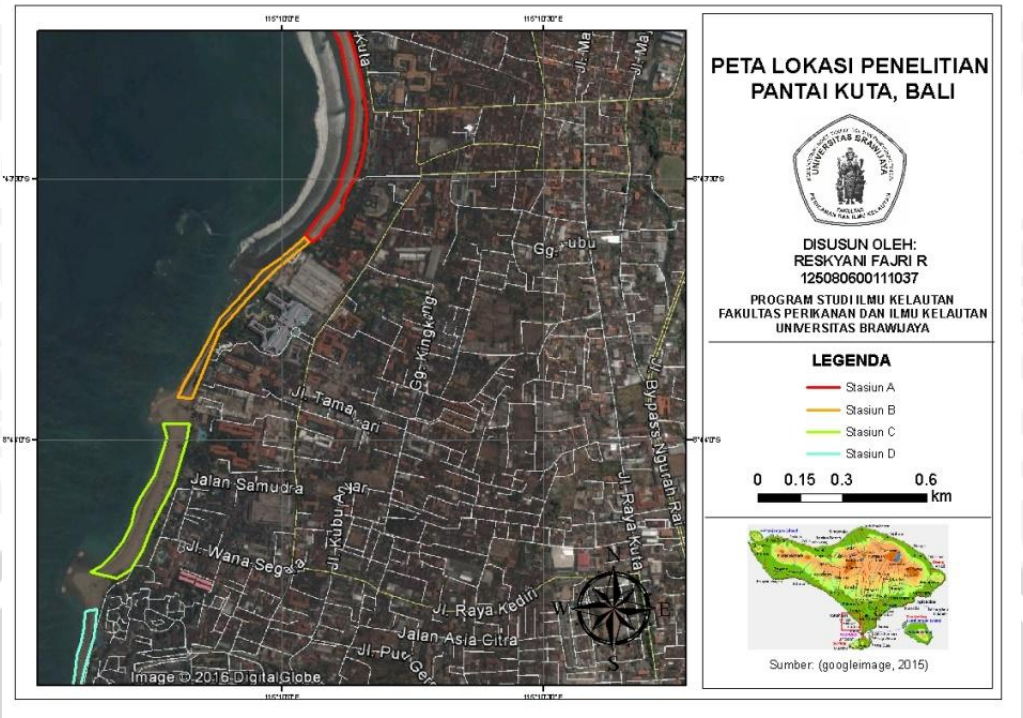
Penelitan mengenai perubahan garis pantai telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Dewi (2011) melakukan penelitian perubahan garis pantai di Kalimantan Timur. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis transformasi gelombang yang dibangkitkan angin yang menyebabkan terjadinya angkutan sedimen dalam kurun waktu 8 tahun. Rumus angkutan sedimen yang digunakan adalah rumus Komar tahun 1983 dan data citra yang digunakan adalah data citra Landsat tahun 2000-2008. Oktaviani (2014) melakukan penelitian perubahan garis pantai di Pantai Jenu, Tuban. Peneliti menggunakan rumus CERC dalam perhitungan angkutan sedimen serta menggunakan citra yang didapatkan dari *google earth.*

# 3. METODE PENELITIAN

## 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2016 di Pantai Kuta, Bali. Lokasi yang digunakan sebagai kajian penelitian ini yaitu perairan Pantai Kuta sepanjang ± 4 km dengan koordinat 8°42'34.76” LS - 115° 9'58.02" BT hingga 8°44'30.92" LS - 115° 9'35.68" BT. Pemilihan lokasi stasiun didasarkan pada *Purposive Sampling*, sehingga masing-masing stasiun dapat mewakili kondisi di Pantai Kuta. Lokasi penelitian (Gambar 7) dibagi menjadi 4 stasiun yang mewakili profil Pantai Kuta, yaitu:

1. Stasiun 1, merupakan bagian pantai yang tidak memiliki struktur bangunan pelindung pantai.
2. Stasiun 2, merupakan bagian pantai yang memiliki pelindung pantai berupa *revetment* dan terletak di antara 2 bangunan pemecah gelombang.
3. Stasiun 3, terletak di antara 2 bangunan pemecah gelombang dan terdapat pemecah gelombang bawah air.
4. Stasiun 4, merupakan bagian pantai yang memiliki pelindung pantai berupa *revetment* (tipe 2) dan terletak di antara bangunan pemecah gelombang dan penahan pasir.




**Gambar 7.** Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibedakan menjadi 2, yaitu alat dan bahan yang digunakan pada saat pengambilan data di lapang dan alat dan bahan yang digunakan pada saat pengolahan data di laboratorium.

#### 3.2.1 Alat dan Bahan Lapang

Alat-alat beserta fungsinya yang digunakan di lapang dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan bahan-bahan beserta fungsinya yang digunakan di lapang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Alat dan Fungsi di Lapang

| No | Alat | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | *Global Positioning System* (GPS) | 1 unit | Untuk mengetahui koordinat di lokasi pengambilan data garis pantai. |
| 2. | Tali tambang | 10 m | Untuk mengukur jarak dari bibir pantai ke laut untuk pengukuran kemiringan. |
| 3. | Tongkat Skala | 1 buah | Untuk mengukur kedalaman dan |

| No | Alat | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| | | | gelombang |
| 4. | *Stopwatch* | 1 buah | Untuk menghitung lamanya waktu pengukuran periode gelombang. |
| 5. | Kompas | 1 buah | Untuk menentukan arah angin. |
| 6. | Kamera | 1 bunit | Untuk mendokumentasikan kegiatan praktikum. |
| 7. | Sekop kecil | 1 buah | Untuk mengambil sampel sedimen |

**Tabel 3.** Bahan dan Fungsi di Lapang

| No | Bahan | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Kantong Plastik | 1 kg | Sebagai wadah sampel sedimen. |
| 2. | Kertas Label | 1 pak | Untuk menandai sampel |
| 3. | Karet Gelang | 1 bungkus | Untuk mengikat plastic |

### 3.2.2 Alat dan Bahan Laboratorium

Alat-alat beserta fungsinya yang digunakan di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan bahan-bahan beserta fungsinya yang digunakan di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 4.** Alat dan Fungsi di Laboratorium

| No | Alat | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Loyang | 6 buah | Sebagai wadah sampel sedimen |
| 2. | Oven | 1 unit | Untuk mengeringkan sampel sedimen |
| 3. | *Sieve Shaker* | 1 unit | Sebagai wadah dari ayakan |
| 4. | Ayakan | Ayakan dengan diameter 4.75 mm, 2 mm, 0.84 mm, 0.84 mm, 0.6 mm, 0.42 mm, 0.30 mm, 0.15 mm dan 0.075 mm. | Untuk mengayak sampel sedimen |
| 5. | Timbangan Digital | 1 unit | Untuk menimbang massa sampel sedimen dalam satuan kg |
| 6. | Timbangan Analitik | 1 unit | Untuk menimbang massa sampel sedimen dalam satuan |

| No | Alat | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| | | | gram |
| 7 | Kamera | 1 unit | Untuk alat dokumentasi |

**Tabel 5.** Bahan dan Fungsi di Laboratorium

| No | Bahan | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Sampel sedimen | 12 sampel | Sebagai sampel yang diuji |
| 2. | Kantong Plastik | 1 kg | Sebagai wadah sampel sedimen. |
| 3. | Kertas Label | 1 pak | Untuk menandai sampel |
| 4. | Air | - | Untuk membersihkan alat |

### 3.3 Sarana dan Prasarana Pengolahan Data

Sarana dan prasarana yang digunakan pada pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Sarana dan Prasarana Pengolahan Data

| No | Nama | Spesifikasi | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Laptop | *Windows 7 Home Premium* 64 *bit Operating System*, *Processor* Intel® Core ™ i5-3210M CPU @ 2.50 GHz, RAM 4 GB | Sebagai media untuk menjalankan *software* pengolahan data dan penulisan laporan |
| 2. | *Microsoft Excel 2010* | - | Digunakan untuk perhitungan perubahan garis pantai |
| 3. | *Google Earth* | - | Untuk mendapatkan data citra satelit |
| 4. | ArcGIS 9.3 | - | Untuk mengolah data citra satelit |
| 5. | WRPLOT | - | Untuk mengolah data angin dalam bentuk *wind rose* (mawar angin) dan grafik distribusi arah angin |
| . | *Microsoft Word 2010* | - | Digunakan untuk penulisan laporan |

### 3.4 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan merupakan data primer dan data sekunder. Menurut Azwar (1997), data primer merupakan data yang diambil

secara langsung dari subjek penelitian dengan menggunakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subjek sebagai sumber informasi yang dicari (Azwar, 1997). Sedangkan, Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber yang sudah ada.

Data primer didapatkan dari observasi langsung, yaitu data hasil *tracking* garis pantai, kemiringan pantai, tinggi dan periode gelombang, arah angin, dan sampel sedimen, partisipasi aktif dan dokumentasi. Sedangkan, data sekunder yang digunakan adalah data citra yang diperoleh dari *Google Earth*, data kecepatan dan arah angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Balai Besar Wilayah III Denpasar, Kuta-Badung, Bali dan data pasang surut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG)

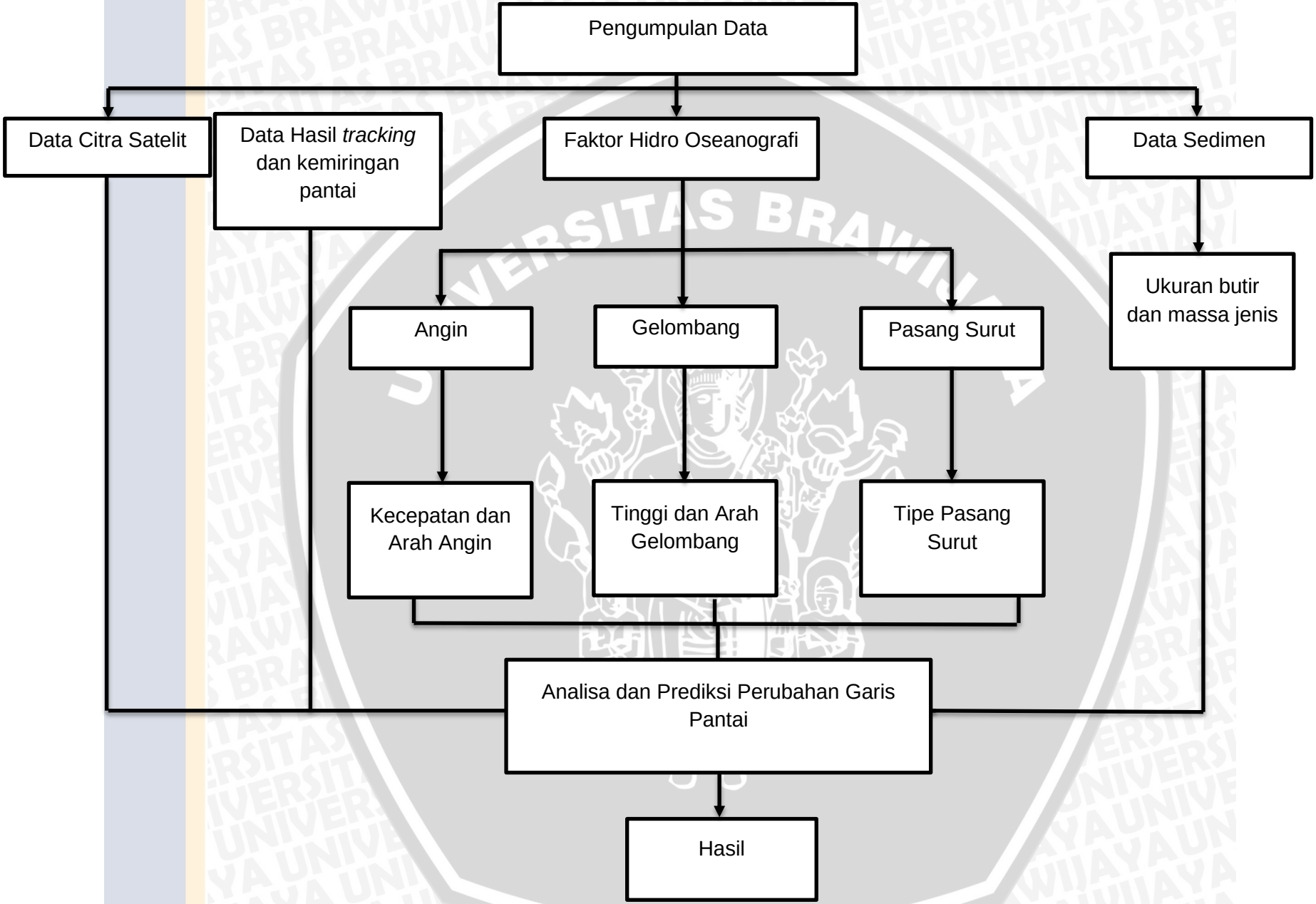
### 3.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analitik, yaitu dengan mendeskripsikan kondisi yang sesungguhnya dengan menganalisis hasil dari pengolahan data. Metode ini digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai dari hasil pengolahan data citra satelit yang diambil dari *Google Earth* secara *multi temporal*. Kemudian, dilakukan analisis grafik dari hasil pengolahan data *tracking* garis pantai yang diolah dengan menggunakan rumus Manohar.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari pengolahan data citra satelit dan perhitungan angkutan sedimen sepanjang pantai menggunakan rumus Manohar. Pengolahan data citra dilakukan dengan menggunakan *software ArcGIS* 9.3. Sedangkan untuk melakukan perhitungan angkutan sedimen sepanjang dilakukan beberapa tahapan dimulai dari pengambilan data hingga pengolahan data. Tahapan tersebut dimulai dari melakukan *tracking* garis pantai, pengukuran kemiringan pantai, pengukuran gelombang, arah angin, serta pengambilan

sampel sedimen. Sampel sedimen dibawa ke Laboratorium untuk dianalisa. Setelah itu dilakukan analisa garis pantai dengan menggunakan perhitungan numerik dengan menggunakan rumus Manohar. Rumus Manohar merupakan salah satu rumus dari sebelas rumus yang ada untuk menghitung transpor sedimen. Kelebihan dari rumus ini jika dibandingkan dengan rumus lain adalah hanya rumus yang diberikan oleh Manohar yang meperhitungkan sifat sedimen sehingga rumus ini dapat digunakan pada semua pantai. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.




**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian

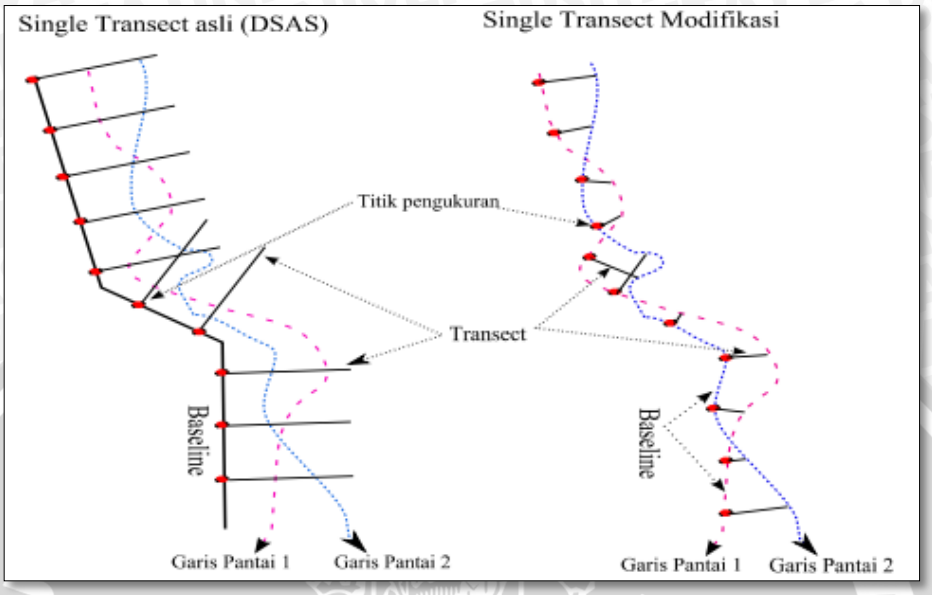
### 3.6.1 Pengolahan Data Citra Satelit

Data Citra yang digunakan merupakan data citra yang didapatkan dari *Google Earth*. Data citra yang dianalisis adalah citra tanggal 17 Oktober 2002 sebagai kondisi awal, tanggal 15 Oktober 2009 dan 7 November 2015 sebagai kondisi akhir. Pengolahan citra dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* 9.3

Tahap awal dalam pengolahan data citra adalah dengan melakukan koreksi geometrik yang berfungsi agar posisi obyek yang terekam sesuai dengan koordinat di lapangan (*real world coordinate*). Selanjutnya, dilakukan proses *digitized on-screen* pada masing-masing data citra dan setelah tahap digitasi selesai dilakukan tumpang-susun *(overlay)* data citra. *Overlay* dilakukan untuk mengetaui seberapa besar perubahan garis pantai dalam kurun waktu perolehan citra. Analisis jarak perpindahan titik erosi/akresi menggunakan modifikasi metode *single transect*. Sedangkan, analisis statistik laju perubahan garis pantai dilakukan dengan menggunakan metode *End Point Rate* (EPR).

Perbedaan antara metode *single transect* asli dan modifikasi dapat dilihat pada Gambar 9. Modifikasi pada metode ini dilakukan pada *baseline* yang menjadi dasar untuk pembuatan transek. Pada metode *single transect* asli, yakni *pluggin* DSAS (*digital shoreline analysis system)*, *baseline* dibuat menggunakan *buffer tool*. Sedangkan, pada metode modifikasi, *baseline* tidak dibuat menggunakan *buffer tool* melainkan hasil *overlay* garis pantai tahun pertama ke tahun selanjutnya. Masing-masing *polyline* ini yang langsung dijadikan *baseline* titik-titik pengukuran untuk garis-garis transek tegak lurus dimana jarak spasi tiap titik pengukuran sebesar 100 meter. Panjang jarak titik perpotongan (panjang transek) yang mewakili perpindahan garis pantai maju (akresi) ditandai sebagai

nilai positif (+), sebaliknya jika garis pantai tersebut mundur ditandai dengan nilai negatif (-) (Kasim, 2010).




**Gambar 9.** Perbedaan antara Metode *Single Transect* Asli dan Modifikasi (Kasim, 2010)

Perhitungan laju perubahan garis pantai dilakukan menggunakan metode *End Point Rate* (EPR) dengan rumus sebagai berikut (Kasim, 2010):

$$Vc = \frac{L}{\sum N} Y^{-1} \quad (3.1)$$

Dimana:

Vc = Rerata kecepatan perubahan maju/mundur garis pantai tiap *shoreline grid* (m/tahun)

L = Panjang keseluruhan *single transect* pada tiap *shoreline grid* (m)

∑N = Jumlah transek pada tiap *shoreline grid*

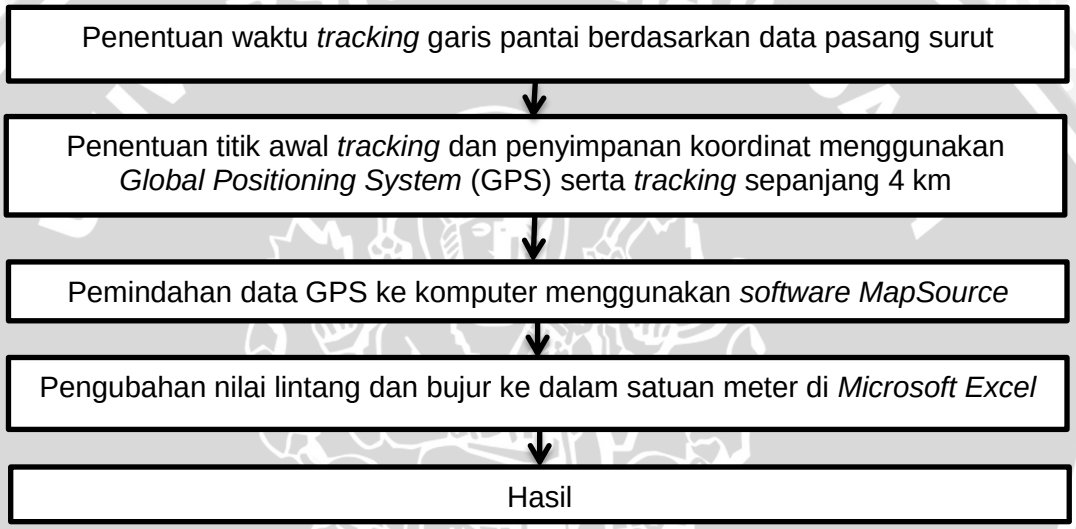
Y = Rentang waktu

### 3.6.2 *Tracking* Garis Pantai

Sebelum melakukan pengambilan data garis pantai, perlu diketahui terlebih dahulu data pasang surut perairan. Data pasang surut digunakan untuk mengetahui waktu surut terendah karena *tracking* garis pantai dilakukan pada

saat kondisi surut terendah. *Tracking* dilakukan dengan cara menyusuri garis pantai sejauh ± 4 km dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS)

Setelah data didapat, data GPS ditransfer ke komputer dengan menggunakan *software MapSource* dan disimpan dalam bentuk *txt. Data dibuka di *Microsoft Excel* untuk diubah satuannya dari *Degrees* (°) *Minutes* (‘) *Seconds* (“) menjadi meter. Nilai  diplotkan ke dalam grafik sebagai garis pantai awal. Untuk lebih jelasnya mengenai prosedur *tracking* garis pantai dapat dilihat di Gambar 10.

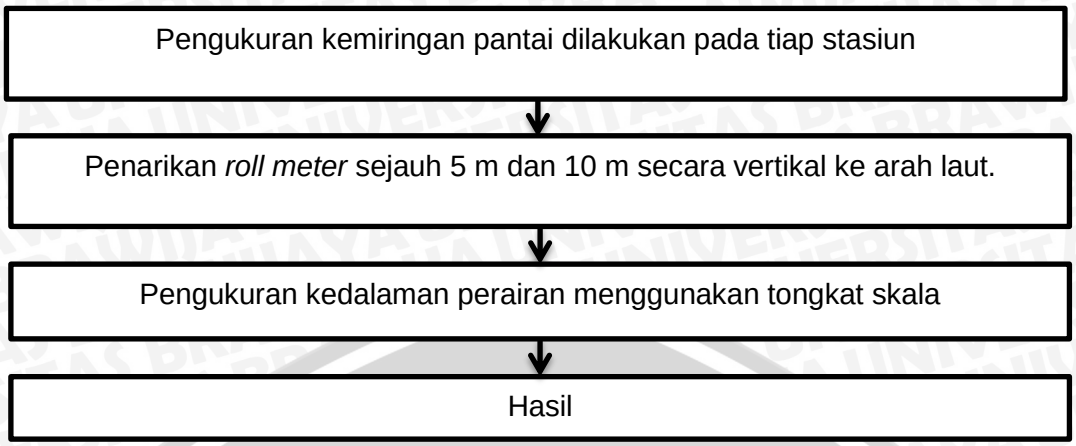



**Gambar 10.** Bagan Skema Kerja *Tracking* Garis Pantai

### 3.6.3 Pengukuran Kemiringan Pantai

Pengukuran kemiringan pantai dilakukan pada setiap stasiun dengan cara menarik *roll meter* sejauh 5 dan 10 meter secara vertikal ke arah laut. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Oktaviani (2014). Setelah itu kedalaman perairan diukur dengan menggunakan tongkat skala dan catat hasilnya.Nilai kemiringan (α) merupakan hasil bagi antara nilai kedalaman perairan (y) dan jarak dari pantai ke daerah yang diukur (x).

Untuk lebih jelasnya mengenai prosedur pengukuran kemiringan pantai dapat dilihat pada Gambar 11.




**Gambar 11.** Bagan Skema Kerja Pengukuran Kemiringan Pantai

### 3.6.4 Pengukuran Gelombang dan Penentuan Arah Angin

Pengukuran gelombang dilakukan sebagai verifikasi dari data sekunder dan untuk mengetahui kondisi gelombang pada saat penelitian di lapang. Pengukuran tersebut terdiri dari tinggi dan periode gelombang. Pengukuran dilakukan di setiap stasiun selama 15-20 menit dan dilakukan 3 kali pengukuran dalam satu hari. Alat yang digunakan dalam pengukuran ini adalah tongkat skala dan *stopwatch.* Selain melakukan pengukuran gelombang, juga dilakukan penentuan arah angin dengan menggunakan kompas pada masing-masing stasiun pengamatan.

### 3.6.5 Pengambilan Sampel Sedimen dan Uji Laboratorium

#### A. Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan secara manual dengan menggunakan sekop kecil. Peralatan lain yang digunakan adalah *cool box* untuk menyimpan plastik yang berisi sampel sedimen, sedangkan bahan yang digunakan terdiri dari plastik ukuran 1 kg, kertas label dan karet gelang. Proses pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel sedimen tiap stasiun sebanyak 500 gram. Sampel dimasukkan ke dalam plastik dan diikat menggunakan karet gelang lalu disimpan di dalam *cool box*.

**B. Uji Laboratorium**

Sampel sedimen dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengukuran ukuran butir sedimen dan massa jenis sedimen. Langkah-langkah yang dilakukan pada saat uji laboratorium adalah pengeringan sampel sedimen, pengayakan dan uji massa jenis.

- Pengeringan

Proses pengeringan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan oven dengan suhu 105° - 110° selama 24 jam. Pengeringan dilakukan untuk memperoleh berat kering sedimen. Setelah proses ini selesai, berat sedimen pada masing-masing nampan ditimbang.

- Pengayakan

Pengayakan sedimen kering dilakukan dengan menggunakan saringan bertingkat (ASTM *American Standard Testing Material).* Pengayakan dilakukan untuk memperoleh prosentase ukuran butir sedimen sesuai dengan ukuran saringan yang dipakai. Masing-masing saringan memiliki ukuran diameter yang berbeda , yaitu No. 4 (4.75 mm), No. 10 (2 mm), No. 20 (0.85 mm), No. 30 (0.6 mm), No. 40 (0.425 mm), No. 60 (0.25 mm), No. 100 (0.15 mm), No. 200 (0.075 mm) dan pan. Sampel sedimen dimasukkan ke saringan no 4, setelah itu saringan diletakkan pada *sieve shaker* untuk memulai proses pengayakan selama 5 menit. Kemudian dilakukan penimbangan berat sedimen tertahan pada masing-masing saringan.

- Uji Massa Jenis

Uji massa jenis dilakukan untuk mendapatkan nilai massa jenis sedimen. Uji ini dilakukan dengan menggunakan piknometer. Sebelum dilakukan uji massa jenis, perlu dilakukan kalibrasi piknometer dengan 5 kali pengulangan.

Kalibrasi piknometer dimulai dengan pengisian air ke dalam piknometer hingga batas leher tabung. Piknometer dipanaskan di atas *hot plate* hingga mendidih. Angkat tabung piknometer, tambahkan air hingga penuh, kemudian tutup hingga ada air yang keluar. Timbang piknometer dan catat sebagai berat piknometer + air. Ukur suhu sesaat setelah penimbangan dan diamkan tabung dalam keadaan terbuka selama ± 3 menit. Lakukan langkah yang sama tanpa dipanaskan kembali sebanyak 5 kali untuk membentuk garis linear. Garis linear berfungsi untuk mengetahui hubungan antara sumbu x (suhu) terhadap sumbu y (berat piknometer +air). Masukkan data suhu dan berat piknometer +air ke *Excel* untuk mendapatkan grafik linier dengan persamaan y = - ax+b.

setelah dilakukan kalibrasi piknometer, dilakukan uji massa jenis sedimen. Timbang sampel sedimen hasil saringan no. 10 sebanyak 20 gram dan masukkan ke dalam tabung piknometer. Kemudian tambahkan air hingga batas leher tabung. Panaskan tabung dengan menggunakan *hot plate* hingga mendidih. Angkat tabung dan tambahkan air ke dalam tabung hingga penuh, kemudian tutup tabung hingga ada air yang keluar melalui tutup tabung. Bersihkan tabung menggunakan tisu, kemudian timbang dan catat sebagai berat piknometer + air + tanah. Lakukan pengukuran suhu dengan menggunakan termometer sesaat setelah penimbangan. Diamkan tabung dalam keaadaan terbuka ± 3 menit, kemudian lakukan langkah yang sama tanpa dipanaskan kembali sebanyak 3 kali. Masukkan nilai yang didapat ke dalam tabel massa jenis.

## C. Analisis Data Sedimen

Data yang dianalisis merupakan data yang diperoleh melalui uji ayakan. Proses analisis dilakukan dengan bantuan *Microsoft Excel* 2010, seperti contoh pada Tabel 7 dan Tabel 8.

- Analisis Saringan

**Tabel 7.** Tabel Analisa Saringan

| **Contoh** | | **Berat Sedimen Kering: gram** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Saringan** | | **Tertahan saringan (gr)** | **Jumlah tertahan (gr)** | **% jumlah tertahan** | **% lolos saringan** | **% Berat Sedimen** |
| **Ukuran** | **No** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4.75 mm | 4 | | | | | |
| 2 mm | 10 | | | | | |
| 0.85 mm | 20 | | | | | |
| 0.6 mm | 30 | | | | | |
| 0.425 mm | 40 | | | | | |
| 0.25 mm | 60 | | | | | |
| 0.15 mm | 100 | | | | | |
| 0.075 mm | 200 | | | | | |
| Pan | | | | | | |

Keterangan tabel:

1. Data
2. Data
3. $\frac{Jumlah\ tertahan}{Jumlah\ sedimen\ kering}\ x\ 100$
4. 100 – (3)
5. $\frac{Tertahan\ saringan}{Jumlah\ sedimen\ kering}\ x\ 100$

**Tabel 8.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen

| No. | Ukuran butir Sedimen | Jenis sedimen | | Prosentase (%) | Jumlah prosentase (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-4 mm | Kerikil | | | |
| 2 | 1-2 mm | Pasir | Sangat kasar | | |
| 3 | 0.5-1 mm | | Kasar | | |
| 4 | 0.25-0.5 mm | | Sedang | | |
| 5 | 0.125-0.25 mm | | Halus | | |
| 6 | 0.063-0.125 mm | | Sangat halus | | |
| 7 | 0.004-0.063 mm | Lanau | | | |
| 8 | <0.004 mm | Lempung | | | |

Keterangan tabel:

- Nomor 1-7 berisikan data hasil analisa saringan
- Nomor 8, 100% dikurangi jumlah persentase tabel nomor 1-7

**Tabel 9.** Tabel Analisa Massa Jenis Sedimen

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | | | |
| 2 | Stasiun | | | | |
| 3 | Berat Tanah Kering (Ws) | Gram | | | |
| 4 | Suhu | (°C) | | | |
| 5 | Berat Labu Ukur + Air (W1) | Gram | | | |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W2) | Gram | | | |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) | Gram/cm$^3$ | | | |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | Gram/cm$^3$ | | | |
| 9 | Rata-rata Berat Jenis Tanah | Gram/cm$^3$ | | | |

Keterangan :

1. No labu, 2. Data, 3. Data, 4. Data, 5. Data, 6. Data

7.Dari tabel *specific gravity of water* 8.$Gs = \frac{Gt * Ws}{Ws - W2 + W1}$

9. Rata-rata (8)

### 3.6.6 Pengolahan Data Gelombang

Data gelombang terdiri dari hasil pengukuran langsung dan data gelombang hasil konversi data angin. Data gelombang yang diolah dari data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Meteorologi Ngurah Rai, Kuta-Badung, Bali perlu diproses terlebih dahulu. Proses pengolahan data gelombang dari data angin terdiri dari peramalan

gelombang dari data angin, penentuan karakteristik gelombang dan transformasi gelombang.

**A. Peramalan Gelombang dari Data Angin**

Sebelum dilakukan peramalan tinggi dan periode gelombang, data angin tersebut perlu dilakukan koreksi terlebih dahulu. Data tersebut dikoreksi sesuai acuan dari buku *Shore Protection Manual* (SPM) 1984.

Langkah-langkah pengolahan data gelombang berdasarkan data angin adalah sebagai berikut:

1. Penentuan arah angin dominan

Penentuan arah angin dominan dilakukan dengan menggunakan *software* WrPLOT.

2. Perhitungan *fetch* efektif

Perhitungan *fetch* efektif dilakukan dengan menggunakan bantuan peta topografi dengan skala yang cukup besar, sehingga dapat terlihat pulau-pulau atau daratan yang mempengaruhi pembentukan gelombang di suatu lokasi. *Fetch* rata-rata efektif diberikan oleh persamaan berikut:

$$F_{eff} : \frac{\sum Xi.\cos\alpha}{\sum \cos\alpha} \qquad (3.2)$$

Dimana:

$F_{eff}$ : *Fetch* rata-rata efektif

$X_i$ : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

A : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

3. Perhitungan *wind stress factor*

*Wind stress* factor adalah data angin yang telah dimodifikasi. Untuk mengubah data angin menjadi *wind stress* factor perlu dilakukan koreksi dan konversi terlebih dahulu yang terdiri dari koreksi ketinggian, koreksi durasi, koreksi stabilitas, koreksi efek lokasi, dan konversi ke *wind stress factor.*

- Koreksi ketinggian

  Koreksi ketinggian digunakan ketika data kecepatan angin yang dimiliki tidak pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Koreksi ketinggian dilakukan dengan menggunakan persamaan:

  $$U_{(10)} = U_{(y)}\left(\frac{10}{y}^{1\ 7}\right) \quad (3.3)$$

- Koreksi efek lokasi

  Koreksi efek lokasi dilakukan apabila data angin yang diperoleh bukan berasal dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau tepi pantai melainkan di darat. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan diberikan oleh persamaan . Untuk mendapatkan nilai $R_L$ tersebut digunakan grafik hubungan antara angin di atas daratan dan di laut menurut grafik SPM 1984 seperti pada Gambar 2. Apabila data kecepatan angin merupakan hasil pengukuran di atas permukaan laut, maka koreksi ini diabaikan atau nilai $R_L = 1$.

- Koreksi stabilitas

  Koreksi stabilitas diperlukan ketika terdapat perbedaan suhu udara di darat dan di laut. Perbedaan suhu tersebut dihitung dengan persamaan:

  $$\Delta T = Ta - Ts \quad (3.4)$$

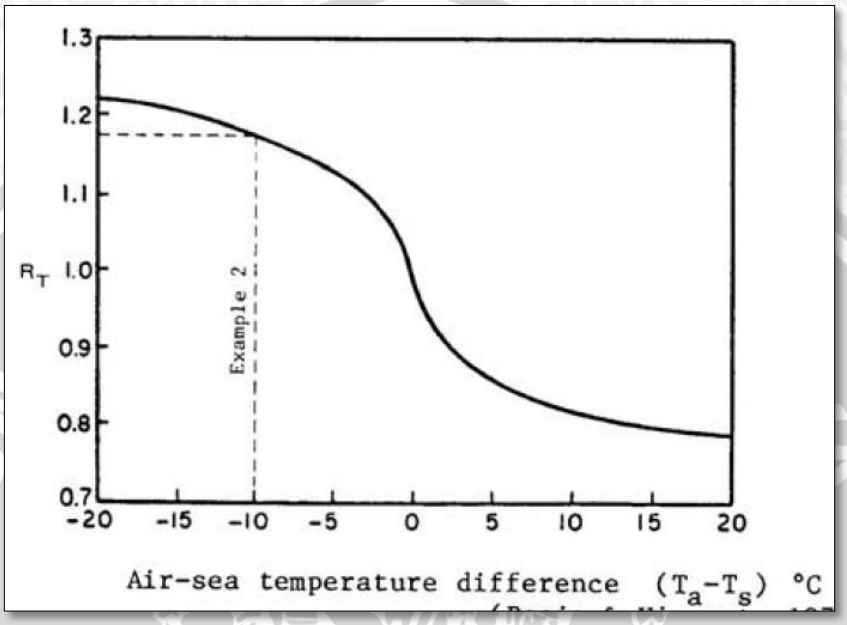
  Dimana:

  $\Delta T$ : Selisih suhu udara

  Ta : Suhu udara di daratan

  Ts : Suhu udara di laut

Setelah didapatkan nilai perbedaan suhu udara di darat dan laut, maka dapat diketahui nilai koefisien stabilitas ($R_T$) dengan melihat grafik koreksi stabilitas berdasarkan acuan SPM 1984 dan dapat dilihat pada Gambar 12.




**Gambar 12.** Grafik Koreksi Stabilitas (Triatmodjo, 1999).

Setelah didapatkan nilai $R_T$, dihitung nilai kecepatan angin dengan persamaan:

$$U = R_T U_{(10)} \quad (3.5)$$

Dimana:

U : Kecepatan angin setelah koreksi stabilitas (m/s)

U(10) : Kecepatan angin setelah dikonversi dengan koreksi sebelumnya (m/s)

$R_T$ : Koefisien stabilitas

Apabila data suhu udara darat dan laut tidak diketahui, maka nilai $R_T$ = 1.10.

- Konversi ke *wind stress factor*

Setelah koreksi dan konversi kecepatan telah dilakukan, selanjutnya dilakukan konversi kecepatan angin tersebut menjadi *wind stress factor* dengan mengggunakan persamaan:

$$U_A = 0.71U^{1.23} \quad (3.6)$$

4. Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang

- Analisis perbandingan pada persamaan berikut:

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{g.Feff}{U_A^2}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \leq 7.15 \times 10^4 \quad (3.7)$$

Jika tidak memenuhi persamaan tersebut, maka gelombang yang terbentuk merupakan gelombang *fully delevoped* dan langsung dicari nilai tinggi dan periode gelombang dengan persamaan:

$$H_{mo} = \frac{0.2433 \, x \, U^2{}_A}{g} \quad (3.8)$$

$$T_p = \frac{8.314 \, x \, U_A}{g} \quad (3.9)$$

- Sedangkan apabila nilai yang didapatkan memenuhi persamaan tersebut maka gelombang yang terbentuk adalah *non fully developed*. Terdapat 2 jenis gelombang *non fully developed,* yaitu terbatas *fetch* (*fetch limited*) dan terbatas durasi (*duration limited*). Untuk membedakannya, dihitung nilai durasi kritis (tc) dengan persamaan:

$$t_c = \frac{68.8 \, x \, U_A}{g} \left(\frac{g \, xF_{eff}}{U_A^2}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.10)$$

- Setelah didaptkan nilai (durasi kritis) tc, dibandingkan dengan nilai (durasi yang ditentukan) td.
- Apabila tc ≤ td, maka gelombang yang terbentuk karena *fetch limited*. Tinggi dan periode gelombang dicari dengan persamaan:

$$H_{mo} = \frac{0.0016 \, x \, U^2{}_A}{g} \left(\frac{g \, xF_{eff}}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

$$T_p = \frac{0.2857 \, x \, U_A}{g} \left(\frac{g \, xF_{eff}}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.12)$$

- Jika tc≥ td, maka gelombang yang terbentuk karena *duration limited*. Sebelum dilakukan perhitungan tingggi dan periode gelombang, dicari nilai Fmin untuk mengganti nilai *fetch* efektif dengan persamaan:

$$F_{min} = \frac{U_A^2}{g}\left(\frac{gt_d}{68.6U_A}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.13)$$

Setelah didapatkan nilai Fmin, tinggi dan periode dicari dengan persamaan

**B. Penentuan Karakteristik Gelombang**

Dalam perencanaan bangunan pantai perlu diketahui nilai dari gelombang representatif. Gelombang representative yang paling banyak digunakan adalah gelombang signifikan $H_s$. Nilai $H_s$ dihitung dengan rumus:

n = 33,3% x ∑ data (3.14)

$$H_s = \frac{\sum H}{n} \quad (3.15)$$

$$T_s = \frac{\sum T}{n} \quad (3.16)$$

**C. Perhitungan Transformasi Gelombang**

Perhitungan transformasi gelombang dilakukan untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang pecah (Hb) dan kedalaman gelombang pecah (db) yang selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan numerik perubahan garis pantai.

- Koefisien Refraksi (Kr)

Perhitungan nilai koefisien refraksi dimulai dengan penentuan sudut datang gelombang (α) dan penentuan kedalaman (d) untuk mengetahui daerah yang ingin diketahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan. Panjang gelombang laut dalam (Lo) dihitung dengan menggunakan rumus Lo = 1.56 $T^2$. Kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama (Co) dihitung dengan rumus Co = $\frac{Lo}{T}$, kemudian, dilakukan pembagian antara nilai kedalaman (d) dan panjang gelombang laut dalam (Lo). Untuk nilai $\frac{d}{Lo}$ , dari Tabel L-1 didapatkan

nilai $\frac{d}{L}$, sehingga nilai L dapat dihitung. Nilai Kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama (C) dihitung berdasarkan rumus C = $\frac{L}{T}$ . Arah datang gelombang pada kedalaman (d) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11) dan koefisien refraksi dihitung dengan menggunakan persamaan (2.12).

- Koefisien Difraksi (K')

Perhitungan nilai difraksi dilakukan pada stasiun yang memiliki penghalang gelombang, apabila stasiun tersebut tidak memiliki penghalang gelombang, maka nilai K' dianggap 1. Perhitungan K' dimulai dengan mencari nilai $\frac{d}{Lo}$ , dimana d merupakan kedalaman dibelakang penghalang gelombang. Untuk nilai $\frac{d}{Lo}$ , dari Tabel L-1 didapatkan nilai $\frac{d}{L}$, sehingga nilai L. Kemudian, dihitung nilai $\frac{r}{L}$ . Dengan menggunakan tabel koefisien difraksi gelombang, maka nilai koefisien difraksi (K') didapatkan.

- Tinggi dan Kedalaman Gelombang Pecah (Hb, db)

Untuk mencari nilai tinggi gelombang pecah (Hb) dan kedalaman gelombang pecah (db), mula-mula perlu dihitung nilai tinggi gelombang laut dalam ekivalen (H'0) dengan menggunakan persamaan (2.17) dan kemudian dihitung nilai pada persamaan (2.18). Hasil nilai tersebut beserta nilai kedalaman (m) diplotkan ke dalam Gambar untuk mendapatkan nilai $\frac{Hb}{H'0}$, sehingga nilai Hb dapat dihitung. Untuk menghitung nilai kedalaman gelobang pecah (db), digunakan persamaan (2.14).

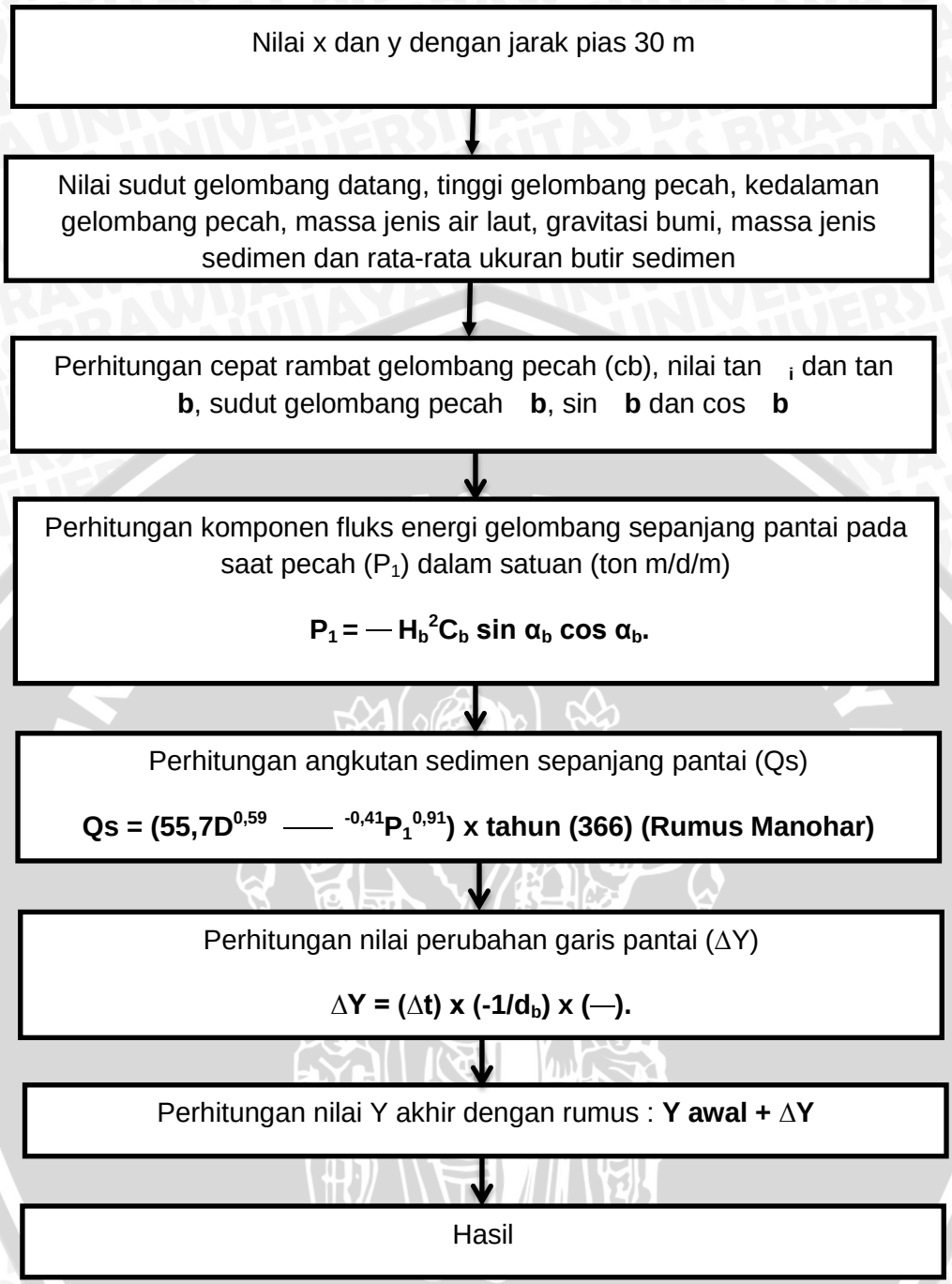
### 3.6.7 Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai

Perhitungan numerik dari data pengukuran insitu diselesaikan dengan menggunakan *Microsoft Excel.* Komponen-komponen yang dimasukkan dalam perhitungan numerik ini adalah nilai lintang (y) dan bujur (x) dari data GPS dalam

satuan meter, nilai sudut datang gelombang ($\alpha_0$), tan sudut datang gelombang (tan $\alpha_0$), jarak antar pias pada saat pengukuran ($\Delta x$) dalam satuan meter, lama waktu prediksi ($\Delta t$) dalam tahun, gravitasi bumi ( g = 9,8 m/s$^2$), tinggi gelombang pecah dalam satuan meter (Hb), kedalaman gelombang pecah dalam satuan meter (db), massa jenis air laut ($\rho$ = 1025 ton/m$^3$) dan cepat rambat gelombang pecah (cb) dalam m/s.

Pada *worksheet Excel* , nilai x yaitu nilai *longitude* di*input* ke dalam kolom pertama dengan jarak antar pias sebesar 30 meter, pada kolom kedua di*input* nomor urutan pias, kolom ketiga berisikan nilai y (dalam meter) sebagai data awal. Pada kolom keempat, dilakukan perhitungan nilai tan $\alpha_i$ , dimana $\alpha_i$ merupakan sudut yang dibentuk oleh garis pantai sejajar sumbu x, antara sel Y(i) dan sel Y(i+1) yang dinyatakan dengan rumus tan $\alpha_i = \frac{Y(i)-Y(i+1)}{\Delta x}$ . Pada kolom kelima, dilakukan perhitungan nilai tangen sudut gelombang pecah ($\alpha_b$) dengan menggunakan rumus tan $\alpha_b = \frac{(\tan \alpha i + \tan \alpha 0)}{(1+(\tan \alpha i \, x \, \tan \alpha 0))}$, kemudian dicari nilai $\alpha_b$, sin $\alpha_b$ dan cos $\alpha_b$.

Pada kolom 9 berisikan perhitungan nilai komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ($P_1$) dalam satuan (ton m/d/m) yang dinyatakan dalam rumus: $P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai angkutan sedimen sepanjang pantai dengan menggunakan rumus Manohar dengan persamaan: $Qs = (55{,}7 D^{0{,}59} (\frac{\rho s - \rho}{\rho})^{-0{,}41} P_1^{0{,}91})$ x tahun (366). Nilai perubahan garis pantai ($\Delta Y$) dihitung dengan menggunakan rumus $\Delta Y = (\Delta t)$ x $(\frac{-1}{db})$ x $(\frac{Qs}{\Delta x})$. Langkah terakhir yang dilakukan adalah mencari nilai Y akhir dengan rumus: Y akhir = Y awal + $\Delta$Y. Setelah itu lakukan *plotting* garis pantai awal dan garis pantai akhir ke dalam bentuk grafik. Untuk lebih jelasnya mengenai prosedur perhitungan numerik dapat dilihat pada Gambar 13.




**Gambar 13.** Bagan Skema Kerja Perhitungan Numerik

# 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Profil Lokasi Penelitian

Pantai Kuta terletak di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Kabupaten Badung merupakan satu dari delapan kabupaten yang ada di Bali. Kabupaten Badung terletak di 08°14'17" – 08°50'57 LS dan 115°05'02"-115°15'09" BT, dengan luas area sekitar 418,52 $km^2$. Berdasarkan Dirjen Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum, Bali (2007), Kabupaten Badung memiliki panjang garis pantai sebesar 64 km. Dari total garis pantai tersebut mengalami erosi sebesar 11,5 km pada 1987 dan 12,1 km pada 2007 (Triwahyuni, 2013).

Pantai Kuta merupakan pantai pasir putih yang memiliki topografi yang datar, terletak 1 meter di atas permukaan laut. Pantai Kuta salah satu pantai yang menjadi unggulan Indonesia, karena merupakan tujuan wisata bagi turis mancanegara, dan telah menjadi objek wisata andalan sejak awal 70-an. Sebagai kawasan wisata yang dikenal luas, Pantai Kuta telah menjadi sentra perekonomian di Bali (Wijayanti *et al*., 2012).

Dijelaskan dalam Wijayanti *et al.,* (2012), akibat dari kerusakan pantai terutama erosi di Pantai Kuta maka dilakukan proyek perlindungan pantai (Gambar 17) oleh pemerintah melalui Kantor Balai Wilayah Sungai Bali-Nusa Penida Dirjen Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum (PU) yang telah selesai pada tahun 2008, dengan melakukan pembangunan:

1. Bangunan pemecah gelombang (*Breakwater)*

Bangunan pemecah gelombang (*breakwater)* merupakan struktur yang didesain untuk melindungi pantai dari energi gelombang dengan mengurangi energi gelombang yang datang ke pantai. Pada umumnya, *breakwater* dibangun dengan menggunakan batu alam maupun batu buatan (CERC, 1984). Pada

proyek perlindungan Pantai Kuta, dibangun *breakwater* sebanyak 3 unit dengan panjang total 370 m.

**Gambar 14.** *Breakwater* di Pantai Kuta

2. *Revetment*

Revetment merupakan struktur pelindung pantai yang dibangun sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai untuk memisahkan wilayah darat dengan laut. Tujuan dibangunnya *revetment* adalah untuk melindungi wilayah daratan dari erosi yang diakibatkan oleh gelombang dan arus (CERC, 1984). Pembangunan *revetment* di Pantai Kuta adalah sepanjang 1.227 m.

**Gambar 15.** *Revetment* di Pantai Kuta

3. *Sand Nourishment*

*Sand Nourishment* adalah pengisian kembali dengan material bahan sedimen (biasanya pasir) untuk menggantikan sedimen yang terbawa air laut (Aldin *et al*., 2015). Volume pasir yang digunakan untuk proyek perlindungan Pantai Kuta adalah sebesar 519.605 $m^3$

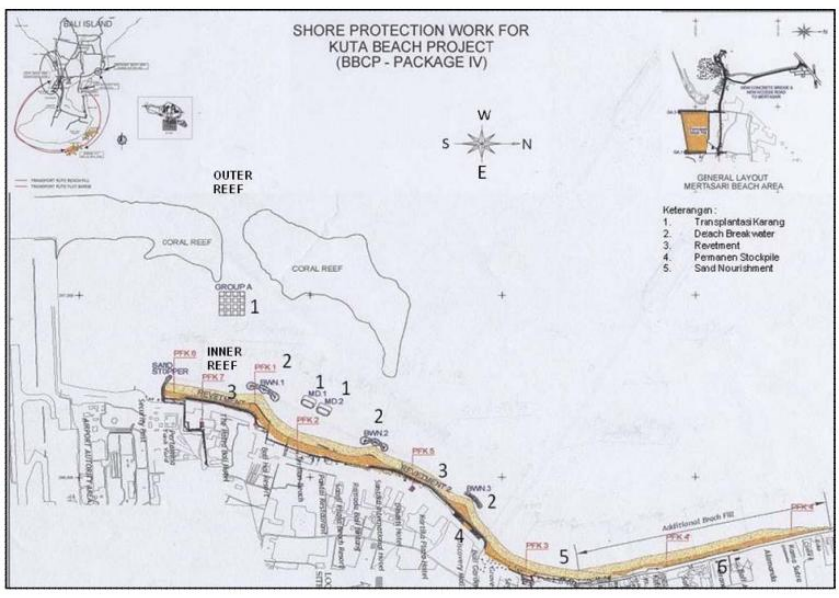
4. *Permanent Sand Stockpile*

*Permanent Sand Stockpile* merupakan bangunan pelindung pantai yang terletak tegak lurus pantai berfungsi untuk menahan transpor sedimen sepanjang pantai.

**Gambar 16.** *Permanent Sand Stockpile* di Pantai Kuta

5. Transplantasi karang

Transplantasi karang adalah proses untuk membantu pemulihan ekosistem karang yang telah menurun, rusak dan hancur. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas terumbu karang yang telah terdegradasi dalam hal struktur dan fungsi ekosistem (Edwards dan Gomez, 2008). Total luas ekosistem karang yang mengalami transplantasi adalah sebesar 17.000 $m^2$.

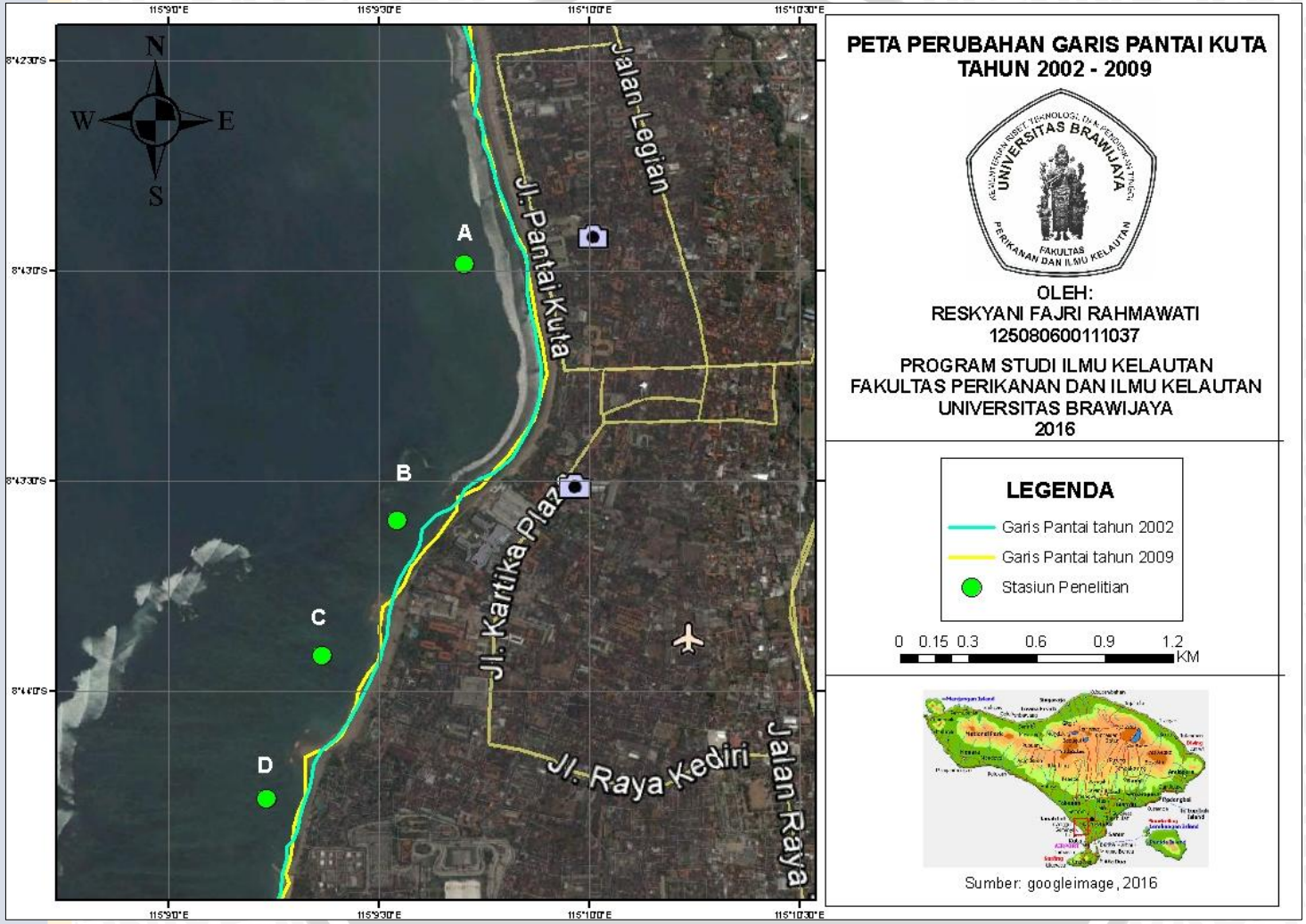



**Gambar 17.** Proyek Perlindungan Pantai Kuta (Wijayanti *et al.,* 2012)

## 4.2 Hasil Pengolahan Data Citra Satelit

Pengolahan data citra dilakukan pada citra tahun 2002, 2009 dan 2015. Citra yang telah didigitasi kemudian di*overlay* untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi. Dari pengolahan data ini didapatkan peta perubahan garis pantai tahun 2002 – 2009, 2009 – 2015 dan 2002 – 2015 kemudian dilakukan perhitungan jarak perubahan yang terjadi dalam jangka waktu tersebut.

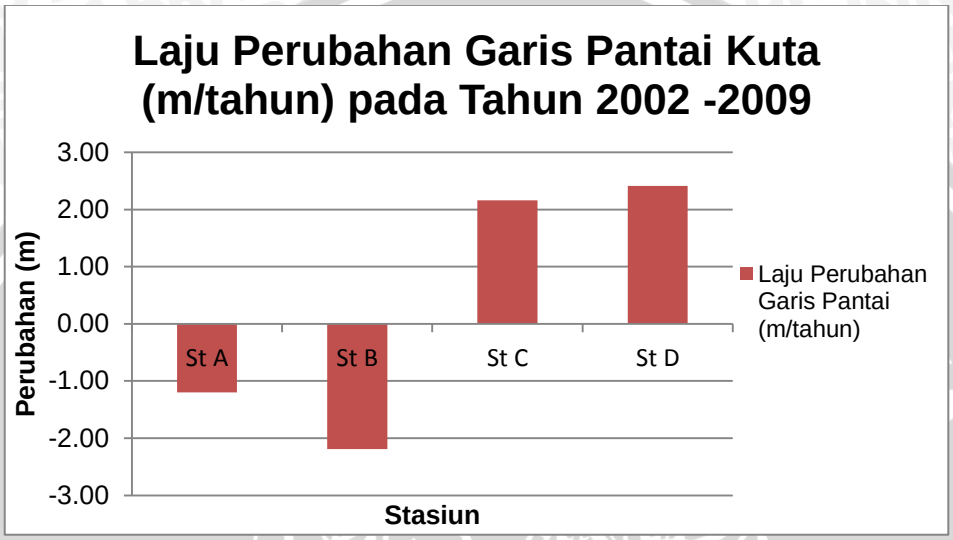
Peta perubahan garis pantai Kuta tahun 2002 – 2009 ditampilkan pada Gambar 18 dan rata- rata jarak perubahan garis pantai pada masing-masing stasiun disajikan pada Tabel 10.




**Gambar 18.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 – 2009

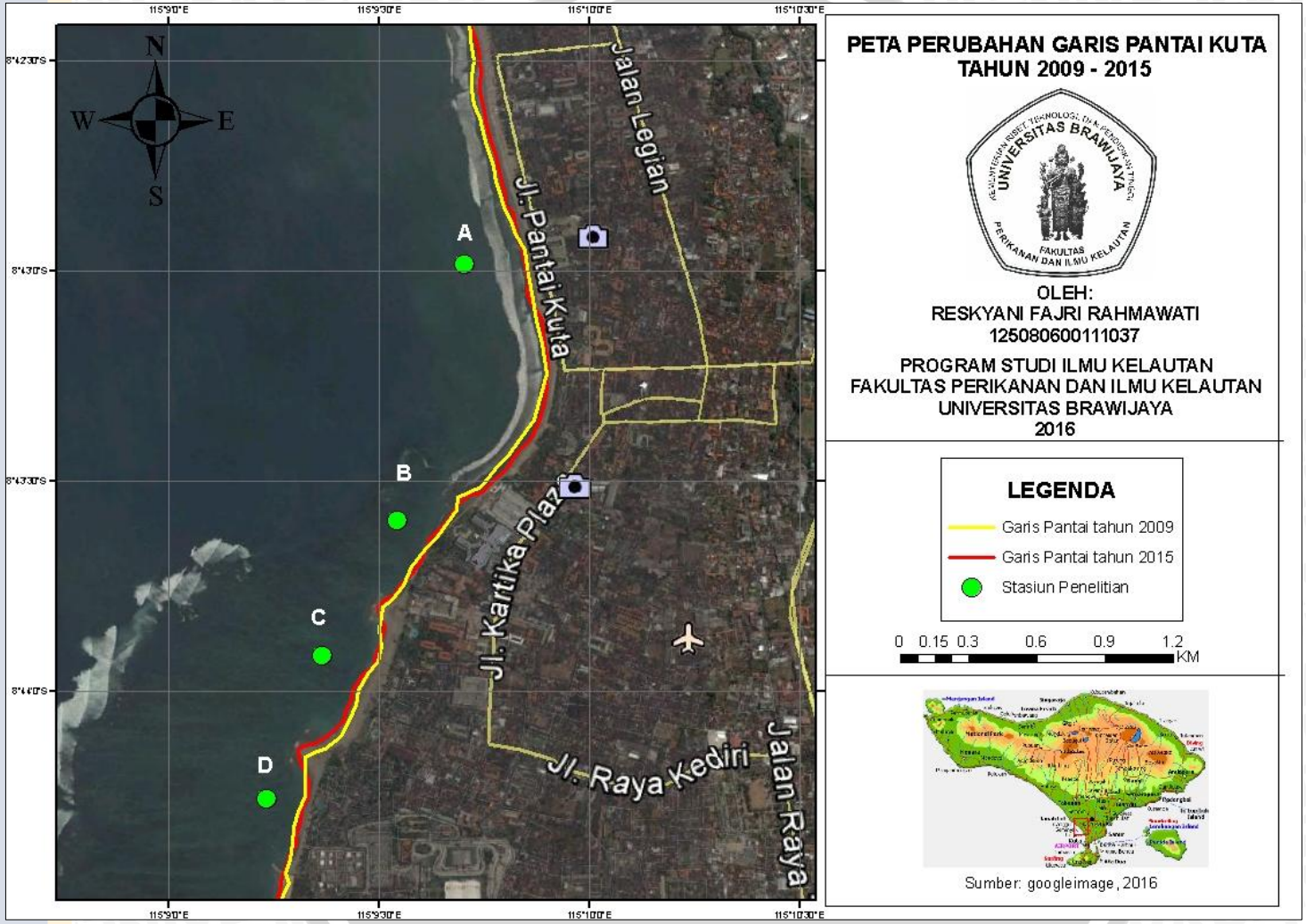
**Tabel 10.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 -2009

| Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Tahun 2002 -2009 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| m/ 7 tahun | -8.41 | -15.36 | 15.11 | 16.87 |
| m/ tahun | -1.20 | -2.19 | 2.16 | 2.41 |




**Gambar 19.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 - 2009

Dilihat dari Gambar 18, dalam kurun waktu 7 tahun (2002 – 2009), pantai Kuta mengalami perubahan garis pantai berupa erosi dan sedimentasi. Pada tahun 2002 -2009, stasiun A cenderung mengalami kemunduran garis pantai atau erosi. Dari hasil perhitungan jarak perubahan garis pantai diketahui bahwa nilai perubahan garis pantai di stasiun A adalah sebesar -8.41 m/7 tahun atau sebesar -1.20 m/tahun, nilai minus menunjukkan bahwa telah terjadi proses erosi. Pada stasiun B juga mengalami erosi sebesar -15.36 m/7 tahun atau sebesar -2.19 m/tahun. Pada stasiun C dan stasiun D cenderung mengalami sedimentasi atau majunya garis pantai. Pada stasiun C jarak perubahan garis pantai pada tahun 2002-2009 adalah 15.11 m/7 tahun atau 2.16 m/tahun sedangkan pada stasiun D jarak perubahan yang terjadi adalah sebesar 16.87 m/7 tahun atau 2.41 m/tahun.

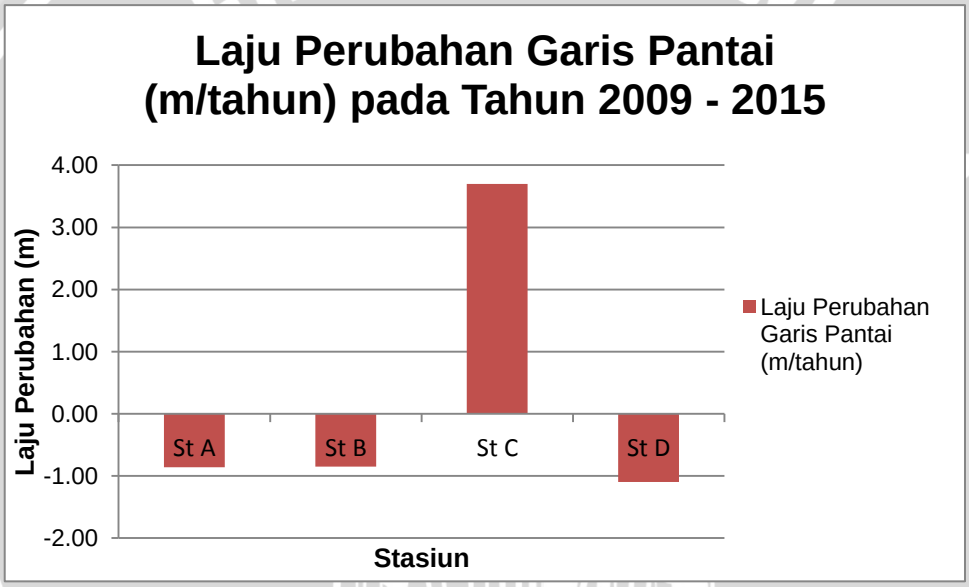



**Gambar 20.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 – 2015

Peta perubahan garis pantai Kuta tahun 2009 – 2015 dapat dilihat pada Gambar 20 dan jarak perubahan garis pantai pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 - 2015

| Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Tahun 2009 -2015 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| m/ 6 tahun | -5.14 | -5.07 | 22.22 | -6.60 |
| m/ tahun | -0.86 | -0.85 | 3.70 | -1.10 |

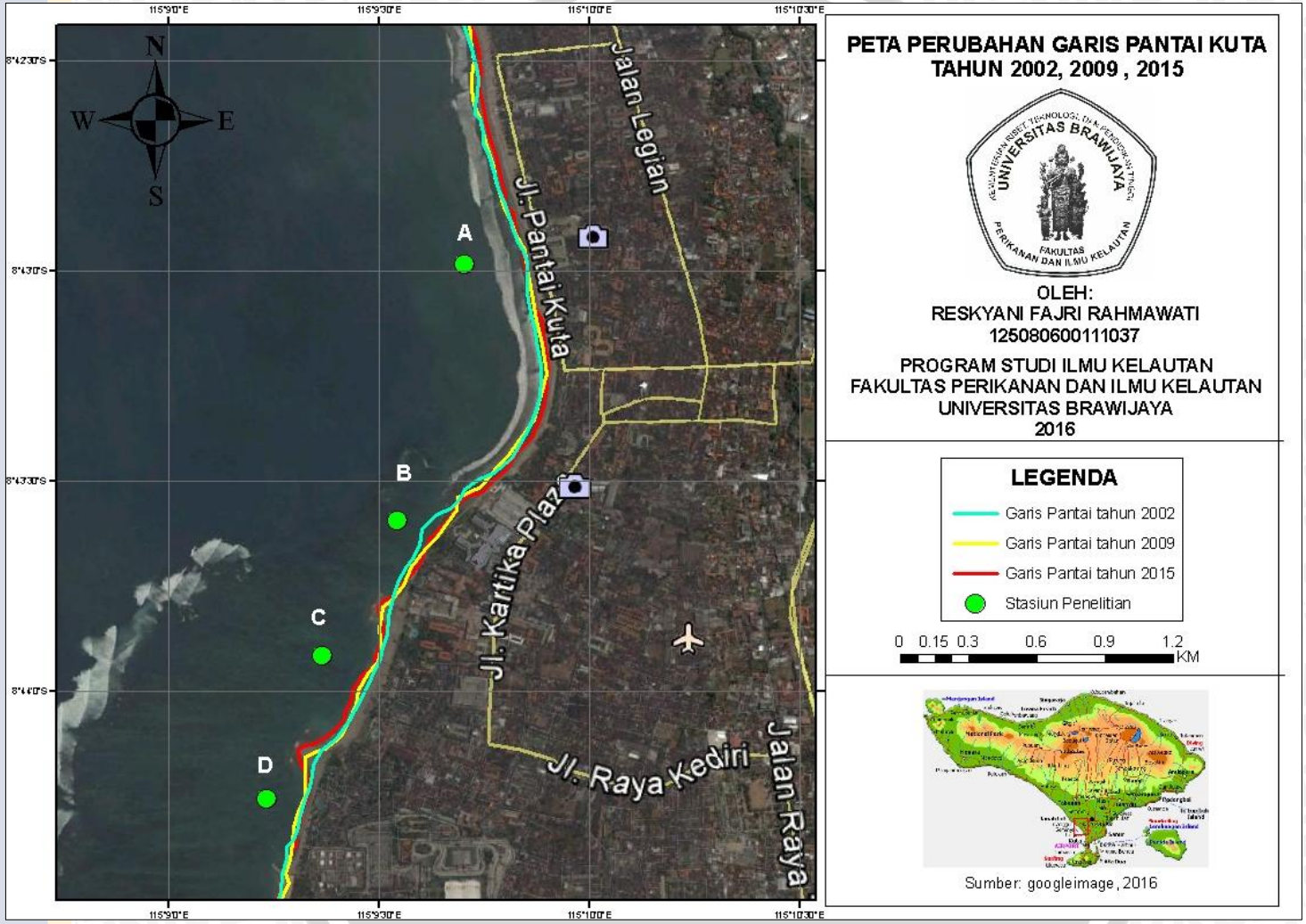



**Gambar 21.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2009 - 2015

Setelah dilakukan proyek perlindungan pantai Kuta pada tahun 2008, jarak perubahan garis pantai pada masing-masing stasiun dalam jangka waktu 2009 – 2015 menunjukkan perubahan yang lebih kecil dibandingkan pada kurun waktu 2002 – 2009 kecuali pada stasiun C. Pada stasiun A masih mengalami erosi sebesar -5.14 m/6 tahun atau -0.86 m/tahun. Pada stasiun B, jarak perubahan yang terjadi adalah sebesar -5.07 m/6 tahun atau -0.85 m/tahun. Jarak ini sangat kecil jika dibandingkan dengan tahun 2002 - 2009 yaitu sebesar -2.19 m/tahun. Hal tersebut disebabkan karena pada stasiun B telah dipasang

*revetment* pada pinggir pantai sehingga proses erosi dapat terminimalisir. Pada stasiun C yang mulanya mengalami sedimentasi sebesar 2.16 m/tahun, dalam kurun waktu 2009 -2015 jarak perubahan semakin meningkat menjadi 22.22 m/6 tahun atau sebesar 3.70 m/ tahun. Dalam kurun waktu 2009 -2015, stasiun D cenderung mengalami erosi yaitu sebesar -6.60 m/6 tahun atau sebesar -1.10 m/tahun

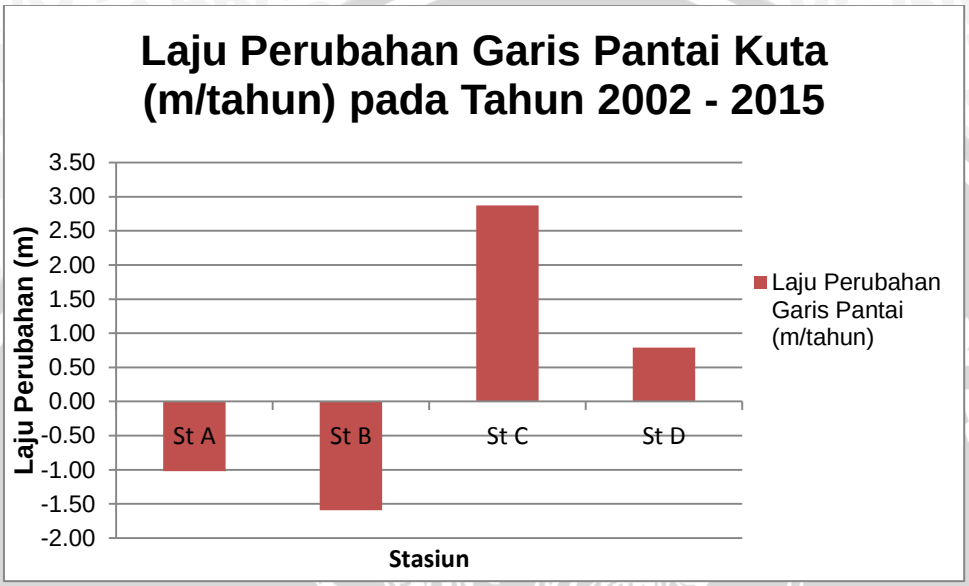
Peta perubahan garis pantai Kuta tahun 2002 – 2015 disajikan pada Gambar 22 dan jarak perubahan garis pantai disajikan pada Tabel 12.




**Gambar 22.** Peta Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 – 2015

**Tabel 12.** Tabel Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Tahun 2002 - 2015

| Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Tahun 2002 -2015 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| m/ 13 tahun | -13.55 | -20.43 | 37.33 | 10.27 |
| m/ tahun | -1.04 | -1.57 | 2.87 | 0.79 |



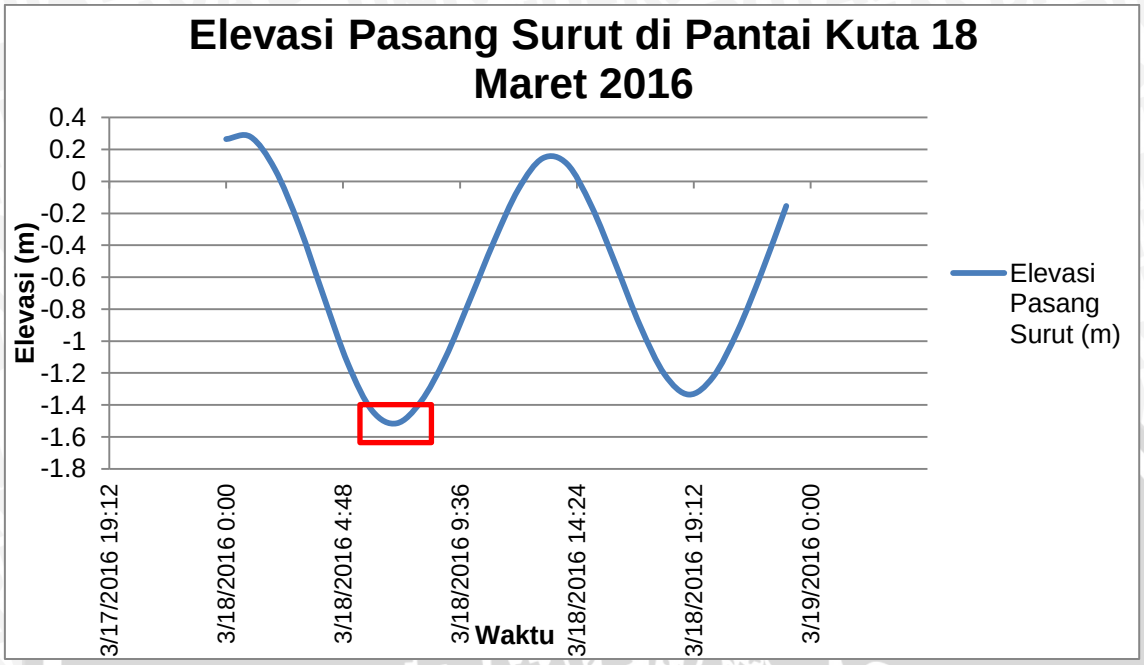

**Gambar 23.** Grafik Perubahan Garis Pantai Kuta (m/tahun) Tahun 2002 - 2015

Dalam kurun waktu 13 tahun, stasiun A dan B cenderung mengalami erosi, sedangkan stasiun C dan D cenderung mengalami sedimentasi. Stasiun A mengalami erosi sebesar -13.55 m atau sebesar -1.04 m/tahun. Stasiun B mengalami erosi sebesar -20.43 m/ 13 tahun atau sebesar -1.57 m/tahun. Stasiun C mengalami sedimentasi sebesar 37.33 m/13 tahun atau sebesar 2.87 m/tahun dan stasiun D mengalami sedimentasi sebesar 10.27 m/13 tahun atau sebesar 0.79 m/tahun.

### 4.3 Hasil Data Kemiringan Pantai

Data kemiringan pantai didapatkan hasil bagi antara nilai kedalaman perairan dan jarak dari pantai ke daerah yang diukur. Pengukuran kedalaman dilakukan pada tanggal 18 Maret 2016 bersamaan dengan *tracking* garis pantai yaitu pada kondisi surut terendah, hal ini bertujuan untuk mengetahui batas antara daratan dan lautan.

Pengukuran dilakukan mulai pukul 06.00 WITA. Rentang waktu pengukuran ditunjukkan oleh kotak berwarna merah pada Gambar 24.




**Gambar 24.** Grafik Elevasi Pasang Surut Pantai Kuta 18 Maret 2016

Pengukuran kedalaman dilakukan pada setiap stasiun, dimana pada tiap stasiun terdapat beberapa titik perwakilan lokasi yang akan diukur kemiringan pantainya. Data kemiringan pantai digunakan untuk menghitung nilai tinggi gelombang pecah (Hb) dan kedalaman gelombang pecah (db). Data hasil perhitungan kemiringan pantai dapat dilihat pada Tabel 13.

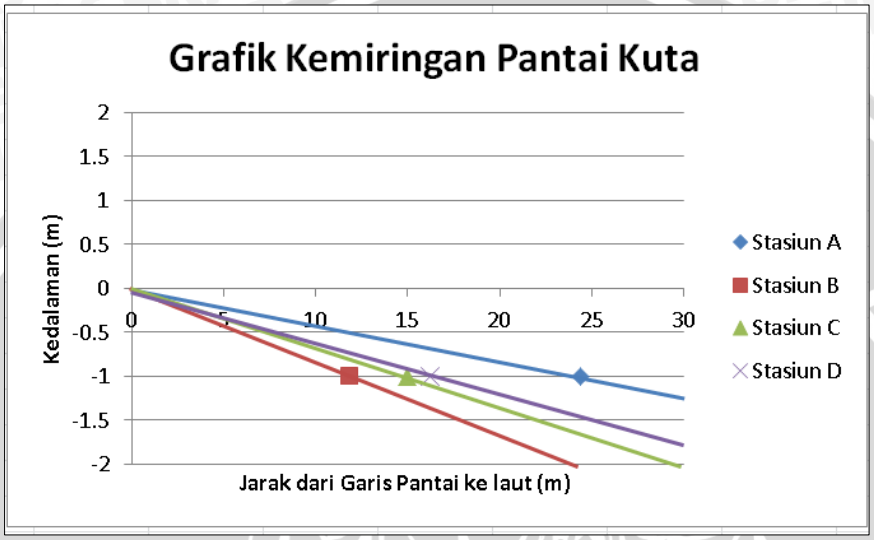
**Tabel 13.** Data Hasil Perhitungan Kemiringan Pantai

| St | Titik | X (m) | y (m) | α (m) | Rata-rata (m) | Rata-rata kemiringan per stasiun (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 5 | 0.21 | 1:23.80 | 1:25.64 | 1:24.39 |
| | | 10 | 0.36 | 1:27.80 | | |
| | 2 | 5 | 0.25 | 1:20.00 | 1:22.7 | |
| | | 10 | 0.38 | 1:26.30 | | |
| | 3 | 5 | 0.20 | 1:25.00 | 1:25 | |

| St | Titik | X (m) | y (m) | α (m) | Rata-rata (m) | Rata-rata kemiringan per stasiun (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 0.40 | 1:25.00 | | |
| B | 1 | 5 | 0.48 | 1:10.40 | 1:11.41 | 1:11.83 |
| | | 10 | 0.79 | 1:12.66 | | |
| | 2 | 5 | 0.5 | 1:10.00 | 1:11.11 | |
| | | 10 | 0.8 | 1:12.50 | | |
| | 3 | 5 | 0.38 | 1:13.16 | 1:13.16 | |
| | | 10 | 0.76 | 1: 13.16 | | |
| C | 1 | 5 | 0.18 | 1: 27.78 | 1:28.17 | 1:14.98 |
| | | 10 | 0.35 | 1:28.57 | | |
| | 2 | 5 | 0.45 | 1:11.00 | 1:12.27 | |
| | | 10 | 0.72 | 1:13.89 | | |
| | 3 | 5 | 0.52 | 1:9.60 | 1:12.03 | |
| | | 10 | 0.62 | 1:16.13 | | |
| D | 1 | 5 | 0.22 | 1:22.73 | 1:27.39 | 1:16.20 |
| | | 10 | 0.29 | 1:34.48 | | |
| | 2 | 5 | 0.52 | 1:9.60 | 1:12.18 | |
| | | 10 | 0.6 | 1:16.67 | | |
| | 3 | 5 | 0.37 | 1:13.51 | 1:15.03 | |
| | | 10 | 0.59 | 1:16.95 | | |

Secara keseluruhan, Pantai Kuta memiliki kemiringan pantai sebesar 1:15.75. Dari Tabel 14, diketahui bahwa rata-rata kemiringan pantai pada stasiun A adalah sebesar 1:24.39, stasiun B sebesar 1:11.83, stasiun C sebesar 1:14.98 dan stasiun D sebesar 1: 16.20. Jika dibandingkan dengan stasiun lainnya, stasiun B memiliki nilai

kemiringan paling besar yaitu 1:11.83 yang berarti pada jarak 11.83 meter, nilai kedalaman adalah sebesar 1 meter. Nilai kemiringan akan mempengaruhi besar dan laju erosi yang terjadi pada tiap stasiun. Semakin besar nilai kemiringan atau semakin curam suatu wilayah maka erosi yang terjadi semakin tinggi. Grafik kemiringan Pantai Kuta disajikan pada Gambar 25.




**Gambar 25.** Grafik Kemiringan Pantai Kuta Tahun 2016

## 4.4 Data Sedimen Hasil Uji Laboratorium

### 4.4.1 Ukuran Butir Sedimen dan Jenis Sedimen

Hasil pengukuran butir sedimen pada masing-masing stasiun, yaitu stasiun A, B, C dan D disajikan di dalam bentuk tabel prosentase partikel penyusun sedimen.

Hasil analisa saringan pada stasiun A dapat dilihat pada Tabel 14. Dari tabel tersebut diketahui bahwa sedimen dominan pada stasiun A adalah pasir dengan prosentase 99.94 % dan jenis pasir yang paling dominan adalah pasir sedang (0.25-0.5 mm) dengan prosentase 48.48 % dan pasir sangat halus (0.063-0.125 mm) dengan prosentase 36.03 %. Jenis sedimen lanau (0.004-0.0063 mm) memiliki prosentase sebesar 0.60 %, kerikil dan lempung sebesar 0.00%.

**Tabel 14.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun A

| No. | Ukuran butir Sedimen | Jenis sedimen | | Prosentase (%) | Jumlah prosentase (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-4 mm | Kerikil | | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 1-2 mm | Pasir | Sangat kasar | 0.00 | 99.40 |
| 3 | 0.5-1 mm | | Kasar | 1.03 | |
| 4 | 0.25-0.5 mm | | Sedang | 48.48 | |
| 5 | 0.125-0.25 mm | | Halus | 13.87 | |
| 6 | 0.063-0.125 mm | | Sangat halus | 36.03 | |
| 7 | 0.004-0.063 mm | Lanau | | 0.60 | 0.60 |
| 8 | <0.004 mm | Lempung | | 0.00 | 0.00 |

Pada Tabel 15, menunjukkan bahwa sedimen di Stasiun B juga didominasi oleh pasir dengan prosentase sebesar 97.63 %. Jenis pasir dengan prosentase terbesar adalah pasir sangat halus (0.063-0.125 mm) sebesar 43.10 % diikuti dengan pasir sedang (0.25-0.5 mm) sebesar 35.34 %. Jenis sedimen lanau (0.004-0.063) memiliki prosentase sebesar 2.16 %, kerikil (2-4 mm) sebesar 0.22% dan lempung (<0.004 mm) sebesar 0.00%.

**Tabel 15.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun B

| No. | Ukuran butir Sedimen | Jenis sedimen | | Prosentase (%) | Jumlah prosentase (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-4 mm | Kerikil | | 0.22 | 0.22 |
| 2 | 1-2 mm | Pasir | Sangat kasar | 0.65 | 97.63 |
| 3 | 0.5-1 mm | | Kasar | 9.48 | |
| 4 | 0.25-0.5 mm | | Sedang | 35.34 | |
| 5 | 0.125-0.25 mm | | Halus | 9.05 | |
| 6 | 0.063-0.125 mm | | Sangat halus | 43.10 | |
| 7 | 0.004-0.063 mm | Lanau | | 2.16 | 2.16 |
| 8 | <0.004 mm | Lempung | | 0.00 | 0.00 |

Sama halnya dengan stasiun A dan B, stasiun C juga didominasi oleh jenis sedimen pasir dengan prosentase sebesar 99.74 % dengan jenis pasir dominan berupa pasir sedang (0.25-0.5 mm) sebesar 63.28 % (Tabel 16). Jenis sedimen lanau (0.004-0.063) memiliki prosentase sebesar 0.26%, kerikil (2-4 mm) dan lempung (<0.004 mm) sebesar 0.00%.

**Tabel 16.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun C

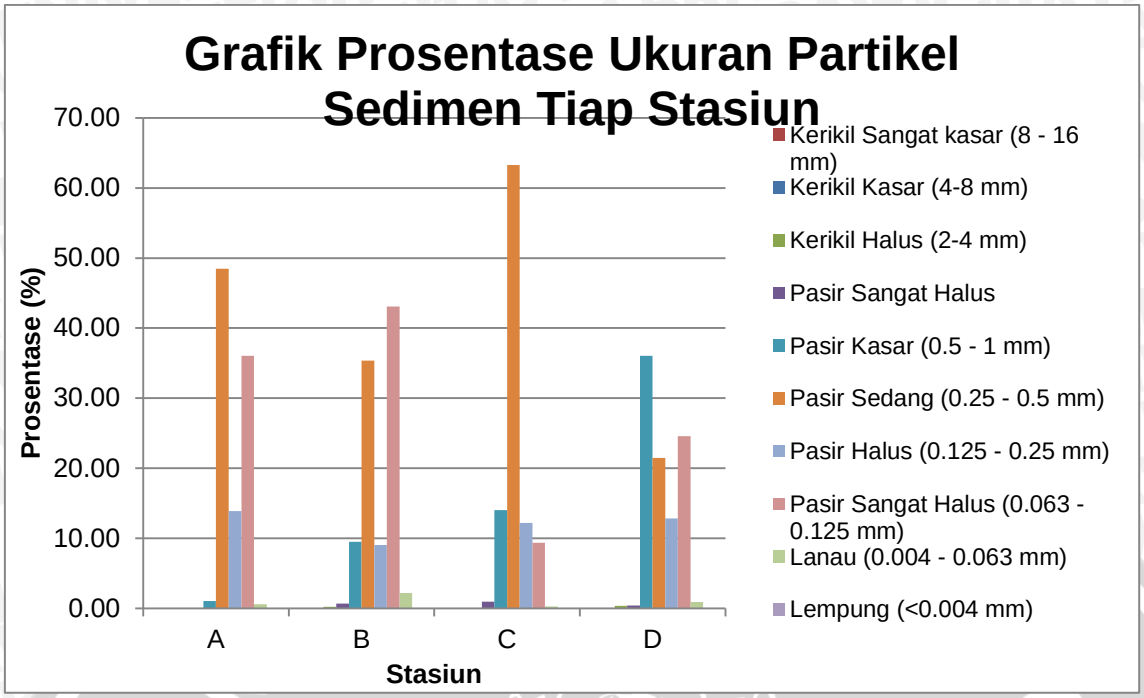
| No. | Ukuran butir Sedimen | Jenis sedimen | | Prosentase (%) | Jumlah prosentase (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-4 mm | Kerikil | | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 1-2 mm | Pasir | Sangat kasar | 0.93 | 99.74 |
| 3 | 0.5-1 mm | | Kasar | 14.00 | |
| 4 | 0.25-0.5 mm | | Sedang | 63.28 | |
| 5 | 0.125-0.25 mm | | Halus | 12.18 | |
| 6 | 0.063-0.125 mm | | Sangat halus | 9.36 | |
| 7 | 0.004-0.063 mm | Lanau | | 0.26 | 0.26 |
| 8 | <0.004 mm | Lempung | | 0.00 | 0.00 |

Jenis sedimen pasir juga mendominasi di Stasiun D dengan prosentase sebesar 98.74 % (Tabel 17). Jenis pasir yang mendominasi adalah pasir kasar (0.5-1 mm) sebesar 36.02 % dan pasir sedang (0.25-0.5 mm) sebesar 24.58 %. Jenis sedimen lanau (0.004-0.063) memiliki prosentase sebesar 0.90%, kerikil (2-4 mm) sebesar 0.36 % dan lempung (<0.004 mm) sebesar 0.00%.

**Tabel 17.** Prosentase Partikel Penyusun Sedimen Stasiun D

| No. | Ukuran butir Sedimen | Jenis sedimen | | Prosentase (%) | Jumlah prosentase (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2-4 mm | Kerikil | | 0.36 | 0.36 |
| 2 | 1-2 mm | Pasir | Sangat kasar | 3.85 | 98.74 |
| 3 | 0.5-1 mm | | Kasar | 36.02 | |
| 4 | 0.25-0.5 mm | | Sedang | 24.58 | |
| 5 | 0.125-0.25 mm | | Halus | 12.83 | |
| 6 | 0.063-0.125 mm | | Sangat halus | 21.47 | |
| 7 | 0.004-0.063 mm | Lanau | | 0.90 | 0.90 |
| 8 | <0.004 mm | Lempung | | 0.00 | 0.00 |

Grafik prosentase ukuran partikel sedimen setiap stasiun disajikan pada Gambar 26.




**Gambar 26.** Grafik Prosentase Ukuran Partikel Sedimen Tiap Stasiun

Dari Gambar. 34 diketahui bahwa jenis pasir yang mendominasi di Pantai Kuta adalah pasir sedang (0.25 – 0.5 mm) yang ditemukan pada stasiun A dan C, pada stasiun B jenis yang mendominasi adalah pasir sangat halus (0.063 – 0.125 mm), sedangkan pada stasiun D didominasi oleh pasir kasar (0.5 – 1 mm).

### 4.4.2 Massa Jenis Sedimen

Nilai massa jenis sedimen pada stasiun A, B, C dan D disajikan di dalam Tabel 18.

**Tabel 18.** Tabel Massa Jenis Sedimen Pantai Kuta

| Stasiun | Massa Jenis ($gr/cm^3$) |
|---|---|
| A | 3.04 |
| B | 2.64 |
| C | 3.01 |
| D | 2.62 |

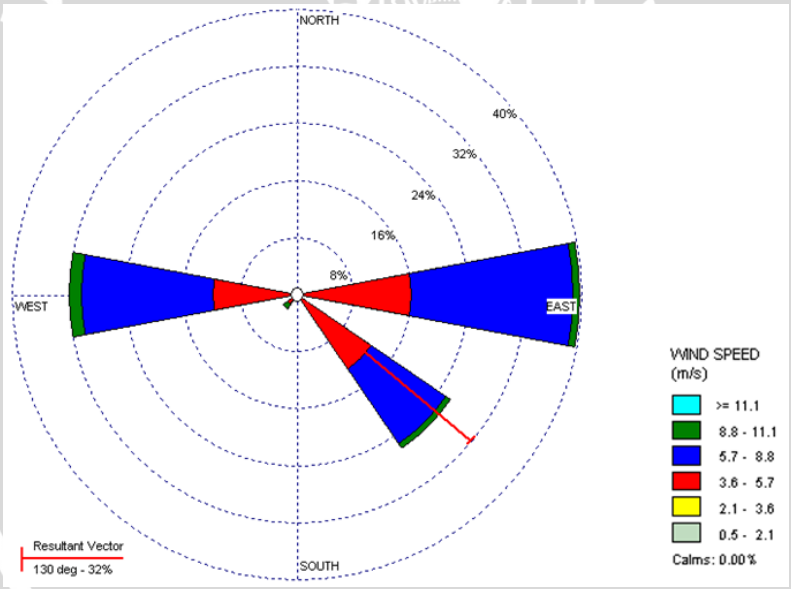
Stasiun A memiliki nilai massa jenis sedimen sebesar 3.04 gr/cm$^3$, stasiun B sebesar 2.64 gr/cm$^3$, stasiun C sebesar 3.01 gr/cm$^3$, dan stasiun D sebesar 2.62 gr/cm$^3$. Nilai rata-rata massa jenis seluruh stasiun adalah sebesar 2.83 gr/cm$^3$.

## 4.5 Hasil Pengolahan Data Angin dan Data Gelombang

Hasil pengolahan data angin adalah kecepatan angin, distribusi arah angin, tinggi dan periode hasil peramalan gelombang angin, sedangkan data gelombang hasil pengukuran lapang disajikan dalam bentuk tabel.

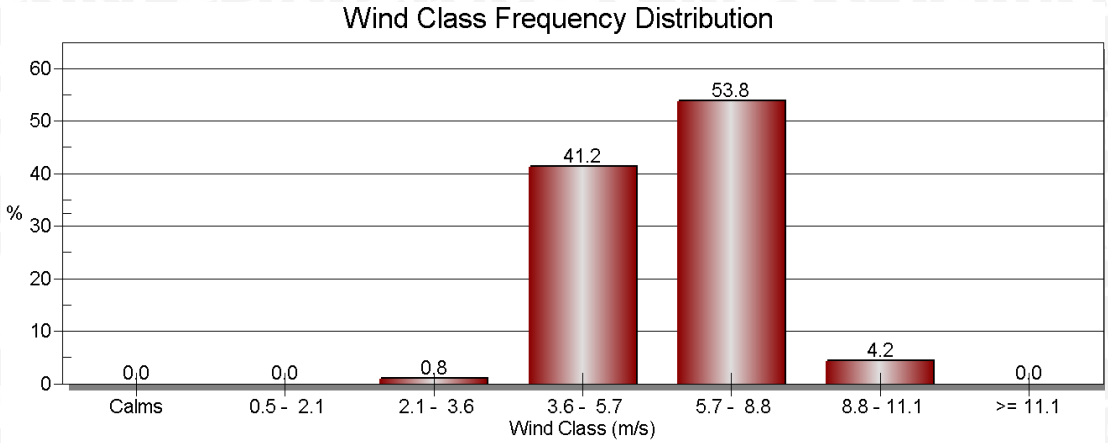
### 4.5.1 Kecepatan dan Distribusi Arah Angin

Hasil pengolahan data angin tahun 2006 – 2015 dalam bentuk mawar angin (*wind rose*) ditampilkan pada Gambar 27. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa angin dominan bertiup dari arah timur dan barat dengan arah resultan sebesar 130°.




**Gambar 27.** Wind Rose di Pantai Kuta Tahun 2006 - 2015

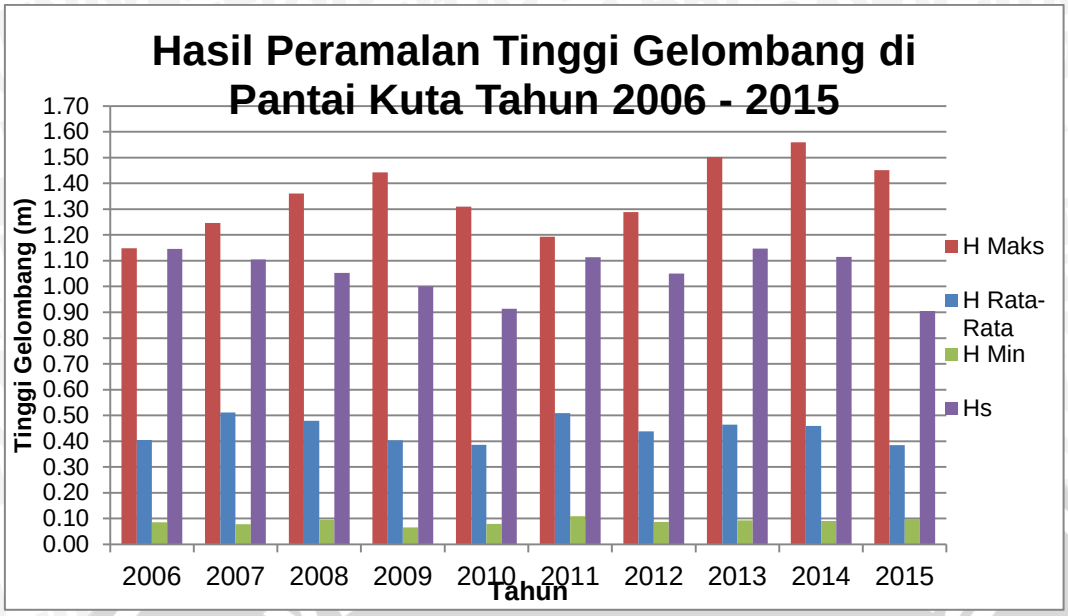
Persentase angin tertinggi adalah sebesar 53.8% pada interval kecepatan angin 5.7 – 8.8 m/s. Selanjutnya persentase angin sebesar 41.2% pada interval 3.6 – 5.7 diikuti dengan persentase 4.2% dan 0.8% pada interval 8.8 – 11.1 m/s dan 2.1 – 3.6 m/s (Gambar 28).



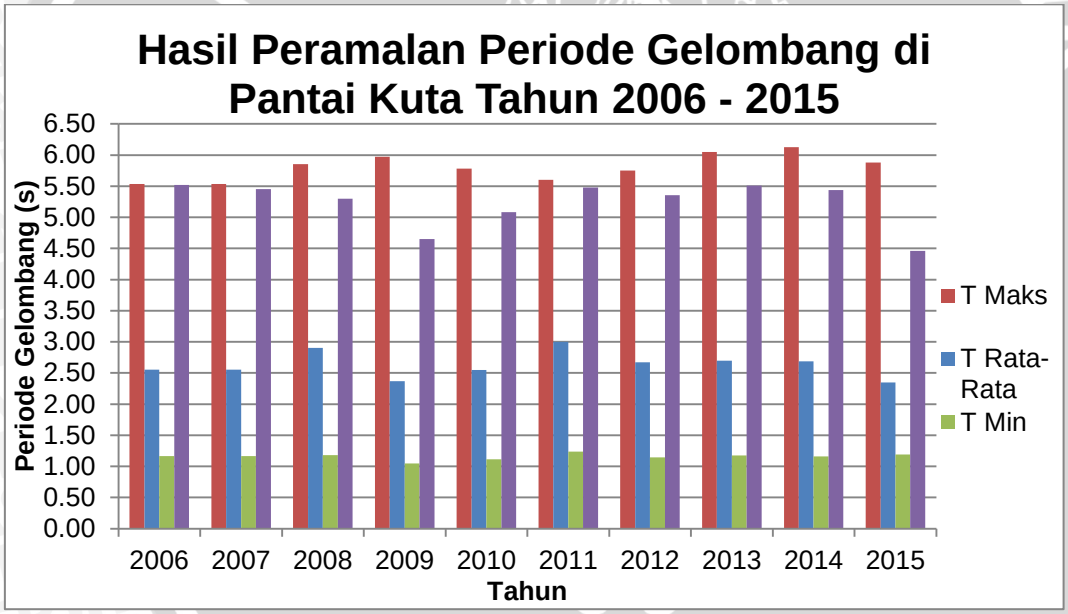

**Gambar 28.** Histogram Distribusi Frekuensi Angin di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015

### 4.5.2 Peramalan Gelombang Angin

Hasil peramalan gelombang dari data angin ditampilkan dalam bentuk diagram pada Gambar 29 dan Gambar 30. Gambar 29 menampilkan tinggi gelombang maksimal, rata-rata, minimal dan signifikan di Pantai Kuta pada tahun 2006 – 2015. Dari diagram tersebut diketahui bahwa tinggi gelombang terbesar terjadi pada tahun 2014 dengan nilai 1.56 m dan terkecil pada tahun 2009 sebesar 0.07 m. Tinggi gelombang rata-rata selama 10 tahun adalah sebesar 0.44 m. Sedangkan, periode gelombang terbesar terjadi pada tahun 2014 sebesar 6.13 s dan terkecil pada tahun 2009 dengan nilai 1.04 s. Periode gelombang rata-rata selama 10 tahun adalah sebesar 2.63 s.




**Gambar 29.** Hasil Peramalan Tinggi Gelombang di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015




**Gambar 30.** Hasil Peramalan Periode Gelombang di Pantai Kuta Tahun 2006 – 2015

### 4.5.3 Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Hasil Pengukuran Lapang

Hasil pengukuran gelombang di lapang adalah berupa nilai tinggi, periode dan arah datang gelombang. Pengukuran gelombang dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada saat kondisi pasang dan surut selama 20 menit. Hasil pengukuran tinggi dan periode gelombang lapang disajikan pada Tabel 19.

**Tabel 19.** Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Hasil Pengukuran Lapang

| Tinggi Gelombang (m) | Periode Gelombang (s) |
|---|---|
| 0.73 | 10.90 |
| 0.70 | 12.45 |
| 0.62 | 11.34 |
| 0.57 | 11.69 |
| 0.57 | 11.33 |
| 0.52 | 12.22 |
| 0.52 | 10.61 |
| 0.51 | 12.31 |
| 0.50 | 12.97 |
| 0.48 | 10.26 |
| 0.47 | 13.45 |
| 0.47 | 12.75 |
| 0.46 | 11.19 |
| 0.45 | 10.00 |
| 0.44 | 13.00 |
| 0.42 | 10.86 |
| 0.42 | 9.54 |
| 0.39 | 12.90 |
| 0.39 | 12.83 |
| 0.32 | 11.80 |

Dari hasil pengukuran tinggi dan periode gelombang diketahui nilai tinggi gelombang maksimal adalah 0.73 m dengan periode sebesar 10.90 s, sedangkan nilai tinggi gelombang minimal adalah sebesar 0.32 m dengan periode sebesar 11.80 meter. Nilai rata-rata tinggi gelombang hasil pengukuran di lapang adalah sebesar 0.49 m dan periode rata-rata sebesar 11.72 s. Arah datang gelombang pada saat di lapang adalah sebesar 277.5°.

### 4.6 Hasil Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai Kuta

Hasil perhitungan numerik perubahan garis pantai adalah prediksi jarak perubahan garis pantai pada tiap stasiun dalam jangka waktu 5, 10 dan 15 tahun mendatang. Nilai prediksi perubahan garis pantai ini didasarkan pada angkutan sedimen sepanjang pantai yang dihitung dengan menggunakan rumus Manohar. Nilai

prediksi perubahan garis pantai di Pantai Kuta dalam jangka waktu 5, 10 dan 15 tahun mendatang disajikan dalam Tabel 20.

**Tabel 20.** Nilai Prediksi Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Kuta Selama 5, 10 dan 15 Tahun

| Prediksi Rata-rata Jarak Perubahan Garis Pantai Selama 5 Tahun | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| m/ 5 tahun | -18.82 | -15.12 | 14.23 | -20.53 |
| m/10 tahun | -37.65 | -30.23 | 28.45 | -41.07 |
| m/ 15 tahun | -56.47 | -45.35 | 42.68 | -61.60 |
| m/ tahun | -3.76 | -3.02 | 2.85 | -4.11 |

Selama 5 tahun mendatang prediksi perubahan garis pantai yang terjadi pada stasiun A adalah sebesar -18.82 m, nilai negatif menunjukkan pada stasiun A mengalami erosi. Prediksi jarak perubahan garis pantai di stasiun B adalah sebesar -15.12 myang menunjukkan bahwa stasiun B mengalami erosi. Stasiun C diprediksi mengalami perubahan garis pantai sebesar 14.23 m, nilai positif menunjukkan pada stasiun C mengalami sedimentasi. Prediksi perubahan garis pantai yang terjadi di stasiun D adalah sebesar -20.53 m.

Prediksi perubahan garis pantai selama 10 dan 15 tahun mendatang berdasarkan nilai angkutan sedimen sepanjang pantai pada tiap stasiun memiliki pola perubahan yang sama hanya saja nilai perubahan garis pantai yang terjadi menjadi semakin besar. Dalam waktu 10 tahun mendatang, stasiun A diprediksi mengalami perubahan garis pantai sebesar -37.65 m, stasiun B sebesar -30.23 m, stasiun C sebesar 28.45 m dan stasiun D sebesar -41.07 m. Sedangkan, nilai prediksi perubahan garis pantai 15 tahun mendatang adalah sebesar -56.47 m pada stasiun A, -45.35 m pada stasiun B, 42.68 m pada stasiun C dan -61.60 m pada stasiun D. Grafik model perubahan garis pantai selama 5, 10, dan 15 tahun disajikan pada Lampiran 6.

## 4.7 Analisis Perubahan Garis Pantai Kuta Berdasarkan Data Citra Satelit dan Perhitungan Numerik

Hasil pengolahan data citra satelit dan perhitungan numerik berupa jarak perubahan garis pantai per tahun disajikan pada Tabel 21. Analisis perubahan garis pantai menggunakan metode deskriptif analitik, yaitu dengan mendeskripsikan kondisi sesungguhnya dari hasil pengolahan data.

**Tabel 21.** Jarak Perubahan Garis Pantai Hasil Pengolahan Data Citra Satelit dan Perhitungan Numerik

| Stasiun | Hasil Pengolahan Data Citra Satelit | | | Hasil Perhitungan Numerik |
|---|---|---|---|---|
| | 2002-2009 (m/tahun) | 2009-2015 (m/tahun) | 2002-2015 (m/tahun) | m/tahun |
| A | -1.20 | -0.86 | -1.04 | -3.76 |
| B | -2.19 | -0.85 | -1.57 | -3.02 |
| C | 2.16 | 3.70 | 2.87 | 2.85 |
| D | 2.41 | -1.10 | 0.79 | -4.11 |

Berdasarkan hasil pengolahan data citra satelit selama 13 tahun, yaitu tahun 2002 – 2015 menunjukkan bahwa Pantai Kuta mengalami erosi pada stasiun A dan B serta mengalami sedimentasi pada stasiun C dan D. Pengolahan data citra pada tahun 2002 – 2009 juga menunjukkan hasil yang sama, yaitu erosi pada stasiun A dan B serta sedimentasi pada stasiun C dan D. Pengolahan data pada tahun 2009 – 2015 menunjukkan bahwa stasiun A dan B mengalami erosi, stasiun mengalami sedimentasi, sedangkan pada stasiun D yang pada mulanya mengalami sedimentasi, pada tahun 2009 -2015 mengalami erosi.

Hasil perhitungan numerik pada setiap stasiun menghasilkan prediksi perubahan garis pantai. Prediksi perubahan garis pantai pada Pantai Kuta adalah erosi pada stasiun A, B dan D sedangkan pada stasiun C diprediksi mengalami sedimentasi.

Hasil prediksi tersebut sesuai dengan hasil pengolahan data citra satelit pada tahun 2009 – 2015 dimana terjadi proses erosi pada stasiun A, B, D serta terjadi proses sedimentasi pada stasiun C.

Dari hasil pengolahan data citra dan perhitungan numerik menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Pantai Kuta mengalami erosi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Triwahyuni (2013) yang melakukan simulasi perubahan garis pantai pada tahun 2001 – 2010. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Pantai Kuta mengalami erosi. Menurut Lennart *et al* (2004) dalam Handoko (2007), erosi yang terjadi di Pantai Kuta disebabkan oleh dua hal, yaitu terhalangnya pola arus dari arah selatan ke utara akibat adanya landasan pacu bandara dan peningkatan energi gelombang melalui celah karang.

Ada kalanya pantai yang tererosi tidak kembali ke bentuk semula karena material pembentuk pantai terbawa arus ke tempat lain dan tidak kembali ke lokasi semula. Material yang terbawa arus tersebut akan mengendap di daerah yang lebih tenang, seperti di muara sungai, teluk, pelabuhan dan sebagainya, sehingga mengakibatkan sedimentasi di daerah tersebut (Triatmodjo, 1999).

### 4.7.1 Stasiun A

Dari hasil pengolahan data citra pada tahun 2002 – 2009, 2009 – 2015 dan 2002 – 2015 diketahui bahwa pada stasiun A mengalami kemunduran garis pantai atau erosi sebesar -1.20 m/ tahun pada 2002 – 2009, -0.86 m/tahun pada 2009 -2015 dan sebesar -1.04 pada 2002 – 2015. Hasil prediksi perubahan garis pantai menunjukkan hasil yang sama yaitu berupa erosi dengan prediksi sebesar -3.76 m/tahun.

Erosi yang terjadi pada stasiun A disebabkan oleh energi gelombang yang cukup besar pada stasiun ini serta sedimen dominan berupa pasir sedang. Pada stasiun A tidak memiliki bangunan pelindung pantai, sehingga energi gelombang langsung menghantam stasiun ini dan menyebabkan transpor sedimen dan

menyebabkan terjadinya erosi. Pada tahun 2008, dilakukan penambahan pasir (*beach nourishment)* pada stasiun A, menyebabkan nilai perubahan garis pantai pada tahun 2009 – 2015 menjadi lebih kecil dibandingkan tahun sebelumnya.

### 4.7.2 Stasiun B

Dari hasil pengolahan data citra pada tahun 2002 – 2009, 2009 – 2015 dan 2002 – 2015 diketahui bahwa pada stasiun B mengalami kemunduran garis pantai atau erosi sebesar -2.19 m/tahun pada 2002 – 2009, -0.85 m/tahun pada 2009 – 2015 dan -1.57 m/tahun pada 2002 - 2015. Hasil prediksi perubahan garis pantai menunjukkan hasil yang sama berupa erosi dengan prediksi sebesar -3.02 m/tahun.

Erosi yang terjadi pada stasiun B disebabkan oleh energi gelombang yang cukup besar pada stasiun ini serta sedimen dominan berupa pasir halus memudahkan transpor sedimen terjadi pada stasiun ini. Stasiun ini memiliki kemiringan pantai paling besar di antara stasiun lainnya menyebabkan stasiun ini mengalami erosi yang paling parah. Pada tahun 2008, dibangun bangunan pelindung pantai berupa *revetment* dan *breakwater*, sehingga nilai erosi yang terjadi pada tahun 2009 – 2015 menjadi berkurang.

### 4.7.3 Stasiun C

Dari hasil pengolahan data citra pada tahun 2002 – 2009, 2009 – 2015 dan 2002 – 2015 diketahui bahwa pada stasiun C mengalami kemajuan garis pantai atau sedimentasi sebesar 2.16 m/tahun pada 2002 – 2009, 3.70 m/tahun pada 2009 – 2015 dan 2.87 m/tahun pada 2002 – 2015. Hasil Hasil prediksi perubahan garis pantai menunjukkan hasil yang sama berupa sedimentasi sebesar 2.85 m/tahun.

Sedimentasi yang terjadi pada stasiun C disebabkan karena daerah ini merupakan daerah yang cukup tenang dengan energi gelombang yang kecil. Hal ini disebabkan karena gelombang telah pecah beberapa ratus kilometer dari bibir pantai karena adanya terumbu karang. Hal ini sesuai dengan Triatmodjo (1999) yang menyatakan bahwa sedimen yang mengalami transpor mengendap di daerah yang

lebih tenang dan menyebabkan sedimentasi pada daerah tersebut. Pada tahun 2008, dibangun bangunan pelindung pantai berupa *breakwater* yang berada di bagian utara dan selatan stasiun C, hal tersebut memperparah sedimentasi yang terjadi pada daerah ini karena sedimen mengendap di belakang *breakwater*.

### 4.7.4 Stasiun D

Dari hasil pengolahan data citra pada tahun 2002 – 2009, 2009 – 2015 dan 2002 – 2015 diketahui bahwa pada stasiun C mengalami kemajuan garis pantai atau sedimentasi sebesar 2.41 m/tahun pada 2002 – 2009 dan 0.79 m/tahun pada 2002 – 2015, sedangkan pada tahun 2009 – 2015 stasiun D mengalami kemunduran garis pantai atau erosi sebesar -1.10 m/tahun. Hasil prediksi perubahan garis pantai menunjukkan hasil yang sama dengan pengolahan data citra tahun 2009 – 2015, yaitu erosi sebesar -4.11 m/tahun.

Sama halnya dengan stasiun C, stasiun D merupakan daerah yang cukup tenang dibandingkan dengan stasiun A dan B sehingga menyebabkan pengendapan sedimen pada tahun 2002 – 2009. Sedangkan, pada tahun 2009 – 2015, stasiun ini mengalami erosi disebabkan oleh peningkatan tinggi gelombang maksimal pada tahun 2009 – 2015, dimana arah gelombang yang berasal dari timur stasiun D menyebabkan transpor sedimen sehingga mengalami erosi. Pada tahun tersebut, nilai erosi pada stasiun D lebih besar dibandingkan dengan stasiun A disebabkan karena stasiun D memiliki nilai kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan stasiun A.

# 5. PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian di Pantai Kuta adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengolahan data citra satelit pada tahun 2002, 2009 dan 2015 didapatkan nilai perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Kuta, yaitu erosi sebesar -13.55 m/13 tahun pada stasiun A, erosi sebesar -20.43 m/13 tahun pada stasiun B, sedimentasi sebesar 37.33 m/13 tahun pada stasiun C dan sedimentasi sebesar 10.27 m/13 tahun pada stasiun D.
2. Hasil perhitungan numerik selama 5, 10 dan 15 tahun mendatang didapatkan prediksi perubahan garis Pantai Kuta, yaitu erosi sebesar -3.76 m/tahun pada stasiun A, erosi sebesar -3.02 m/tahun pada stasiun B, sedimentasi sebesar 2.85 m/tahun pada stasiun C dan erosi sebesar -4.11 m/tahun pada stasiun D.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah untuk penelitian selanjutnya perlu ditambahkan uji statistik untuk memvalidasi data hasil model dengan data citra satelit.

## DAFTAR PUSTAKA


Aldin, M., M. A. Thaha dan M. P. Hatta. 2015. Perencanaan Alternatif Bangunan Pengaman Pantai Namrole Kab. Buru Selatan – Maluku. *Artikel.* Universitas Hasanuddin. Makassar.

Alhaq, M. N., 2013. Studi Distribusi Sedimen Permukaan Dasar Perairan Berdasarkan Diameter Ukuran Butir Di Muara Sungai Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

Angkotasan, A.M., I. W. Nurjaya dan N. M. N. Natih. 2012. Analisis Perubahan Garis Pantai di Pantai Barat Daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol 391: 11-22.

Arief, M., G. Winarso dan T. Prayogo. 2011. Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat di Kabupaten Kendal. *Jurnal Penginderaan Jauh*, vol 8: 71 - 80.

Azhar, R. M., A. Wurjanto dan N. Yuanita. 2012. Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam di Pantai Tanjung Kait. Institut Teknologi Bandung: Bandung

Azis, M.S. 2006. Gerak Air di Laut. *Jurnal Oseana*. Vol 4: 9-21.

Azwar. 1997. Metode Penelitian. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

CERC. 1984. Shore Protection Manual. US Army Corps of Engineering. Washington.

Clark, J. R. 1995. Coastal Zone Management Handbook. CRC Press. Buku Online (https://books.google.co.id/books?id=ZHvKDJSg1PEC&pg=PA573&lpg=PA573&dq=kuta+erosion&source=bl&ots=bxNFf6cCpB&sig=CGlMZxaN_k9LdgHLgtLBrRydYcA&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwj31c7J9pLNAhVFspQKHZNpDWs4FBDoAQgfMAE#v=onepage&q=kuta%20erosionkutkyta&f=false) Diakses 06 Juni 2016

Dauhan, S.K. 2013. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah terhadap Perubahan Garis Pantai di Atep Oki. *Jurnal Sipil*, vol 1(**12**): 784-796.

Dewi, I. R. 2011. Perubahan Garis Pantai dari Pantai Teritip Balikpapan Sampai Pantai Ambarawang Kutai Kertanegara Kalimantan Timur. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Edwards, A.J dan E.D. Gomez. 2008. Konsep dan Panduan Restorasi Terumbu Membuat Kebijakan Bijak di antara Ketidakpastian. Terj. dari Reef Concepts dan Guidelines. Making Sensible Management Choices in the Face of Uncertainty. Yayasan Terangi. Jakarta

Handoko, P. 2007. Mediasi Konflik Penanganan Kerusakan Pantai (Studi Kasus Penanganan Abrasi Pantai Kuta Bali. *Tesis.* Universitas Diponegoro. Semarang.

Hidayah, R., Suntoyo dan H. D. Armono. 2010. Analisa Perubahan Garis Pantai Jasri, Kabupaten Karangasem Bali. *Jurnal Teknik POMITS*, vol 1(**1**): 1-7.

Minarto, E., S, H., Vorandara, E., Pin, T.G., Musli, M. dan Saputra, E., 2008. Kaitan Aktivitas Vulkanik Dengan Distribusi Sedimen Dan Kandungan Suspensi Di Perairan Selat Sunda.Mukhtasor, 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut.* Pradnya Paramita. Jakarta.

Muryani, C. 2010. Analisis Perubahan Garis pantai menggunakan SIG serta Dampaknya terhadap Kehidupan Masyarakat di Sekitar Muara Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.

Oktaviani, S. 2014. Analisis Perubahan Garis Pantai di Wilayah Kecamatan Jenu, Tuban. *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang.

Semedi, B., B. H. Husain dan N. Hidayati. 2016. Analyzing Coastal Vulnerability Index Using Integrated Satellite Remote Sensing and Geographic Information System: A Case Study of Denpasar Coastal Zone. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, vol 6(**4**): 35 – 40.

Septinar, H. 2014. Identifikasi Sedimentasi di Perairan Pesisir Banyuasin II Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan.*

Syamsudin, A. R., Y. Tsuchiya, M. Asce dan T. Yamashita. 1994. Beach Erosion in Kuta Beach, Bali and Its Stabilization. *Paper.* Coastal Engineering Conference. New York

Triatmodjo, B. 1999.Teknik Pantai. Beta Offset: Yogyakarta

Triwahyuni, A. 2013. *Numerical Simulation on Shoreline Change in Western Region of Badung Regency,* Bali, Indonesia. *Thesis.*Universitas Udayana. Bali.

Wahyudi., T. Hariyanto dan Suntoyo. 2009. Analisa Kerentanan Pantai di Wilayah Pesisir Pantai Utara Jawa Timur. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Wijayanti, A., Suripin, dan Saharyanto. 2012. Kajian Efektivitas Pengamanan Pantai Kuta Bali Secara Struktural dengan Menggunakan Nemos. *Thesis*. Universitas Diponegoro. Semarang.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Hasil Analisa Saringan

- Stasiun A titik 1

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 20 | 0.85 | 2 | 2 | 0.18 | 99.82 | 0.18 |
| 30 | 0.6 | 0 | 2 | 0.18 | 99.82 | 0.00 |
| 40 | 0.425 | 2 | 4 | 0.35 | 99.65 | 0.18 |
| 60 | 0.25 | 26 | 30 | 2.64 | 97.36 | 2.29 |
| 100 | 0.15 | 84 | 114 | 10.04 | 89.96 | 7.39 |
| 200 | 0.075 | 1012 | 1126 | 99.12 | 0.88 | 89.08 |
| Pan | < 0.075 | 10 | 1136 | 100.00 | 0.00 | 0.88 |

- Stasiun A titik 2

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 20 | 0.85 | 4 | 4 | 0.38 | 99.62 | 0.38 |
| 30 | 0.6 | 4 | 8 | 0.76 | 99.24 | 0.38 |
| 40 | 0.425 | 6 | 14 | 1.33 | 98.67 | 0.57 |
| 60 | 0.25 | 804 | 818 | 77.61 | 22.39 | 76.28 |
| 100 | 0.15 | 148 | 966 | 91.65 | 8.35 | 14.04 |
| 200 | 0.075 | 84 | 1050 | 99.62 | 0.38 | 7.97 |
| Pan | < 0,075 | 4 | 1054 | 100.00 | 0.00 | 0.38 |

- Stasiun A titik 3

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 20 | 0.85 | 4 | 4 | 0.54 | 99.46 | 0.54 |
| 30 | 0.6 | 12 | 16 | 2.15 | 97.85 | 1.61 |

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 40 | 0.425 | 22 | 38 | 5.11 | 94.89 | 2.96 |
| 60 | 0.25 | 470 | 508 | 68.28 | 31.72 | 63.17 |
| 100 | 0.15 | 150 | 658 | 88.44 | 11.56 | 20.16 |
| 200 | 0.075 | 82 | 740 | 99.46 | 0.54 | 11.02 |
| Pan | < 0,075 | 4 | 744 | 100.00 | 0.00 | 0.54 |

- Stasiun B

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 1 | 1 | 0.22 | 99.78 | 0.22 |
| 10 | 2 | 3 | 4 | 0.86 | 99.14 | 0.65 |
| 20 | 0.85 | 23 | 27 | 5.82 | 94.18 | 4.96 |
| 30 | 0.6 | 21 | 48 | 10.34 | 89.66 | 4.53 |
| 40 | 0.425 | 28 | 76 | 16.38 | 83.62 | 6.03 |
| 60 | 0.25 | 136 | 212 | 45.69 | 54.31 | 29.31 |
| 100 | 0.15 | 42 | 254 | 54.74 | 45.26 | 9.05 |
| 200 | 0.075 | 200 | 454 | 97.84 | 2.16 | 43.10 |
| Pan | < 0,075 | 10 | 464 | 100.00 | 0.00 | 2.16 |

- Stasiun C titik 1

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 2 | 2 | 0.37 | 99.63 | 0.37 |
| 20 | 0.85 | 4 | 6 | 1.12 | 98.88 | 0.74 |
| 30 | 0.6 | 6 | 12 | 2.23 | 97.77 | 1.12 |
| 40 | 0.425 | 22 | 34 | 6.32 | 93.68 | 4.09 |
| 60 | 0.25 | 331 | 365 | 67.84 | 32.16 | 61.52 |
| 100 | 0.15 | 91 | 456 | 84.76 | 15.24 | 16.91 |
| 200 | 0.075 | 80 | 536 | 99.63 | 0.37 | 14.87 |
| Pan | < 0,075 | 2 | 538 | 100.00 | 0.00 | 0.37 |

- Stasiun C titik 2

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 4 | 4 | 0.80 | 99.20 | 0.80 |

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 20 | 0.85 | 18 | 22 | 4.38 | 95.62 | 3.59 |
| 30 | 0.6 | 52 | 74 | 14.74 | 85.26 | 10.36 |
| 40 | 0.425 | 74 | 148 | 29.48 | 70.52 | 14.74 |
| 60 | 0.25 | 252 | 400 | 79.68 | 20.32 | 50.20 |
| 100 | 0.15 | 58 | 458 | 91.24 | 8.76 | 11.55 |
| 200 | 0.075 | 42 | 500 | 99.60 | 0.40 | 8.37 |
| Pan | < 0.075 | 2 | 502 | 100.00 | 0.00 | 0.40 |

- Stasiun C titik 3

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 8 | 8 | 1.61 | 98.39 | 1.61 |
| 20 | 0.85 | 42 | 50 | 10.08 | 89.92 | 8.47 |
| 30 | 0.6 | 88 | 138 | 27.82 | 72.18 | 17.74 |
| 40 | 0.425 | 108 | 246 | 49.60 | 50.40 | 21.77 |
| 60 | 0.25 | 186 | 432 | 87.10 | 12.90 | 37.50 |
| 100 | 0.15 | 40 | 472 | 95.16 | 4.84 | 8.06 |
| 200 | 0.075 | 24 | 496 | 100.00 | 0.00 | 4.84 |
| Pan | < 0,075 | 0 | 496 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |

- Stasiun D titik 1

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 48 | 48 | 8.22 | 91.78 | 8.22 |
| 20 | 0.85 | 214 | 262 | 44.86 | 55.14 | 36.64 |
| 30 | 0.6 | 76 | 338 | 57.88 | 42.12 | 13.01 |
| 40 | 0.425 | 50 | 388 | 66.44 | 33.56 | 8.56 |
| 60 | 0.25 | 68 | 456 | 78.08 | 21.92 | 11.64 |
| 100 | 0.15 | 14 | 470 | 80.48 | 19.52 | 2.40 |
| 200 | 0.075 | 110 | 580 | 99.32 | 0.68 | 18.84 |
| Pan | < 0,075 | 4 | 584 | 100.00 | 0.00 | 0.68 |

- Stasiun D titik 2

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 0 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| 10 | 2 | 10 | 10 | 1.18 | 98.82 | 1.18 |

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 20 | 0.85 | 10 | 20 | 2.37 | 97.63 | 1.18 |
| 30 | 0.6 | 18 | 38 | 4.50 | 95.50 | 2.13 |
| 40 | 0.425 | 36 | 74 | 8.77 | 91.23 | 4.27 |
| 60 | 0.25 | 134 | 208 | 24.64 | 75.36 | 15.88 |
| 100 | 0.15 | 282 | 490 | 58.06 | 41.94 | 33.41 |
| 200 | 0.075 | 346 | 836 | 99.05 | 0.95 | 41.00 |
| Pan | < 0,075 | 8 | 844 | 100.00 | 0.00 | 0.95 |

- Stasiun D titik 3

| Saringan | | Berat Tertahan saringan | Jumlah tertahan | %Jumlah tertahan | %lolos saringan | %Berat Sedimen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran | No | | | | | |
| 4 | 4.75 | 4 | 4 | 1.06951872 | 98.93048 | 1.069518717 |
| 10 | 2 | 8 | 12 | 3.20855615 | 96.79144 | 2.139037433 |
| 20 | 0.85 | 50 | 62 | 16.578 | 83.42246 | 13.369 |
| 30 | 0.6 | 156 | 218 | 58.289 | 41.71123 | 41.71122995 |
| 40 | 0.425 | 60 | 278 | 74.332 | 25.66845 | 16.043 |
| 60 | 0.25 | 30 | 308 | 82.353 | 17.64706 | 8.021 |
| 100 | 0.15 | 10 | 318 | 85.027 | 14.97326 | 2.674 |
| 200 | 0.075 | 52 | 370 | 98.930 | 1.069519 | 13.904 |
| Pan | < 0,075 | 4 | 374 | 100.000 | 0 | 1.070 |

**Lampiran 2.** Hasil Uji Massa Jenis

- Stasiun A titik 1

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | A | | |
| 2 | Titik Stasiun | | A(1) | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 144.74 | 146.43 | 146.60 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 76.00 | 57.00 | 48.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 132.27 | 133.24 | 133.70 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.59 | 2.89 | 2.79 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **2.76** | | |

- Stasiun A titik 2

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | B | | |
| 2 | Stasiun | | 2 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 148.40 | 149.38 | 149.45 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 81.00 | 63.00 | 51.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 134.26 | 135.23 | 135.87 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 3.31 | 3.36 | 3.08 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **3.25** | | |

- Stasiun A titik 3

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | C | | |
| 2 | Stasiun | | 3 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 145.49 | 146.50 | 146.61 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 77.00 | 60.00 | 51.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 131.78 | 132.61 | 133.04 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 3.09 | 3.22 | 3.07 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **3.13** | | |

- Stasiun B

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | D | | |
| 2 | Stasiun | | 4 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah | gram | 144.15 | 145.52 | 145.96 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | (W1) | | | | |
| 5 | Suhu (T) | °C | 76.00 | 61.00 | 49.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 132.37 | 132.56 | 133.14 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.37 | 2.79 | 2.76 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | | **2.64** | |

- Stasiun C titik 1

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | A | | |
| 2 | Stasiun | | 5 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 144.78 | 145.64 | 145.73 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 85.00 | 70.00 | 62.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 131.81 | 132.58 | 132.98 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.98 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.75 | 2.82 | 2.71 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | | **2.76** | |

- Stasiun C titik 2

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | C | | |
| 2 | Stasiun | | 6 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 145.85 | 147.14 | 147.39 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 80.00 | 64.00 | 55.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 131.64 | 132.41 | 132.85 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 3.34 | 3.72 | 3.61 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | | **3.56** | |

- Stasiun C titik 3

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | B | | |
| 2 | Stasiun | | 7 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 147.01 | 148.04 | 148.05 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 78.00 | 68.00 | 62.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 134.42 | 134.96 | 135.28 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.98 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.62 | 2.83 | 2.72 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | | **2.7236** | |

- Stasiun D titik 1

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | D | | |
| 2 | Stasiun | | 8 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 144.80 | 145.97 | 145.73 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 78.00 | 66.00 | 54.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 132.25 | 132.32 | 132.90 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.61 | 3.09 | 2.75 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **2.82** | | |

- Stasiun D titik 2

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | A | | |
| 2 | Stasiun | | 9 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 144.77 | 145.59 | 146.04 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 78.00 | 60.00 | 51.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 132.17 | 133.09 | 133.54 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.63 | 2.62 | 2.63 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **2.63** | | |

- Stasiun D titik 3

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Labu Ukur | Satuan | B | | |
| 2 | Stasiun | | 7 | | |
| 3 | Berat Sedimen Kering (Ws) | gram | 20 | | |
| 4 | Berat Labu Ukur +Air +Tanah (W1) | gram | 146.26 | 147.33 | 147.69 |
| 5 | Suhu (T) | °C | 76.00 | 62.00 | 52.00 |
| 6 | Berat Labu Ukur + Air (W2) | gram | 134.53 | 135.28 | 135.81 |
| 7 | Berat Jenis Air (Gt) pada T | gram/cm3 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |
| 8 | Berat Jenis Tanah (Gs) | gram/cm3 | 2.36 | 2.47 | 2.43 |
| 9 | Rata-Rata Berat Jenis | gram/cm3 | **2.42** | | |

**Lampiran 3.** Hasil Perubahan Garis Pantai dengan Perhitungan Numerik

- Stasiun A

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y (15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12820503.27 | -969534.22 | -969515.31 | -969496.40 | -969477.49 |
| 12820506.36 | -969565.14 | -969546.23 | -969527.32 | -969508.41 |
| 12820506.36 | -969596.07 | -969577.16 | -969558.25 | -969539.34 |
| 12820512.54 | -969626.99 | -969608.08 | -969589.17 | -969570.26 |
| 12820515.64 | -969657.91 | -969639.00 | -969620.09 | -969601.18 |
| 12820521.82 | -969688.83 | -969669.92 | -969651.02 | -969632.11 |
| 12820528.01 | -969719.76 | -969701.06 | -969682.37 | -969663.67 |
| 12820534.19 | -969753.77 | -969734.86 | -969715.95 | -969697.04 |
| 12820543.47 | -969784.70 | -969765.79 | -969746.88 | -969727.97 |
| 12820552.74 | -969815.62 | -969796.71 | -969777.80 | -969758.89 |
| 12820562.02 | -969846.54 | -969827.63 | -969808.72 | -969789.81 |
| 12820568.21 | -969877.46 | -969858.55 | -969839.64 | -969820.73 |
| 12820574.39 | -969908.39 | -969889.48 | -969870.57 | -969851.66 |
| 12820583.67 | -969939.31 | -969920.40 | -969901.49 | -969882.58 |
| 12820589.85 | -969970.23 | -969951.32 | -969932.41 | -969913.50 |
| 12820599.13 | -970001.15 | -969982.25 | -969963.34 | -969944.43 |
| 12820608.40 | -970032.08 | -970013.24 | -969994.40 | -969975.55 |
| 12820617.68 | -970059.91 | -970041.00 | -970022.09 | -970003.18 |
| 12820626.96 | -970090.83 | -970071.99 | -970053.15 | -970034.31 |
| 12820639.33 | -970118.66 | -970100.38 | -970082.10 | -970063.83 |
| 12820648.60 | -970155.77 | -970136.86 | -970117.95 | -970099.04 |
| 12820654.79 | -970186.69 | -970167.85 | -970149.01 | -970130.17 |
| 12820664.07 | -970214.52 | -970195.61 | -970176.70 | -970157.79 |
| 12820676.44 | -970245.44 | -970226.53 | -970207.63 | -970188.72 |
| 12820682.62 | -970276.37 | -970257.46 | -970238.55 | -970219.64 |
| 12820691.90 | -970307.29 | -970288.38 | -970269.47 | -970250.56 |
| 12820701.17 | -970338.21 | -970319.93 | -970301.66 | -970283.38 |
| 12820710.45 | -970375.32 | -970356.41 | -970337.50 | -970318.59 |
| 12820719.73 | -970406.24 | -970387.40 | -970368.56 | -970349.72 |
| 12820729.00 | -970434.07 | -970415.16 | -970396.25 | -970377.34 |
| 12820741.37 | -970465.00 | -970446.09 | -970427.18 | -970408.27 |
| 12820744.47 | -970495.92 | -970477.01 | -970458.10 | -970439.19 |
| 12820750.65 | -970526.84 | -970508.15 | -970489.45 | -970470.76 |
| 12820759.93 | -970560.86 | -970541.95 | -970523.04 | -970504.13 |
| 12820766.11 | -970591.78 | -970572.87 | -970553.96 | -970535.05 |

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y (15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12820787.76 | -970622.70 | -970603.86 | -970585.02 | -970566.18 |
| 12820797.03 | -970650.53 | -970631.62 | -970612.71 | -970593.80 |
| 12820806.31 | -970681.46 | -970662.61 | -970643.77 | -970624.93 |
| 12820815.59 | -970709.29 | -970690.38 | -970671.47 | -970652.56 |
| 12820834.14 | -970740.21 | -970721.30 | -970702.39 | -970683.48 |
| 12820843.42 | -970771.13 | -970752.44 | -970733.74 | -970715.05 |
| 12820849.60 | -970805.15 | -970786.24 | -970767.33 | -970748.42 |
| 12820858.88 | -970836.07 | -970817.16 | -970798.25 | -970779.34 |
| 12820865.06 | -970866.99 | -970848.08 | -970829.17 | -970810.26 |
| 12820868.16 | -970897.92 | -970879.01 | -970860.10 | -970841.19 |
| 12820874.34 | -970928.84 | -970909.93 | -970891.02 | -970872.11 |
| 12820871.25 | -970959.76 | -970940.85 | -970921.94 | -970903.03 |
| 12820871.25 | -970990.68 | -970971.77 | -970952.86 | -970933.95 |
| 12820868.16 | -971021.61 | -971002.91 | -970984.22 | -970965.52 |
| 12820865.06 | -971055.62 | -971036.71 | -971017.80 | -970998.89 |
| 12820861.97 | -971086.54 | -971067.85 | -971049.16 | -971030.46 |
| 12820855.79 | -971120.56 | -971101.65 | -971082.74 | -971063.83 |
| 12820846.51 | -971151.48 | -971132.57 | -971113.66 | -971094.75 |
| 12820831.05 | -971182.40 | -971163.50 | -971144.59 | -971125.68 |
| 12820818.68 | -971213.33 | -971194.63 | -971175.94 | -971157.24 |
| 12820803.22 | -971247.34 | -971228.95 | -971210.56 | -971192.17 |
| 12820787.76 | -971272.08 | -971253.24 | -971234.40 | -971215.56 |
| 12820775.39 | -971299.91 | -971281.07 | -971262.23 | -971243.39 |
| 12820756.83 | -971327.74 | -971309.35 | -971290.96 | -971272.57 |
| 12820738.28 | -971352.48 | -971334.09 | -971315.70 | -971297.31 |
| 12820722.82 | -971377.22 | -971358.38 | -971339.54 | -971320.70 |
| 12820701.17 | -971405.05 | -971386.66 | -971368.27 | -971349.88 |

- **Stasiun B**

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y(15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12820521.82 | -971670.98 | -971686.22 | -971701.45 | -971716.69 |
| 12820500.18 | -971692.63 | -971702.06 | -971711.49 | -971720.91 |
| 12820487.81 | -971705.00 | -971716.95 | -971728.90 | -971740.85 |
| 12820463.07 | -971720.46 | -971736.99 | -971753.52 | -971770.05 |
| 12820441.42 | -971751.38 | -971767.45 | -971783.52 | -971799.59 |
| 12820416.68 | -971776.12 | -971792.19 | -971808.26 | -971824.33 |
| 12820398.13 | -971800.86 | -971817.33 | -971833.80 | -971850.27 |
| 12820385.76 | -971828.69 | -971845.16 | -971861.63 | -971878.10 |

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y(15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12820373.39 | -971856.52 | -971872.99 | -971889.46 | -971905.93 |
| 12820357.93 | -971884.35 | -971900.82 | -971917.29 | -971933.76 |

- **Stasiun C**

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y (15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12820178.58 | -972128.64 | -972113.85 | -972099.06 | -972084.26 |
| 12820197.13 | -972156.47 | -972141.63 | -972126.78 | -972111.93 |
| 12820200.22 | -972187.40 | -972172.55 | -972157.70 | -972142.85 |
| 12820197.13 | -972218.32 | -972203.53 | -972188.73 | -972173.94 |
| 12820190.95 | -972246.15 | -972231.30 | -972216.45 | -972201.61 |
| 12820181.67 | -972277.07 | -972262.28 | -972247.49 | -972232.69 |
| 12820172.39 | -972304.90 | -972290.05 | -972275.21 | -972260.36 |
| 12820160.02 | -972335.82 | -972320.98 | -972306.13 | -972291.28 |
| 12820144.56 | -972366.75 | -972351.95 | -972337.16 | -972322.37 |
| 12820132.19 | -972394.58 | -972379.78 | -972364.99 | -972350.20 |
| 12820116.73 | -972422.41 | -972407.62 | -972392.82 | -972378.03 |
| 12820110.55 | -972450.24 | -972435.45 | -972420.65 | -972405.86 |
| 12820098.18 | -972478.07 | -972463.28 | -972448.48 | -972433.69 |
| 12820088.90 | -972505.90 | -972491.05 | -972476.21 | -972461.36 |
| 12820073.44 | -972536.82 | -972522.03 | -972507.24 | -972492.44 |
| 12820064.16 | -972564.65 | -972549.86 | -972535.07 | -972520.27 |
| 12820048.70 | -972592.48 | -972578.04 | -972563.61 | -972549.17 |
| 12820030.15 | -972617.22 | -972603.52 | -972589.82 | -972576.12 |
| 12820008.50 | -972638.87 | -972628.07 | -972617.28 | -972606.48 |
| 12819980.67 | -972654.33 | -972645.77 | -972637.21 | -972628.65 |

- **Stasiun D**

| X | Y Awal | Y (5 Thn) | Y (10 Thn) | Y(15 Thn) |
|---|---|---|---|---|
| 12819881.72 | -972716.17 | -972737.12 | -972758.07 | -972779.02 |
| 12819903.37 | -972740.91 | -972749.38 | -972757.84 | -972766.30 |
| 12819906.46 | -972750.19 | -972771.65 | -972793.11 | -972814.57 |
| 12819915.73 | -972778.02 | -972799.56 | -972821.10 | -972842.64 |
| 12819918.83 | -972808.94 | -972830.48 | -972852.02 | -972873.56 |
| 12819921.92 | -972839.87 | -972861.41 | -972882.95 | -972904.49 |
| 12819918.83 | -972870.79 | -972892.33 | -972913.87 | -972935.41 |
| 12819915.73 | -972901.71 | -972923.25 | -972944.79 | -972966.33 |
| 12819909.55 | -972932.63 | -972954.17 | -972975.71 | -972997.25 |
| 12819903.37 | -972963.56 | -972985.10 | -973006.64 | -973028.18 |
| 12819897.18 | -972994.48 | -973016.02 | -973037.56 | -973059.10 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12819887.90 | -973025.40 | -973046.94 | -973068.48 | -973090.02 |
| 12819881.72 | -973056.33 | -973077.62 | -973098.91 | -973120.21 |
| 12819875.54 | -973090.34 | -973111.80 | -973133.26 | -973154.72 |

**Lampiran 4.** Jarak Perubahan Garis Pantai Hasil Pengolahan Data Citra Satelit

- Tahun 2002 – 2009

| No Transek | Stasiun | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 1 | 4 | 50 | 55 | 66 |
| 2 | 19 | 41 | 43 | 57 |
| 3 | 24 | 14 | 15 | 33 |
| 4 | 20 | -15 | 12 | 25 |
| 5 | 4 | -42 | 20 | 23 |
| 6 | -40 | -48 | 29 | 21 |
| 7 | -28 | -47 | 21 | 23 |
| 8 | -20 | -39 | 15 | 21 |
| 9 | -24 | -30 | 29 | 23 |
| 10 | -43 | -24 | 18 | 13 |
| 11 | -47 | -26 | -2 | -8 |
| 12 | -36 | -25 | -1 | -14 |
| 13 | -38 | -19 | -2 | -14 |
| 14 | -38 | -5 | 1 | -11 |
| 15 | -28 | | 5 | -5 |
| 16 | -27 | | 1 | |
| 17 | -15 | | 3 | |
| 18 | -16 | | 10 | |
| 19 | -17 | | | |
| 20 | -8 | | | |
| 21 | -16 | | | |
| 22 | -22 | | | |
| 23 | -27 | | | |
| 24 | -11 | | | |
| 25 | -24 | | | |
| 26 | -27 | | | |
| 27 | -19 | | | |
| 28 | -9 | | | |
| 29 | -4 | | | |
| 30 | -6 | | | |
| 31 | -7 | | | |
| 32 | -6 | | | |
| 33 | -2 | | | |
| 34 | 4 | | | |

| No Transek | Stasiun | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 35 | 4 | | | |
| 36 | 9 | | | |
| 37 | 21 | | | |
| 38 | 29 | | | |
| 39 | 30 | | | |
| 40 | 19 | | | |
| 41 | 13 | | | |
| 42 | 2 | | | |
| 43 | 6 | | | |
| 44 | 27 | | | |
| m/7 thn | -8.41 | -15.36 | 15.11 | 16.87 |
| m/thn | -1.20 | -2.19 | 2.16 | 2.41 |

- **Tahun 2009 -2015**

| **No Transek** | **Stasiun** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **A** | **B** | **C** | **D** |
| 1 | -25 | -40 | 18 | 28 |
| 2 | -22 | -20 | 22 | 18 |
| 3 | -20 | -16 | 23 | 5 |
| 4 | -19 | -23 | 12 | -13 |
| 5 | -10 | -4 | 20 | -28 |
| 6 | 0 | -4 | 13 | -25 |
| 7 | -4 | 1 | 11 | -19 |
| 8 | -3 | 3 | 17 | -21 |
| 9 | -1 | -3 | 22 | -16 |
| 10 | 11 | -7 | 15 | -8 |
| 11 | 11 | -10 | 29 | -8 |
| 12 | 5 | 5 | 31 | -4 |
| 13 | 5 | 23 | 34 | -1 |
| 14 | 6 | 24 | 31 | 1 |
| 15 | 6 | | 26 | -8 |
| 16 | 14 | | 26 | -99 |
| 17 | 11 | | 31 | |
| 18 | 9 | | 19 | |
| 19 | 7 | | | |
| 20 | 2 | | | |
| 21 | 10 | | | |
| 22 | 17 | | | |

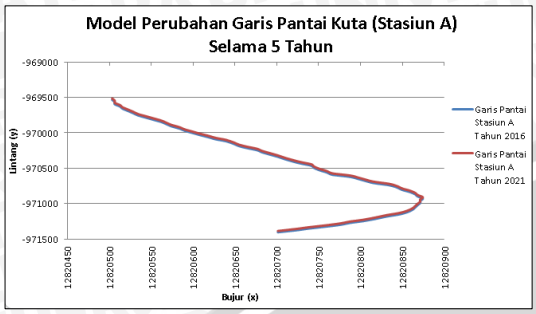
| No Transek | Stasiun | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 23 | 30 | | | |
| 24 | 27 | | | |
| 25 | 12 | | | |
| 26 | 6 | | | |
| 27 | 0 | | | |
| 28 | -7 | | | |
| 29 | -13 | | | |
| 30 | -15 | | | |
| 31 | -16 | | | |
| 32 | -16 | | | |
| 33 | -17 | | | |
| 34 | -21 | | | |
| 35 | -19 | | | |
| 36 | -23 | | | |
| 37 | -30 | | | |
| 38 | -23 | | | |
| 39 | -18 | | | |
| 40 | -10 | | | |
| 41 | -4 | | | |
| 42 | -10 | | | |
| 43 | -29 | | | |
| 44 | -40 | | | |
| m/6 thn | -5.14 | -5.07 | 22.22 | -6.60 |
| m/tahun | -0.86 | -0.85 | 3.70 | -1.10 |

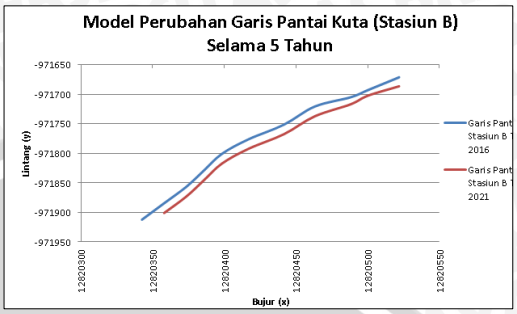
- **Tahun 2002 -2015**

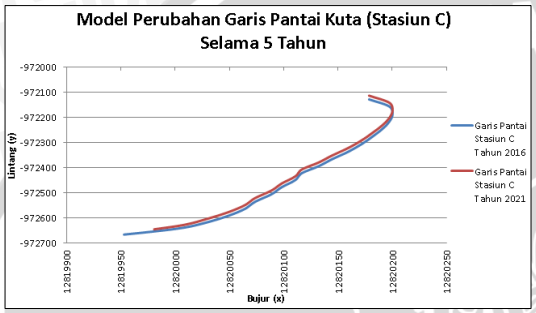
| No Transek | Stasiun | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 1 | -17 | 7 | 73 | 93 |
| 2 | -4 | 21 | 65 | 74 |
| 3 | 3 | -3 | 38 | 38 |
| 4 | 1 | -38 | 25 | 12 |
| 5 | -6 | -46 | 40 | 2 |
| 6 | -40 | -52 | 42 | -1 |
| 7 | -31 | -45 | 32 | -3 |
| 8 | -23 | -37 | 32 | 1 |
| 9 | -25 | -32 | 51 | 2 |
| 10 | -33 | -30 | 33 | -16 |

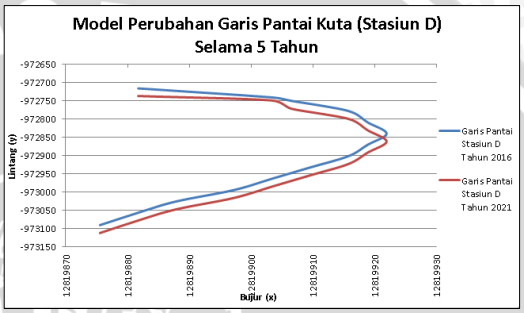
| No Transek | Stasiun | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 11 | -35 | -36 | 26 | -22 |
| 12 | -31 | -20 | 29 | -18 |
| 13 | -33 | 4 | 33 | -11 |
| 14 | -32 | 18 | 32 | -3 |
| 15 | -23 | | 32 | 6 |
| 16 | -13 | | 26 | |
| 17 | -4 | | 33 | |
| 18 | -7 | | 29 | |
| 19 | -10 | | | |
| 20 | -6 | | | |
| 21 | -6 | | | |
| 22 | -5 | | | |
| 23 | 3 | | | |
| 24 | 16 | | | |
| 25 | -12 | | | |
| 26 | -21 | | | |
| 27 | -19 | | | |
| 28 | -16 | | | |
| 29 | -16 | | | |
| 30 | -21 | | | |
| 31 | -24 | | | |
| 32 | -22 | | | |
| 33 | -19 | | | |
| 34 | -17 | | | |
| 35 | -15 | | | |
| 36 | -14 | | | |
| 37 | -9 | | | |
| 38 | 0 | | | |
| 39 | 7 | | | |
| 40 | 1 | | | |
| 41 | 4 | | | |
| 42 | -3 | | | |
| 43 | -6 | | | |
| 44 | 0 | | | |
| m/13 thn | -13.25 | -20.64 | 37.28 | 10.27 |
| m/thn | -1.02 | -1.59 | 2.87 | 0.79 |

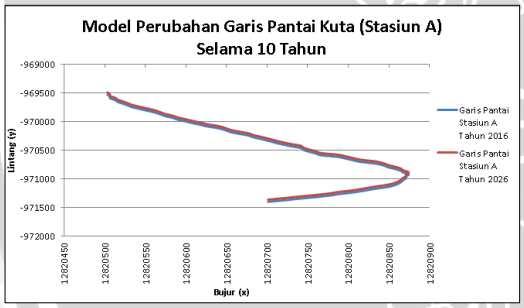
**Lampiran 5.** Grafik Prediksi Perubahan Garis Pantai 5, 10 dan 15 Tahun Mendatang

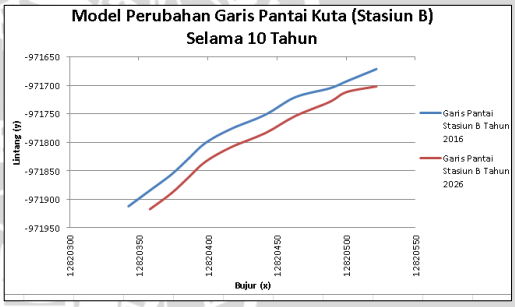


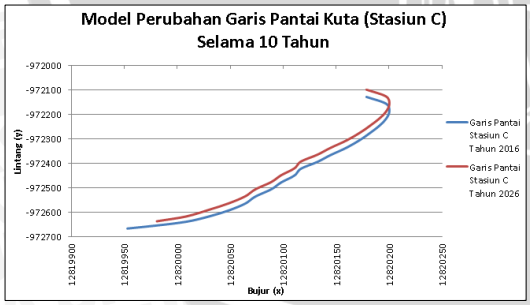



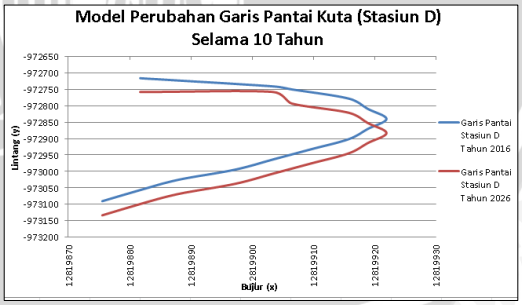



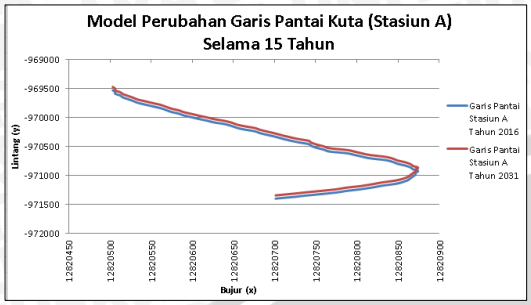



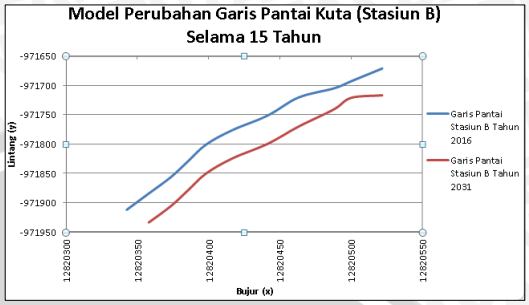



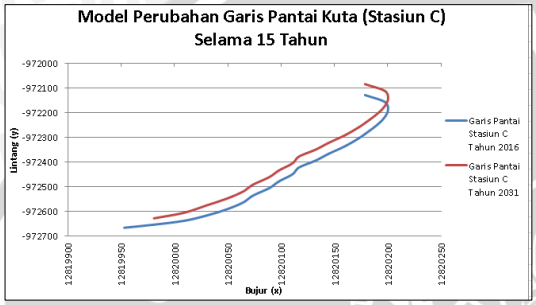



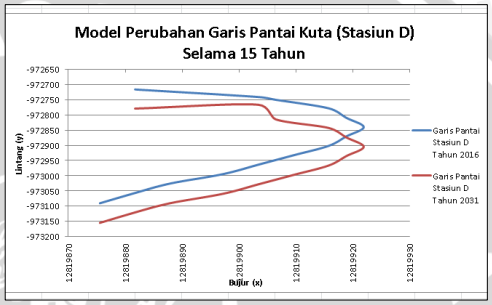




Model Perubahan Garis Pantai Kuta (Stasiun A)
Selama 15 Tahun
-969000
-969500
-970000
-970500
-971000
-971500
-972000
Lintang (y)
12820450
12820500
12820550
12820600
12820650
12820700
12820750
12820800
12820850
12820900
Bujur (x)
Garis Pantai Stasiun A Tahun 2016
Garis Pantai Stasiun A Tahun 2031


Model Perubahan Garis Pantai Kuta (Stasiun B)
Selama 15 Tahun
-971650
-971700
-971750
-971800
-971850
-971900
-971950
Lintang (y)
12820300
12820350
12820400
12820450
12820500
12820550
Bujur (x)
Garis Pantai Stasiun B Tahun 2016
Garis Pantai Stasiun B Tahun 2031


Model Perubahan Garis Pantai Kuta (Stasiun C)
Selama 15 Tahun
-972000
-972100
-972200
-972300
-972400
-972500
-972600
-972700
Lintang (y)
12819900
12819950
12820000
12820050
12820100
12820150
12820200
12820250
Bujur (x)
Garis Pantai Stasiun C Tahun 2016
Garis Pantai Stasiun C Tahun 2031


Model Perubahan Garis Pantai Kuta (Stasiun D)
Selama 15 Tahun
-972650
-972700
-972750
-972800
-972850
-972900
-972950
-973000
-973050
-973100
-973150
-973200
Lintang (y)
12819870
12819880
12819890
12819900
12819910
12819920
12819930
Bujur (x)
Garis Pantai Stasiun D Tahun 2016
Garis Pantai Stasiun D Tahun 2031

**Lampiran 6.** Dokumentasi Stasiun Peneltian

Stasiun A

Stasiun B

Stasiun C

Stasiun D

**Lampiran 7.** Dokumentasi Pengambilan Data Lapang dan Uji Laboratorium

*Tracking* garis pantai

Pengukuran kedalaman

Pengambilan sampel sedimen

Penentuan arah datang gelombang

Pengukuran gelombang

Proses pengayakan secara manual

Perebusan piknometer

Penimbangan piknometer

Pengukuran suhu