

**ANALISIS STABILITAS GARIS PANTAI DI PERAIRAN
TELUK PANCAMARGA KECAMATAN PESANGGARAN
KABUPATEN BANYUWANGI**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

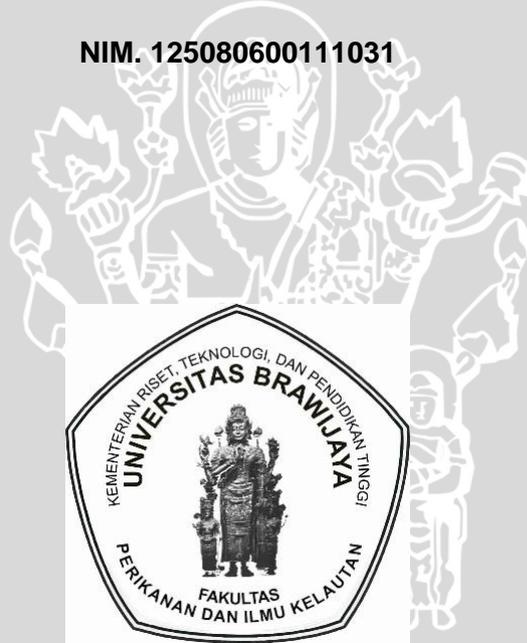
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

OLEH:

YUSDI AMIRZA SYAHPUTRA

NIM. 125080600111031

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

**ANALISIS STABILITAS GARIS PANTAI DI PERAIRAN
TELUK PANCAMARGA KECAMATAN PESANGGARAN
KABUPATEN BANYUWANGI**

**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:
YUSDI AMIRZA SYAHPUTRA
NIM. 125080600111031**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2016

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS STABILITAS GARIS PANTAI DI PERAIRAN
TELUK PANCAMARGA KECAMATAN PESANGGARAN
KABUPATEN BANYUWANGI

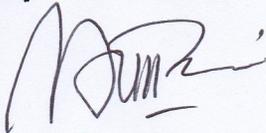
Oleh:

YUSDI AMIRZA SYAHPUTRA

NIM. 12508060111031

Menyetujui,

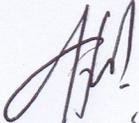
Dosen Pembimbing 1



Nurin Hidayati, ST., M. Sc
NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal: 20 JUL 2016

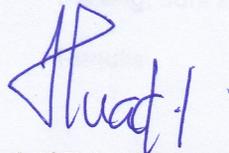
Dosen Pembimbing 2

an


Citra Satrya Utama D., S. Pi., M. Si
NIK. 201304801272001

Tanggal: 20 JUL 2016

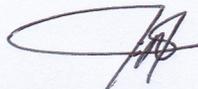
Dosen Penguji 1



M. Arif Zainul Fuad, S. Kel., M. Sc
NIP. 19801005 2005001 1 002

Tanggal: 20 JUL 2016

Dosen Penguji 2



Mullawati Handayani, S. Pi., M. Si
NIK. 2013098810052001

Tanggal:

20 JUL 2016

Mengetahui,
Ketua Jurusan PSPK



Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP
NIP. 19630608 198703 1 003

20 JUL 2016

ORISINALITAS SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan usulan skripsi ini benar – benar merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

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

Malang, Juni 2016

Penulis

Yusdi Amirza Syahputra



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar – sebesarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis: Ayahanda tercinta Achmad Yusro dan ibunda tersayang Wiji Lestari atas setiap doa, bimbingan, pengorbanan, nasehat, dan kasih sayang, serta bantuan tenaga dan materil sampai saat ini.
2. Adikku Naira Multiangga Dewi yang telah memberi dukungan serta keceriaan dalam mengerjakan laporan skripsi.
3. Ibu Nurin Hidayati, ST., M. Sc selaku pembimbing 1 dan Ibu Citra Satrya Utama D, S. Pi., M. Si selaku pembimbing 2 dalam penyelesaian skripsi yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi serta bantuan dalam konsultasi dengan penuh dedikasi dan kesabaran.
4. Bapak M. Arif Zainul Fuad, S. Kel., M. Sc selaku penguji 1 dan ibu Muliawati Handayani, S. Pi., M. Si selaku pembimbing 2 atas segala bantuan kritik dan saran selama pengerjaan penulisan skripsi.
5. Direktorat Jenderal Perguruan tinggi (DIKTI) karena dengan bantuan beasiswa Bidikmisi saya dapat menyelesaikan kuliah dengan baik.
6. BMKG Perak Surabaya yang telah memberikan data untuk penelitian.
7. Bapak Dr. Ir. Guntur, MS selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga dapat menyelesaikan kuliah pada program studi Ilmu Kelautan.
8. Bapak dan Ibu dosen program studi Ilmu Kelautan yang telah membagikan pengetahuan dan pengalaman kepada penulis.
9. Para Staf Jurusan PSPK, FPIK, yang telah membantu dan melayani penulis dengan baik dan tulus.
10. Septian Bagaskara dan teman – teman yang telah membantu dalam mengambil data di lapangan serta mengolah data skripsi.

RINGKASAN

YUSDI AMIRZA SYAHPUTRA. Penelitian skripsi tentang Analisis Stabilitas Garis Pantai Di Perairan Teluk Pancamarga Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi (di bawah bimbingan **Nurin Hidayati** dan **Citra Satrya Utama D**).

Perubahan garis pantai merupakan salah satu bentuk tanggapan dinamis yang terjadi secara terus-menerus, bentuk dari perubahan garis berupa erosi dan akresi (sedimentasi) yang terjadi sebagai akibat dari interaksi antara pergerakan sedimen, arus, dan gelombang dengan kawasan pantai secara langsung.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prediksi perubahan garis pantai menggunakan metode numerik dengan membandingkan rumus transpor sedimen CERC dan Manohar.

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, dengan teknik pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer meliputi sedimen, arus, kemiringan pantai, *tracking* garis pantai dan sudut datang gelombang. Sedangkan data sekunder meliputi data angin, peta lokasi, dan peta perubahan garis pantai tahun 2012 – 2016.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa prediksi perubahan garis pantai dengan menggunakan rumus CERC dan Manohar diperoleh nilai prediksi perubahan garis pantai selama 20 tahun menggunakan rumus CERC menghasilkan jarak perubahan yang lebih besar dengan nilai erosi terbesar mencapai 162.87 meter dan sedimentasi terbesar mencapai 94.59 meter, sedangkan untuk rumus Manohar erosi terbesar mencapai 109.37 meter dan sedimentasi terbesar mencapai 30.56 meter. Selain memprediksi perubahan garis pantai, penelitian ini juga menghitung faktor lain yang mempengaruhi perubahan garis pantai seperti kecepatan angin berkisar antara 5.7 – 8.8 m/s dominan dari arah selatan. Jenis sedimen yang ditemukan dominan pasir sedang dengan presentase 64.77%. Kecepatan rata-rata arus di lokasi penelitian sebesar 0.56 m/s.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian skripsi yang berjudul “ANALISIS STABILITAS GARIS PANTAI DI PERAIRAN TELUK PANCAMARGA KECAMATAN PESANGGARAN KABUPATEN BANYUWANGI”. Di dalam tulisan ini terdapat pokok-pokok bahasan yang meliputi metode penelitian yang digunakan, serta hasil dan pembahasan yang mencakup hasil dari penelitian serta pengolahan data. Hasil dari penelitian tersebut kemudian akan dibahas lebih lanjut untuk memperoleh penjelasan mengenai fenomena yang terjadi.

Selain yang disebutkan di atas, di dalam laporan ini juga dijabarkan landasan teori yang digunakan, landasan teori ini dijadikan acuan penulis untuk menyusun materi yang akan dibahas, baik itu pada bagian metode maupun bab pembahasan.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan skripsi ini terdapat banyak kekurangan, kritik dan saran yang membangun dapat diberikan untuk perbaikan agar menjadi lebih baik lagi ke depannya.

Malang, Juni 2016

Yusdi Amirza Syahputra

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| ORISINALITAS SKRIPSI | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | v |
| RINGKASAN..... | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Manfaat..... | 3 |
| 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 Pantai..... | 4 |
| 2.1.1 Definisi Pantai..... | 4 |
| 2.1.2 Jenis Pantai..... | 5 |
| 2.2 Gelombang Laut..... | 6 |
| 2.2.1 Peramalan Gelombang..... | 6 |
| 2.2.2 Transformasi Gelombang..... | 13 |
| 2.3 Arus..... | 14 |
| 2.4 Sedimen Pantai..... | 16 |
| 2.4.2 Sumber Sedimen Di Pantai..... | 16 |
| 2.4.3 Ukuran Partikel Sedimen..... | 16 |
| 2.4.4 Transpor Sedimen Pantai..... | 17 |
| 2.5 Perubahan Garis Pantai..... | 20 |
| 3. METODOLOGI PENELITIAN..... | 22 |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian..... | 22 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 23 |
| 3.3.1 Alat..... | 23 |
| 3.3.2 Bahan..... | 24 |
| 3.3 Metode Penelitian..... | 24 |
| 3.4 Prosedur Pengumpulan Data Penelitian..... | 26 |
| 3.4.1 Data Primer..... | 26 |
| 3.4.2 Data Sekunder..... | 31 |
| 3.5 Pengolahan Data..... | 34 |
| 3.5.1 Berat Jenis Sedimen..... | 34 |
| 3.5.2 Gelombang..... | 36 |



| | |
|--|-----------|
| 3.5.3 Prediksi Perubahan Garis Pantai..... | 36 |
| 3.6 Analisis Data | 38 |
| 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1 Profil Kemiringan Pantai | 39 |
| 4.2 Kecepatan dan Arah Angin..... | 42 |
| 4.3 Gelombang..... | 43 |
| 4.4 Kecepatan dan Arah Arus | 45 |
| 4.5 Jenis dan Ukuran Sedimen | 47 |
| 4.6 Berat Jenis Sedimen | 50 |
| 4.7 Perubahan Garis Pantai | 51 |
| 4.8 Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai | 55 |
| 4.9 Kurva <i>Hjulstrom</i> | 57 |
| 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 63 |
| 5.1 Kesimpulan | 63 |
| 5.2 Saran | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 64 |
| LAMPIRAN..... | 67 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1. Definisi Pantai | 4 |
| Gambar 2. Diagram alir proses peramalan gelombang dengan data angin | 12 |
| Gambar 3. Pembagian pantai menjadi sejumlah sel..... | 21 |
| Gambar 4. Peta lokasi penelitian..... | 22 |
| Gambar 5. Titik pengambilan data arus dan sedimen | 25 |
| Gambar 6. Diagram alir pelaksanaan penelitian..... | 27 |
| Gambar 7. Diagram alir pengambilan data <i>tracking</i> garis pantai | 28 |
| Gambar 8. Ilustrasi pengukuran kemiringan pantai | 28 |
| Gambar 9. Diagram alir pengujian sampel sedimen | 30 |
| Gambar 10. Diagram alir pengolahan data citra satelit..... | 32 |
| Gambar 11. Konversi data angin menjadi data gelombang | 33 |
| Gambar 12. Peta pengambilan data gelombang | 34 |
| Gambar 13. Diagram alir pengambilan dan pengujian sedimen | 36 |
| Gambar 14. Diagram alir prediksi perubahan garis pantai..... | 38 |
| Gambar 15. Profil kemiringan pantai stasiun A..... | 40 |
| Gambar 16. Profil kemiringan pantai stasiun B..... | 40 |
| Gambar 17. Profil kemiringan pantai stasiun C | 40 |
| Gambar 18. Profil kemiringan pantai stasiun D | 41 |
| Gambar 19. Profil kemiringan pantai stasiun E..... | 41 |
| Gambar 20. Profil kemiringan pantai stasiun F..... | 41 |
| Gambar 21. Profil kemiringan pantai di seluruh stasiun..... | 42 |
| Gambar 22. Mawar angin..... | 43 |
| Gambar 23. Peta sebaran arus hasil pengukuran di lokasi penelitian..... | 46 |
| Gambar 24. Grafik distribusi ukuran sedimen..... | 49 |
| Gambar 25. Perubahan garis pantai di lokasi penelitian..... | 51 |

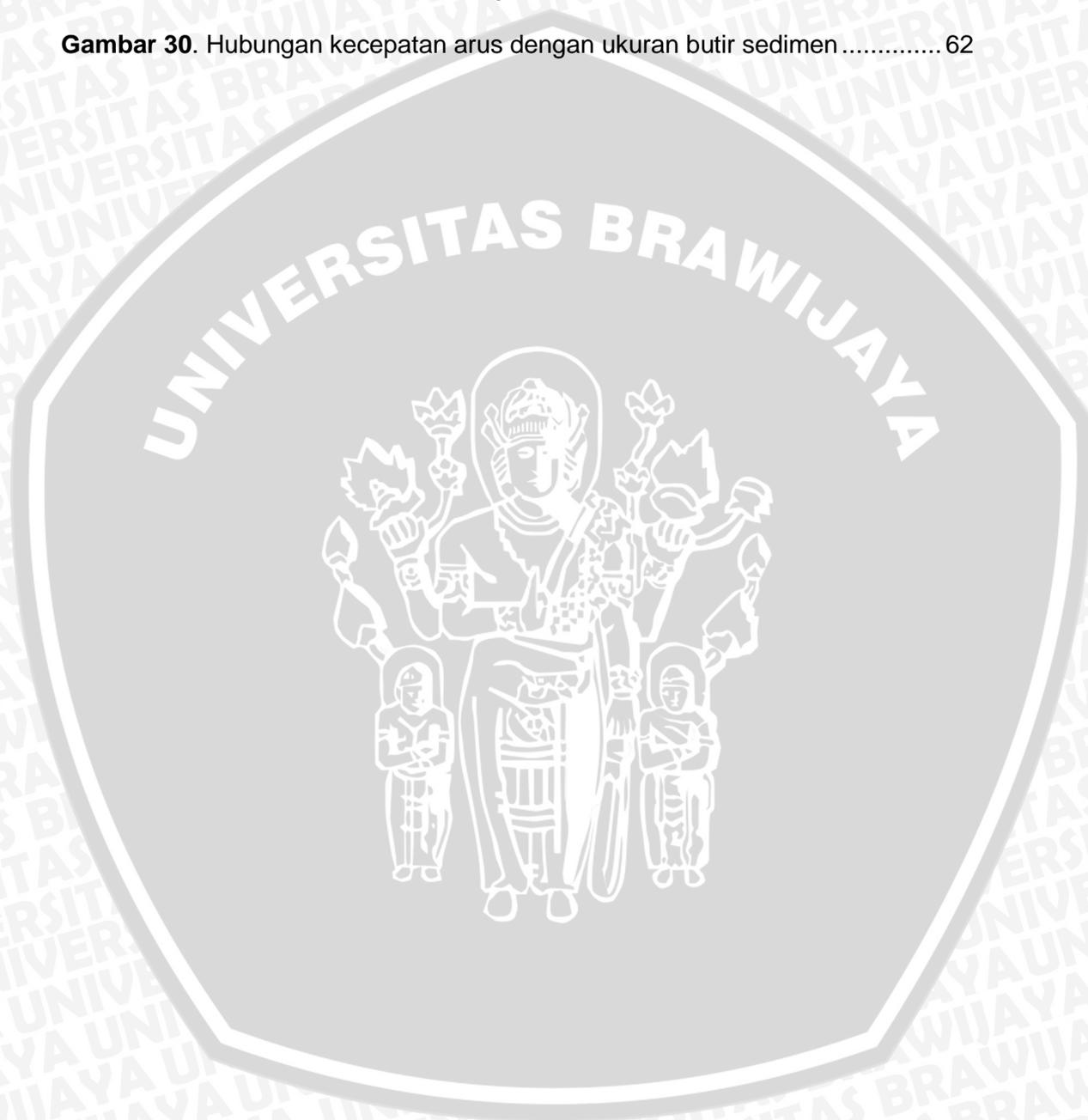
Gambar 26. Peta perubahan garis pantai tahun 2012 - 2016 52

Gambar 27. Grafik perubahan garis pantai tahun 2012 – 2016 53

Gambar 28. Hasil prediksi perubahan garis pantai rumus CERC 60

Gambar 29. Hasil prediksi perubahan garis pantai rumus Manohar 61

Gambar 30. Hubungan kecepatan arus dengan ukuran butir sedimen 62



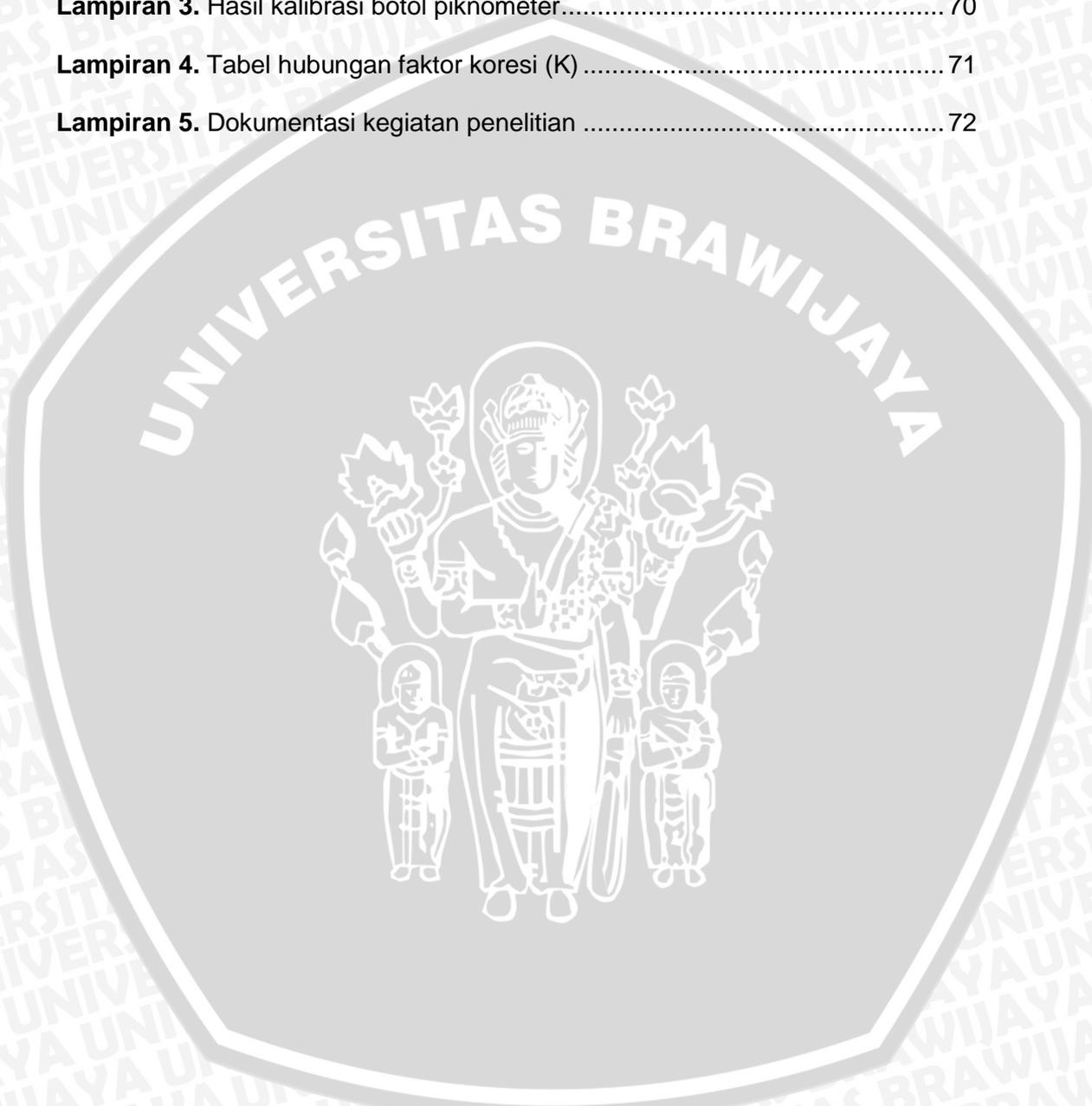
DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Sedimen | 17 |
| Tabel 2. Rumus transpor sedimen sepanjang pantai | 19 |
| Tabel 3. Alat yang digunakan selama penelitian..... | 23 |
| Tabel 4. Bahan yang digunakan selama penelitian..... | 24 |
| Tabel 5. Koordinat Pengambilan Sampel | 25 |
| Tabel 6. Profil kemiringan pantai di lokasi penelitian | 39 |
| Tabel 7. Data gelombang hasil peramalan | 44 |
| Tabel 8. Hasil pengolahan data arus | 46 |
| Tabel 9. Persentase berat fraksi dan tipe sedimen di lokasi penelitian | 47 |
| Tabel 10. Berat jenis sedimen tiap titik pengambilan | 50 |
| Tabel 11. Perubahan garis pantai dari tahun 2012 - 2016 | 53 |
| Tabel 12. Jarak perubahan garis pantai | 59 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. <i>Fetch</i> efektif | 67 |
| Lampiran 2. Hasil <i>hindcasting</i> data gelombang | 69 |
| Lampiran 3. Hasil kalibrasi botol piknometer..... | 70 |
| Lampiran 4. Tabel hubungan faktor koresi (K) | 71 |
| Lampiran 5. Dokumentasi kegiatan penelitian | 72 |



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pantai merupakan batas antara daratan dan laut selalu berubah secara dinamis. Karakteristik pantai sangat dipengaruhi oleh gelombang, terutama gelombang yang diakibatkan oleh angin. Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang, penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut (Arafat & Hidayat, 2011). Perubahan garis pantai merupakan salah satu bentuk tanggapan dinamis yang terjadi secara terus-menerus, bentuk dari perubahan garis berupa erosi dan akresi (sedimentasi) yang terjadi sebagai akibat dari interaksi antara pergerakan sedimen, arus, dan gelombang dengan kawasan pantai secara langsung (Wibowo, 2009). Faktor lain yang menyebabkan perubahan garis pantai adalah faktor antropogenik, seperti aktivitas manusia. Hal ini dapat dijadikan salah satu parameter yang penting untuk pengamanan pantai.

Berdasarkan hasil dari studi pendahuluan dengan melihat perubahan garis pantai tahun 2012 – 2014 menggunakan citra satelit *google earth*, diperoleh bahwa salah satu pantai yang mengalami perubahan garis pantai adalah Teluk Pancamarga yang terletak di Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi. Sebagai kawasan wisata dan aktivitas pelabuhan perikanan, Teluk Pancamarga rentan akan perubahan garis pantai karena aktivitas manusia serta kondisi gelombang yang cukup tinggi. Selain itu, sedikitnya muara sungai yang bermuara di kedua pantai tersebut dan adanya bangunan pantai berupa *jetty* di Pantai Mustika menyebabkan kondisi dinamika pantai semakin beragam. Akibat dari perubahan garis pantai, terutama erosi dapat menyebabkan terganggunya aktivitas wisata dan pelabuhan perikanan yang berada di kawasan tersebut.

Perubahan garis dalam penelitian ini menggunakan 2 metode, yaitu dengan menggunakan peta dari citra satelit di masa lampau dan prediksi perubahan garis pantai menggunakan perhitungan transpor sedimen. Rumus transpor sedimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah CERC dan Manohar, kedua rumus ini memiliki karakteristik yang berbeda sehingga hasil akhir dari penelitian ini adalah perbandingan hasil prediksi perubahan garis pantai dari kedua rumus tersebut. Rumus CERC dan Manohar merupakan rumus untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai dengan memperhitungkan komponen fluks energi gelombang serta diameter jenis sedimen. Mengacu pada hal tersebut, penelitian mengenai dinamika pantai di perairan Teluk Pancamarga perlu dilakukan dengan mencakup analisis data arus, gelombang, sedimen dan prediksi perubahan garis pantai selama 20 tahun, dimana pada kurun waktu tersebut diperkirakan terdapat perubahan garis pantai yang cukup signifikan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pengembangan infrastruktur baik itu untuk pelabuhan perikanan, seperti memperbaiki bangunan pelindung pantai maupun pembangunan hotel serta penginapan di sekitar area wisata yang dapat digunakan sebagai sumber pendapatan masyarakat sekitar (BAPPEDA, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Perairan Teluk Pancamarga Kecamatan Pesanggaran terletak di wilayah selatan Pulau Jawa, salah satu karakteristik dari Laut Selatan Jawa adalah ombak yang besar dan pantainya kebanyakan bersedimen pasir sehingga pantai selatan Jawa lebih mudah mengalami perubahan garis pantai. Teluk Pancamarga merupakan contoh dari perairan di Selatan Jawa yang memiliki kedua ciri tersebut, sehingga perairan tersebut rentan akan perubahan garis pantai. Untuk memprediksi perubahan garis pantai tersebut dapat menggunakan metode

numerik yang terdiri dari beberapa komponen yaitu, laju transpor sedimen, gelombang dan kemiringan pantai.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis jenis dan ukuran butir sedimen di perairan Teluk Pancamarga, Kabupaten Banyuwangi.
2. Menganalisis perubahan garis pantai tahun 2012 sampai 2016 di Teluk Pancamarga, Kabupaten Banyuwangi.
3. Menganalisis hasil prediksi perubahan garis pantai menggunakan metode numerik dengan rumus CERC dan Manohar sampai jangka waktu 20 tahun.

1.4 Manfaat

Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

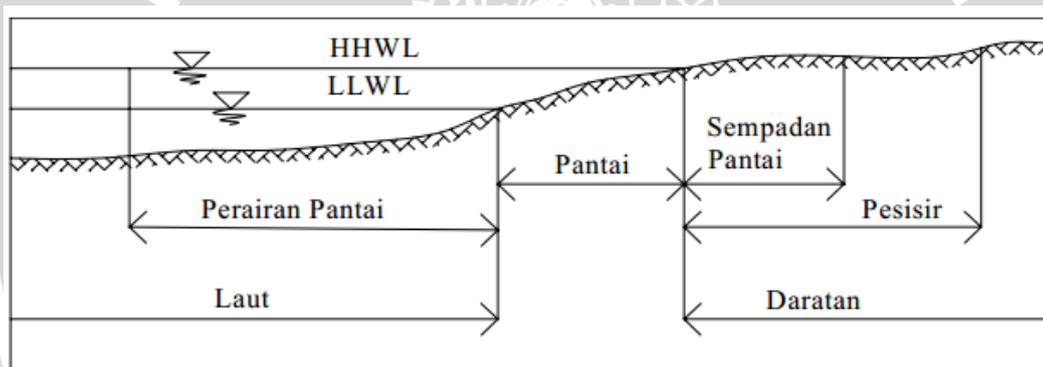
1. Melalui penelitian ini akan diperoleh karakteristik gelombang di perairan Teluk Pancamarga sehingga jika terjadi erosi, dapat dilakukan pencegahan dengan pembangunan *seawall* atau *beach nourishment* (pengisian pasir).
2. Memberikan informasi kepada warga serta pemerintah daerah untuk melakukan tindak pencegahan jika terjadi erosi yang semakin parah, sehingga ancaman keselamatan jiwa dan harta dapat diminimalisir sekecil mungkin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pantai

2.1.1 Definisi Pantai

Pantai merupakan daerah tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah, dipengaruhi oleh proses fisika air laut dan sosial ekonomi maritim, sedangkan batas ke arah darat dibatasi oleh proses alami, seperti adanya gumuk pasir dan vegetasi yang tumbuh di atasnya dan juga adanya kegiatan manusia di lingkungan darat (Triatmodjo, 1999). Di bawah ini gambar penjelasan mengenai bagian pantai.



(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Gambar 1. Definisi Pantai

Berdasarkan Gambar 1, Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Daerah pesisir cakupannya lebih luas dari pada pantai, namun tidak mencapai batas surut air terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis tertinggi, daerah daratan ini merupakan wilayah yang banyak terdapat aktivitas warga. Daerah lautan merupakan daerah yang terletak di atas dan di permukaan laut di mulai dari garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya. Garis pantai

merupakan garis batas pertemuan antara daratan dan laut, garis pantai ini dapat berubah baik itu erosi maupun akresi, hal ini dapat terjadi melalui proses alami maupun akibat aktivitas manusia. Sempadan pantai merupakan daerah khusus yang diperuntukan untuk mempertahankan kelestarian ekosistem pantai.

Anatomi bentuk pantai menurut Sverdrup *et al.* (2006), adalah sebagai berikut:

1. *Backshore* merupakan daerah pantai yang kering dan hanya terendam saat pasang tertinggi dan badai.
2. *Foreshore* merupakan daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air terendah sampai batas atas dari *uprush* saat pasang tinggi (Triatmodjo, 1999).
3. *Offshore* adalah daerah yang mencakup perairan dangkal dengan batasan surut terendah hingga batas akhir adalah gelombang yang menyentuh dasar pantai.

2.1.2 Jenis Pantai

Adapun jenis pantai yang ada di Indonesia menurut Triatmodjo (1999), sebagai berikut:

1. Pantai berpasir

Pantai berpasir merupakan pantai yang banyak ditemukan di pantai yang menghadap ke Samudera Indonesia, seperti pantai selatan Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan pantai barat Sumatera. Pantai dengan tipe ini sangat mudah mengalami perubahan karena ukuran butir sedimen yang sangat kecil sehingga memudahkan arus dan gelombang untuk memindahkannya. Selain pengaruh dari ukuran sedimen yang menyebabkan mudahnya terjadi perubahan garis pantai tipe pasir, terdapat juga faktor kemiringan pantai.

Di sepanjang pantai selatan Jawa Tengah terbentuk *sand dunes* dengan lebar mencapai 2 km dan tinggi 8 m. Pembentukan *sand dunes* tersebut disebabkan oleh angkutan pasir yang sangat besar di sepanjang pantai. Pembentukan *sand*

dunes terutama terjadi pada musim kemarau dimana butir pasir lebih mudah digerakkan oleh tiupan angin. Pantai tipe pasir, tidak semua pantai ini dapat membentuk *sand dunes*, faktor angin dan gelombang yang besar merupakan syarat yang harus ada untuk dapat membentuk *sand dunes*.

2. Pantai berlumpur

Pantai berlumpur terjadi di daerah pantai di mana terdapat muara sungai yang membawa sedimen suspensi dalam jumlah besar ke laut. Selain itu, kondisi gelombang di pantai tersebut relatif tenang sehingga tidak mampu membawa sedimen tersebut ke perairan dalam di laut lepas. Sedimen suspensi tersebut menyebar pada suatu perairan di laut lepas. Sedimen suspensi tersebut dapat menyebar pada suatu daerah sehingga membentuk pantai yang luas, datar, dan dangkal.

Pantai berlumpur merupakan habitat yang cocok untuk pertumbuhan mangrove, mangrove memiliki fungsi sebagai perangkap sedimen sehingga hasil dari perangkap sedimen adalah sedimentasi atau pembentukan daratan baru, selain itu mangrove juga berfungsi sebagai peredam gelombang untuk mencegah erosi pantai.

2.2 Gelombang Laut

2.2.1 Peramalan Gelombang

Gelombang laut yang akan diramal adalah gelombang di laut dalam suatu perairan yang dibangkitkan oleh angin, kemudian merambat ke arah pantai dan pecah seiring pendangkalan perairan di dekat pantai. Hasil peramalan gelombang berupa tinggi dan periode gelombang signifikan untuk masing – masing arah angin yang menyebabkan terbentuknya gelombang. Data – data yang dibutuhkan untuk meramal gelombang terdiri dari:

1. Panjang *fetch* efektif
2. Data kecepatan angin yang telah dikonversi menjadi *wind stress factor* (U_a)

1. Perhitungan *fetch* efektif

Fetch adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang *fetch* diukur dari titik pengamatan dengan interval 5° (Yualita, 2008). Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Jika data untuk menghitung *fetch* terbatas (di laut lepas), maka panjang *fetch* di laut lepas adalah 200 km (Nadia *et al.*, 2013). Penentuan titik *fetch* diambil pada posisi laut dalam dari lokasi perairan yang ditinjau, karena gelombang yang dibangkitkan oleh angin terbentuk di laut dalam suatu perairan, kemudian merambat ke daerah pantai, mengalami transformasi dan pecah seiring dengan pendangkalan dasar perairan di dekat pantai.

Panjang *fetch* efektif dihitung berdasarkan prosedur sebagai berikut:

1. Menarik garis *fetch* untuk suatu arah angin.
2. Menarik garis *fetch* dengan penyimpangan sebesar 5° dan -5° dari suatu arah angin pada suatu batas areal yang lain. Pengambilan nilai 5° ini dilakukan mengingat adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang *fetch* diukur dari titik pengamatan dengan interval 5° .
3. Mengukur panjang *fetch* tersebut sampai menyentuh daratan terdekat, lalu dikalikan dengan skala peta.
4. Panjang *fetch* efektif ditentukan dengan rumus berikut:

$$F = \frac{\sum X_i \times \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

F = *fetch* efektif

X_i = panjang segmen yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan penambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin

2. Perhitungan *Wind Stress Factor* (U_a)

Wind stress factor merupakan data kecepatan angin yang dimodifikasi. Sebelum merubah kecepatan angin menjadi *wind stress factor*, diperlukan koreksi dan konversi terhadap kecepatan angin. Berikut merupakan koreksi dan konversi yang perlu dilakukan pada data kecepatan angin untuk mendapatkan nilai *wind stress factor*.

1. Koreksi ketinggian, jika pengukuran kecepatan angin dilakukan pada ketinggian kurang dari 20 meter (z < 20 m).

$$U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

U₍₁₀₎ = kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s)

U_(z) = kecepatan angin pada ketinggian pengukuran (m/s)

z = ketinggian pengukuran (m)

2. Koreksi durasi, selama angin bertiup kecepatan dianggap konstan. Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata selama durasi angin bertiup yang diinginkan.

$$t_1 = \frac{1609}{u_f} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

U_F = kecepatan angin hasil koreksi elevasi (m/s)

t = durasi waktu yang diinginkan (detik)



3. Koreksi stabilitas, berkaitan dengan perbedaan temperatur udara tempat bertiupnya angin dan air tempat terbentuknya gelombang.

$$U = R_T U_{(10)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

U = kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s)

R_T = Koefisien stabilitas

Jika tidak terdapat perbedaan temperatur udara dan air, maka dapat digunakan nilai R_T = 1.1

4. Konversi ke *wind stress factor*

Setelah koreksi dan konversi kecepatan selesai, tahap selanjutnya adalah mengkonversi kecepatan angin tersebut menjadi *wind stress factor*.

$$U_A = 0.71 \times U^{1.23} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

U_A = *wind stress factor* (m/s)

U = kecepatan angin (m/s)

3. Peramalan tinggi dan periode gelombang

Pembentukan gelombang diramal dengan formula-formula empiris yang berdasar spektrum gelombang *JONSWAP* (*shore protection manual, 1984*).

Prosedur peramalan tersebut berlaku baik untuk kondisi *fetch* terbatas (*fetch limited condition*) maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*).

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left(\frac{g \times F_{eff}}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \leq 7.15 \times 10^4 \dots\dots\dots (6)$$

Jika tidak memenuhi persamaan tersebut maka gelombang termasuk kategori *fully developed*. Perhitungan tinggi dan periode gelombangnya menggunakan persamaan berikut:

$$H_{m0} = \frac{0.2433 \times U_A^2}{g} \dots\dots\dots (7)$$



$$T_p = \frac{8.314 \times U_A}{g} \dots\dots\dots (8)$$

Jika hasil analisa perbandingan memenuhi persamaan (6), maka termasuk kategori *non fully developed*. Gelombang kategori ini terdapat dua jenis pembentukan, yaitu *fetch limited* dan *duration limited*, untuk membedakannya perlu dihitung nilai durasi kritis (t_c):

$$t_c = \frac{68.8 \times U_A}{g} \times \left(\frac{g \times F_{eff}}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (7)$$

Jika durasi yang ditentukan (t_d) > (t_c), maka gelombang tersebut termasuk kategori *fetch limited*, persamaan yang digunakan:

$$H_{m0} = \frac{0.0016 \times U_A^2}{g} \times \left(\frac{g \times F_{eff}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

$$T_p = \frac{0.2857 \times U_A}{g} \times \left(\frac{g \times F_{eff}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (9)$$

Jika $t_d < t_c$, maka gelombang termasuk kategori *duration limited* perhitungan tinggi dan periode gelombangnya dihitung dengan mengganti *fetch* efektif menjadi F_{min} , persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$F_{min} = \frac{U_A^2}{g} \times \left(\frac{g \times t_d}{68.6 \times U_A^2} \right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak gelombang (detik)

F = panjang *fetch* efektif (km)

U_A = *wind stress factor*

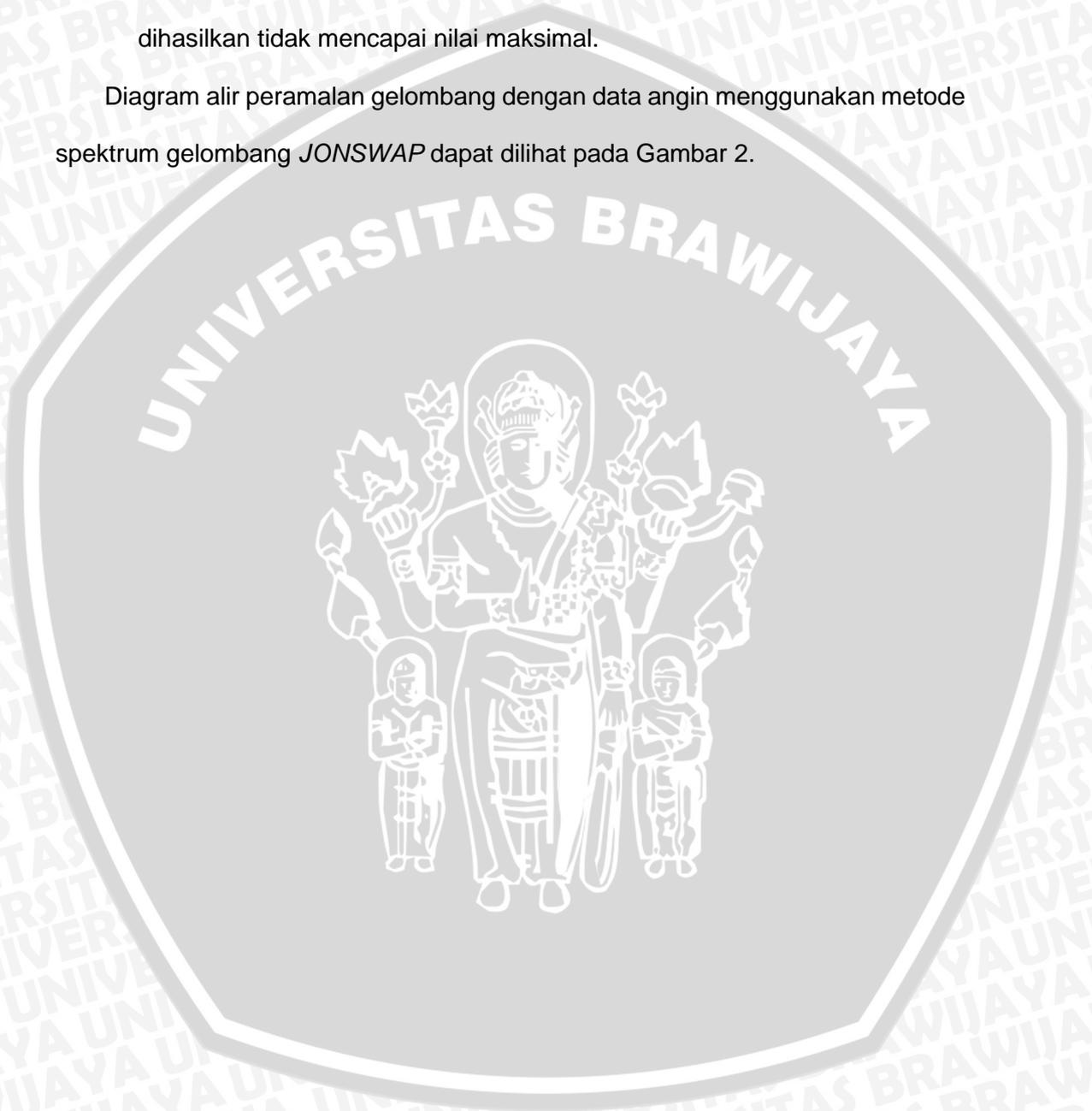
Berikut penjelasan beberapa konsep yang sering digunakan dalam peramalan gelombang (Pinet, 2014):

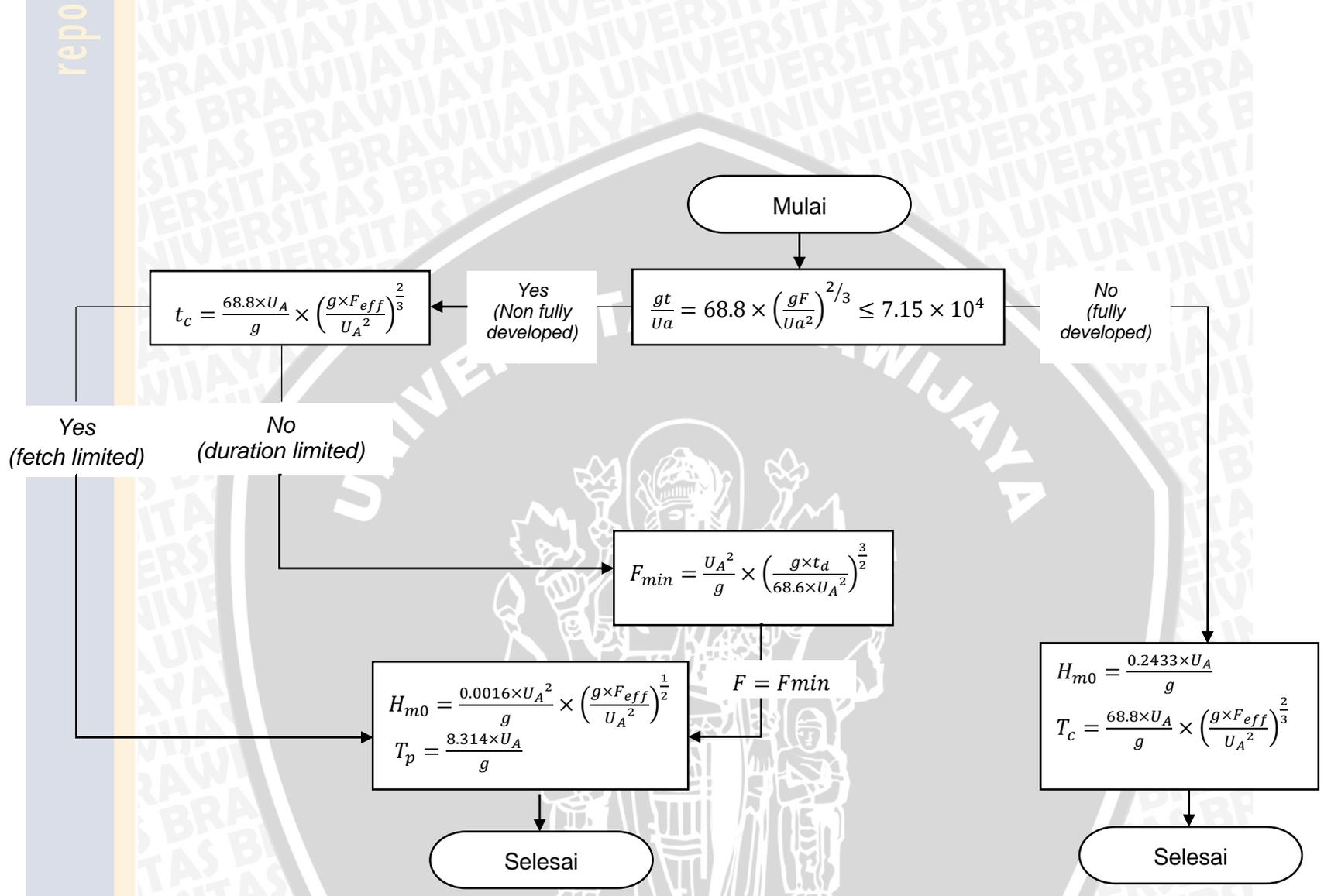
1. *Fetch limited*: pembangkitan gelombang yang di batasi oleh daratan/garis pantai.
2. *Duration limied*: pembangkitan gelombang yang di batasi oleh lama berhembusnya angin tersebut.



3. *Fully developed*: suatu keadaan di laut lepas dimana energi gelombang dapat mencapai nilai maksimal sebagai akibat dari pembentukan angin.
4. *Non fully developed*: suatu keadaan dimana pembangkitan gelombang di batasi oleh daratan atau pulau, sehingga energi gelombang yang dihasilkan tidak mencapai nilai maksimal.

Diagram alir peramalan gelombang dengan data angin menggunakan metode spektrum gelombang *JONSWAP* dapat dilihat pada Gambar 2.





(Sumber: CERC, 1984)

Gambar 2. Diagram alir proses peramalan gelombang dengan data angin

2.2.2 Transformasi Gelombang

Peramalan gelombang memerlukan pula suatu analisis transformasi gelombang dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Sehingga tinggi gelombang laut dalam ekuivalen untuk keadaan dimana gelombang tidak mengalami difraksi diberikan oleh bentuk:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 \times L_0}{n \times L}} \dots\dots\dots (11)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (12)$$

$$H'_0 = K' \times K_r \times H_0 \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

H'_0 = tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)

H_0 = tinggi gelombang laut dalam (m)

K' = koefisien difraksi

K_r = koefisien refraksi

n_0 = koefisien pendangkalan di laut dalam = 0.5

n = koefisien pendangkalan

L_0 = panjang gelombang di laut dalam (m)

L = panjang gelombang dekat pantai (m)

α = arah datang gelombang

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah. Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di laut transisi dan laut dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang, pada daerah ini puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil daripada bagian air yang lebih dalam sementara lembah gelombang menjadi semakin landai. Di kedalaman tertentu puncak

gelombang sedemikian tajam sehingga tidak stabil dan pecah. Setelah pecah gelombang terus menjalar ke pantai dan semakin mendekat dengan pantai tinggi gelombang semakin berkurang.

Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999).

Pengaruh refraksi memberi perubahan pada tinggi gelombang yang dirumuskan sebagai:

$$H = K_s \times K_r \times H_0 \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

H = Tinggi gelombang pada kedalaman tertentu (m)

K_s = Koefisien pendangkalan

H₀ = Tinggi gelombang di laut dalam (m)

K_r = Koefisien refraksi

2.3 Arus

Arus laut adalah pergerakan massa air laut secara horizontal maupun vertikal dari satu lokasi ke lokasi lain untuk mencapai kesetimbangan dan terjadi secara terus - menerus. Gerakan massa air laut tersebut timbul akibat pengaruh dari resultan gaya-gaya yang bekerja dan faktor yang mempengaruhinya (Marpaung dan Prayogo, 2014). Kecepatan arus akan menentukan tipe sedimen suatu perairan. Arus yang kuat akan menghasilkan perairan dengan dasar pasir dan arus yang lemah akan menghasilkan perairan dengan dasar lumpur.

Tipe arus yang banyak dikenal antara lain:

1. Arus pasang surut adalah arus yang terjadi karena perubahan tinggi permukaan air laut akibat pasang surut. Karakteristik arus pasang surut adalah mempunyai periode yang tetap, mengikuti pola pasang surut. Oleh karena itu kita kenal arus

pasang surut diurnal, semi-diurnal dan campuran. Kecepatan maksimum arus umumnya tercapai pada waktu menjelang pasang dan menjelang surut, sedangkan arah arus pasang surut ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan atau topografi setempat. Di daerah pantai, arus pasang surut terbesar umumnya sejajar dengan garis pantai.

2. Arus yang diakibatkan oleh angin merupakan arus dominan yang terjadi di lapisan permukaan perairan laut lepas. Pengaruh tiupan angin musim misalnya di perairan dari Laut Cina Selatan hingga Laut Ambon, menyebabkan terjadinya pembalikan pola sirkulasi air laut mengikuti pola tiupan angin. Selama musim angin barat, aliran air bergerak menuju timur, dan berubah ke arah barat pada saat musim timur. Jenis arus ini mempunyai arah dan kecepatan yang berbeda sesuai dengan pertambahan kedalaman air, dan umumnya menjadi sangat lemah pada kedalaman lebih spiral yang dikenal dengan nama 'Spiral Ekman'. Di perairan lintang utara arah putaran searah dengan putaran jarum jam, sedangkan di perairan lintang selatan arah putarannya berlawanan dengan putaran jarum jam. Arus akibat angin ini juga terjadi di perairan pantai akibat tiupan angin setempat.
3. Arus akibat perbedaan densitas air adalah arus yang terjadi karena adanya perbedaan ketinggian permukaan laut secara mendatar akibat dari beda densitas air. Jenis arus ini umumnya terjadi di daerah muara. Perairan yang didominasi oleh arus jenis ini mempunyai pola sirkulasi dua arah dengan arah arus di lapisan permukaan yang berdensitas lebih rendah berlawanan dengan arah arus di lapisan dekat dasar perairan. Kondisi arus demikian inilah yang menyebabkan terjadinya intrusi air laut ke sungai.

2.4 Sedimen Pantai

2.4.2 Sumber Sedimen Di Pantai

Menurut Pinet (2014), sumber sedimen berdasarkan terbentuknya dapat di bagi menjadi lima yaitu:

1. *Lithogenous* atau *terrigenous sediment*: merupakan sedimen yang dihasilkan dari erosi batuan dari daratan, biasanya berupa pasir dan lumpur. Sedimen jenis ini dapat mencapai pantai dengan bantuan aliran air sungai, tiupan angin dan *gletser* yang mencair. Kandungan mineral dalam sedimen ini di dominasi oleh *Quartz* atau silika. Ukuran sedimen ini bervariasi sesuai dengan lokasi ditemukannya, semakin mendekati sumber sedimen maka ukurannya akan lebih besar.
2. *Biogenous sediment*: merupakan sedimen yang terbentuk dari bagian keras makhluk hidup, dapat berupa cangkang atau tulang. Kandungan mineral dalam sedimen ini di dominasi oleh *Calcareous* (kalsium karbonat atau CaCO_3) dan silika (SiO_2).
3. *Hydrogenous sediment*: merupakan sedimen yang berasal dari reaksi kimia yang terjadi di air, contoh *manganese nodules* yang tersusun dari besi (*Fe*), *manganese oxide*, nikel (*Ni*), kromium (*Cr*), kobalt (*Co*).
4. *Volcanogenous sediment*: merupakan sedimen yang berasal dari aktivitas vulkanik gunung berapi, contohnya abu.
5. *Cosmogenous sediment*: merupakan sedimen yang berasal dari pecahan benda angkasa. Biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil dan telah bercampur dengan sedimen tipe lainnya.

2.4.3 Ukuran Partikel Sedimen

Ukuran partikel sedimen diklasifikasikan berdasarkan ukuran, pada umumnya yang ditemukan dalam sedimen laut adalah batuan, pasir dan lumpur, ketiga

partikel tersebut digunakan sebagai acuan dalam identifikasi ukuran dari yang besar, sedang hingga kecil (ukuran mikro) (Sverdrup *et al.*, 2006).

Ketika pengambilan sampel sedimen, setelah kering dan diayak dengan *shieve sheaker*, maka akan terbagi menjadi ukuran tiap partikel sedimen. Ukuran partikel sedimen mempengaruhi lamanya pengendapan di kolom air, semakin besar ukuran partikel maka energi yang diperlukan semakin banyak dan waktu tenggelamnya juga lama. Untuk daerah pantai, sedimen pasir yang berukuran kecil cenderung lebih mudah tererosi oleh angin maupun gelombang daripada sedimen batuan, sehingga daerah pantai yang memiliki tipe sedimen pasir akan rentan dalam perubahan garis pantai (Black, 1986). Berikut Tabel 1 menunjukkan klasifikasi ukuran sedimen.

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Sedimen

| <i>Milimeter (mm)</i> | <i>Micrometer (µm)</i> | <i>Phi (φ)</i> | <i>Wenworth size class</i> | <i>Rock type</i> |
|-----------------------|------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 4096 | | -12.0 | <i>Boulder</i> | <i>Conglomerate/Breccia</i> |
| 256 | | -8.0 | | |
| 64 | | -6.0 | <i>Cobble</i> | |
| 4 | | -2.0 | <i>Pebble</i> | |
| 2.00 | | -1.0 | <i>Granule</i> | |
| 1.00 | | 0.0 | <i>Very coarse sand</i> | <i>Sandstone</i> |
| 1/2 | 0.50 | 1.0 | <i>Coarse sand</i> | |
| 1/4 | 0.24 | 2.0 | <i>Medium sand</i> | |
| 1/8 | 0.125 | 3.0 | <i>Fine sand</i> | |
| 1/16 | 0.0625 | 4.0 | <i>Very fine sand</i> | |
| 1/32 | 0.031 | 5.0 | <i>Coarse silt</i> | <i>Siltstone</i> |
| 1/64 | 0.0156 | 6.0 | <i>Medium silt</i> | |
| 1/128 | 0.0078 | 7.0 | <i>Fine silt</i> | |
| 1/256 | 0.0039 | 8.0 | <i>Very fine silt</i> | |
| 0.00006 | 0.06 | 14.0 | <i>Clay</i> | <i>Claystone</i> |

(Sumber: *Wenworth U*, 1922)

2.4.4 Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen dibagi menjadi 2, yaitu transpor sedimen menuju & meninggalkan pantai (*onshore-*

offshore current) dan transpor sedimen sepanjang pantai (*longshore current*). transpor menuju & meninggalkan pantai memiliki arah tegak lurus garis pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai sejajar dengan pantai (Black, 1986).

Perhitungan perubahan garis pantai yang paling sering di pakai adalah transpor sedimen sejajar pantai, karena transpor ini dapat menyebabkan masalah seperti pendangkalan pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Transpor sedimen sepanjang pantai terdiri dua komponen utama, yaitu transpor sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai dan transpor sedimen sepanjang *surf zone*. Pada waktu gelombang menuju pantai dengan membentuk sudut terhadap garis pantai maka gelombang tersebut akan naik ke pantai (*uprush*) yang juga membentuk sudut. Massa air yang naik tersebut kemudian turun lagi dalam arah tegak lurus pantai. Gerak air tersebut membentuk lintasan seperti mata gergaji, yang disertai dengan terangkutnya sedimen dalam arah sepanjang pantai. Komponen kedua adalah transpor sedimen yang ditimbulkan oleh arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah. Transpor sedimen ini terjadi pada *surf zone* (Triatmodjo, 1999).

Berdasarkan CERC (1984), transpor sedimen sangat penting untuk diprediksi, karena dengan mengetahui laju transpor sedimen, maka dapat mengurangi masalah yang ditimbulkan. Beberapa cara digunakan untuk transpor sedimen, diantaranya:

- a. Mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau, cara ini memerlukan waktu yang lama karena harus menunggu hingga sedimen terakumulasi pada alat yang dipasang untuk memerangkap sedimen.
- b. Peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dalam suatu periode tertentu dapat memberikan petunjuk tentang angkutan sedimen.

- c. Rumus empiris yang berdasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

Tabel 2 di bawah menunjukkan beberapa rumus yang sering digunakan dalam perhitungan transpor sedimen pantai.

Tabel 2. Rumus transpor sedimen sepanjang pantai

| No | Nama | Rumus |
|----|-----------------------|---|
| 1 | Caldwell | $Q_s = 1.200 \times P_1^{0.8}$ |
| 2 | Savage | $Q_s = 0.219 \times P_1$ |
| 3 | Ijima <i>et al</i> | $Q_s = 0.130 \times P_1^{0.54}$ |
| 4 | Ichikawa <i>et al</i> | $Q_s = 0.130 \times P_1^{0.8}$ |
| 5 | Manohar | $Q_s = 55.7 \times D^{0.59} \times \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)^{-0.41} \times P_1^{0.91}$ |
| 6 | Ijima, Sato | $Q_s = 0.060 \times P_1$ |
| 7 | Tanaka | $Q_s = 0.120 \times P_1$ |
| 8 | Komar, Inman | $Q_s = 0.060 \times P_1$ |
| 9 | Komar, Inman | $Q_s = 0.283 \times \frac{V \times P_1}{U_\infty \times \sin \alpha_b}$ |
| 10 | Das | $Q_s = 0.325 \times P_1$ |
| 11 | CERC | $Q_s = 0.401 \times P_1$ |

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Sebagian rumus-rumus tersebut merupakan hubungan yang sederhana antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk:

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} \times H_b^2 \times C_b \times \sin \alpha_b \times \cos \alpha_b \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

- Qs = total angkut sedimen (m³/hari)
- P1 = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/d/m)
- ρ = rapat massa air laut (kg/m³)
- H_b = tinggi hempasan gelombang (m)
- C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/d)
- α_b = sudut datang gelombang pecah
- D = diameter rata-rata butir sedimen
- ρ_s = berat jenis butir sedimen (kg/m³)

2.5 Perubahan Garis Pantai

Pantai merupakan kenampakan alam dimana terjadi interaksi keseimbangan dinamis antara air, angin dan material (sedimen). Angin dan air bergerak membawa material (sedimen) dari satu tempat ke tempat yang lain, mengikis dan kemudian mengendapkannya lagi di daerah lain secara berkesinambungan. Fenomena transport sedimen tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk morfologi pantai. Perubahan morfologi pantai dapat berupa erosi maupun sedimentasi, kedua perubahan tersebut berdampak pada aktivitas yang berada disekitar pantai, seperti wisata, pelabuhan, penangkapan dan lain sebagainya (Robby, 2014).

Menurut Triatmodjo (1999), sedimentasi dan erosi yang di sertai dengan maju atau mundurnya garis pantai dapat diprediksi dengan membuat model matematik yang didasarkan pada angkutan laju sedimen pantai pada daerah yang ditinjau. Berikut urutan langkah dalam membuat permodelan garis pantai:

- a. Tentukan bentuk garis pantai awal
- b. Bagi garis pantai dalam sejumlah sel
- c. Tentukan berbagai sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada seluruh pias (Δx)
- d. Hitung transpor sedimen pada setiap pias berdasarkan tinggi dan periode gelombang serta sudut datang gelombang (α_0)
- e. Hitung perubahan garis pantai untuk setiap langkah waktu (Δt)

Sebelum melakukan permodelan prediksi perubahan garis pantai maka harus ditentukan dulu sudut datang gelombang (α_i) dan sudut datang gelombang pecah (α_b) dengan persamaann sebagai berikut:

$$\tan(\alpha_i) = \frac{Y(i) - Y(i+1)}{\Delta x} \dots\dots\dots (15)$$

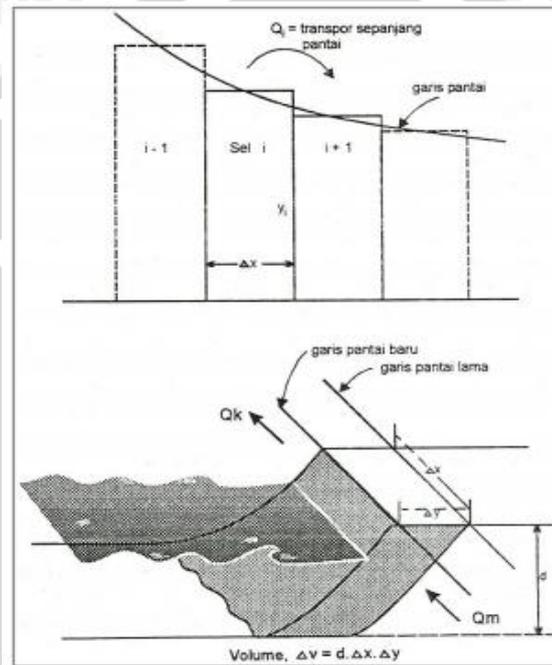
$$\tan(\alpha_b) = \frac{\tan(\alpha_i) + \alpha_0}{1 + \tan(\alpha_i) \times \tan(\alpha_0)} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan:

α = sudut datang gelombang

x = absis searah sepanjang pantai

Berikut Gambar 3 menunjukkan pembagian pantai menjadi beberapa sel yang merupakan dasar untuk perhitungan prediksi perubahan garis pantai.



(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Gambar 3. Pembagian pantai menjadi sejumlah sel

Permodelan perubahan garis pantai diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode beda hingga. Penyelesaian dilakukan dengan membagi menjadi beberapa pias (diskretisasi) dan waktu dalam sejumlah langkah waktu sehingga persamaan yang digunakan dalam permodelan perubahan garis pantai adalah sebagai berikut:

$$y_i^{n+1} = y_i^n - \frac{\Delta t}{d_i \Delta x} (Q_i^n + 1 - Q_i^n) \dots \dots \dots (17)$$

Keterangan:

y = jarak antara garis pantai & referensi

d = kedalaman (m)

t = waktu (detik)

x = aksis sepanjang garis pantai

Q = transpor sedimen sepanjang pantai (m^3 /hari)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Perairan Teluk Pancamarga Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Kegiatan penelitian di lapangan ini dilakukan pada 24 Maret 2016, sedangkan analisis sampel sedimen dilakukan di Laboratorium Tanah dan Air Tanah, Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Kegiatan penelitian di laboratorium dilakukan pada tanggal 1 April sampai 4 April 2016. Berikut peta lokasi penelitian beserta dengan stasiun yang di tentukan.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alat yang digunakan selama penelitian

| No | Alat | Fungsi | Keterangan |
|-----|-----------------------------------|--|--|
| 1. | GPS Garmin 60 Csx | Mengetahui koordinat lokasi | Memiliki keakuratan lokasi <10 meter dan kecepatan pembacaan lokasi hingga 0.05 m/s saat posisi diam |
| 2. | Alat tulis | Mencatat data | |
| 3. | Kamera digital | Dokumentasi kegiatan penelitian | Kamera 16 MP |
| 4. | Tongkat skala | Pengukuran kemiringan pantai | |
| 5. | Kompas | Mengetahui arah sudut datang gelombang | |
| 6. | Roll meter | Mengukur panjang kemiringan pantai | Panjang 30 meter |
| 7. | Sekop | Mengambil sampel sedimen | |
| 8. | Oven | Mengeringkan sampel sedimen | mengeringkan sedimen pada suhu 30 °C – 300 °C |
| 9. | Nampan | Wadah sedimen sebelum diayak | |
| 10. | Shieve shaker | Memisahkan sedimen menjadi fraksi yang lebih kecil | Memiliki standar deviasi atau tingkat kesalahan tiap shieve 2 gram |
| 11. | Timbangan digital | Menimbang sedimen | Memiliki ketelitian 0.01 |
| 12. | Digital balance | Mengukur berat benda / sampel | Memiliki ketelitian 0.001 |
| 13. | Termometer | Mengukur suhu | |
| 14. | Botol piknometer | Sebagai media pengukur berat jenis sedimen | Memiliki volume 50 ml |
| 15. | Kompur listrik | Memanaskan tabung piknometer | |
| 16. | Laptop | Mengolah data | ASUS X43U AMD E-350 With Radeon 32 Bit Operating System |
| 17. | Software TMD (Tidal Model Driver) | Untuk memprediksi pasang surut | |
| 19. | Software ODV (Ocean Data View) | Untuk menampilkan data hasil unduhan dari ECMWF | |

| No | Alat | Fungsi | Keterangan |
|-----|----------------------|-------------------|------------|
| 20. | Software ArcGis 10.3 | Untuk layout peta | |

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

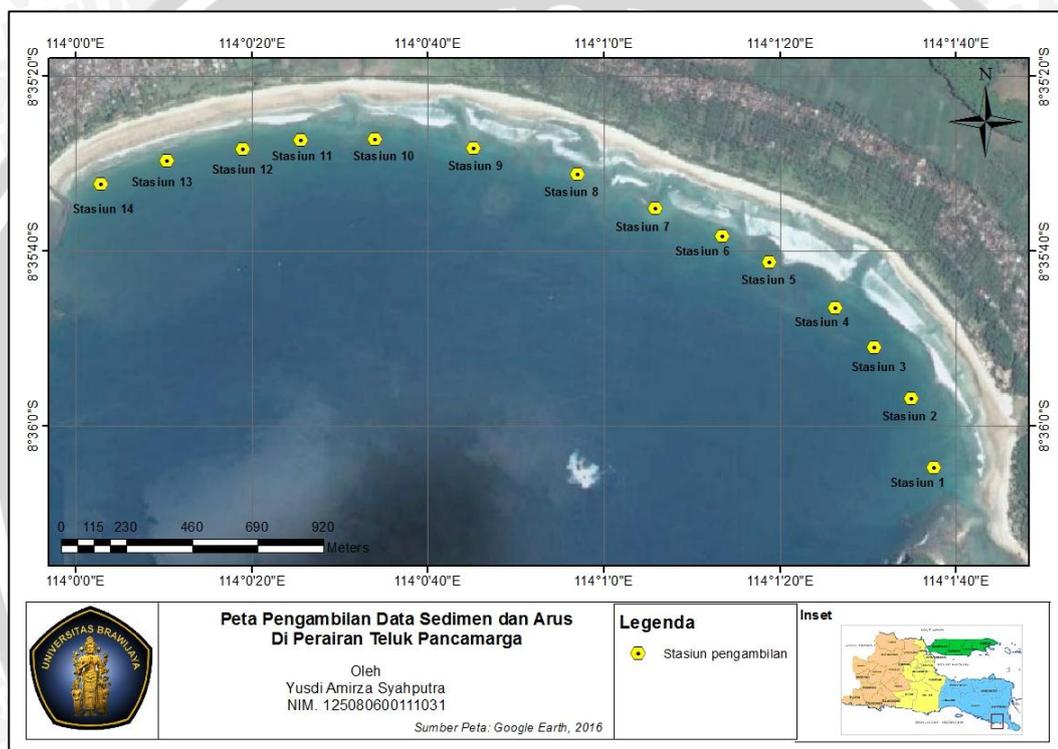
Tabel 4. Bahan yang digunakan selama penelitian

| No | Bahan | Fungsi |
|----|-----------------|-------------------------------------|
| 1. | Kantong plastik | Untuk wadah sampel sedimen |
| 2. | Kertas label | Untuk memberi label sampel sedimen |
| 3. | Tisu | Untuk membersihkan botol piknometer |

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, penentuan titik sampel sedimen menggunakan metode *purposive* sampling, penentuan titik sampling berdasarkan perbedaan karakteristik tiap lokasi penelitian. Pengambilan data garis pantai menggunakan metode *tracking* garis pantai menggunakan *GPS* bertujuan untuk mengetahui kondisi garis pantai saat ini. Pengambilan data arus menggunakan metode observasi secara langsung dengan pengambilan data arah dan kecepatan arus menggunakan alat *current meter*. Penentuan sudut kemiringan pantai dan sudut datang gelombang dengan observasi lapangan menggunakan kompas dan meteran untuk mengetahui sudut datang gelombang serta mengetahui panjang dan tinggi kemiringan pantai. Pengambilan sedimen pantai menggunakan *sedimen grab* dengan cara memasukkan secara langsung ke dalam perairan dengan kedalaman $\pm 2 - 3$ meter. Pengujian sampel sedimen menggunakan metode ayakan kering dan metode uji berat jenis sedimen menggunakan alat botol piknometer. Peramalan gelombang berdasarkan konversi dari data angin menggunakan metode spektrum gelombang *JONSWAP* (*Shore Protection Manual, 1984*), data angin selama 11 tahun (2005 - 2016) yang diunduh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*).

Metode yang digunakan dalam penentuan perubahan garis pantai adalah metode *overlay* peta perairan selama beberapa tahun ke belakang yang di peroleh dari citra *google earth* tahun 2012, 2013 dan 2014. Sedangkan, prediksi perubahan garis pantai menggunakan metode numerik, metode ini memerlukan komponen dari gelombang dan laju angkutan sedimen yang ditentukan dengan rumus CERC dan Manohar. Titik pengambilan sampel sedimen dan data arus dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik pengambilan data arus dan sedimen

Koordinat pengambilan sampel sebagai berikut:

Tabel 5. Koordinat Pengambilan Sampel

| Stasiun sampling | Longitude (X) | Latitude (Y) |
|------------------|---------------|--------------|
| 1 | 114.0228458 | -8.600787842 |
| 2 | 114.0228458 | -8.600787842 |
| 3 | 114.0228458 | -8.600787842 |
| 4 | 114.0185836 | -8.596937943 |
| 5 | 114.0185836 | -8.596937943 |
| 6 | 114.0148871 | -8.595848935 |
| 7 | 114.0148871 | -8.595848935 |

| Stasiun sampling | Longitude (X) | Latitude (Y) |
|------------------|---------------|--------------|
| 8 | 114.0058178 | -8.594755507 |
| 9 | 114.0058178 | -8.594755507 |
| 10 | 114.0058178 | -8.594755507 |
| 11 | 114.0058178 | -8.594755507 |
| 12 | 114.0056643 | -8.594299684 |
| 13 | 114.0056643 | -8.594299684 |
| 14 | 114.0056643 | -8.594299684 |

3.4 Prosedur Pengumpulan Data Penelitian

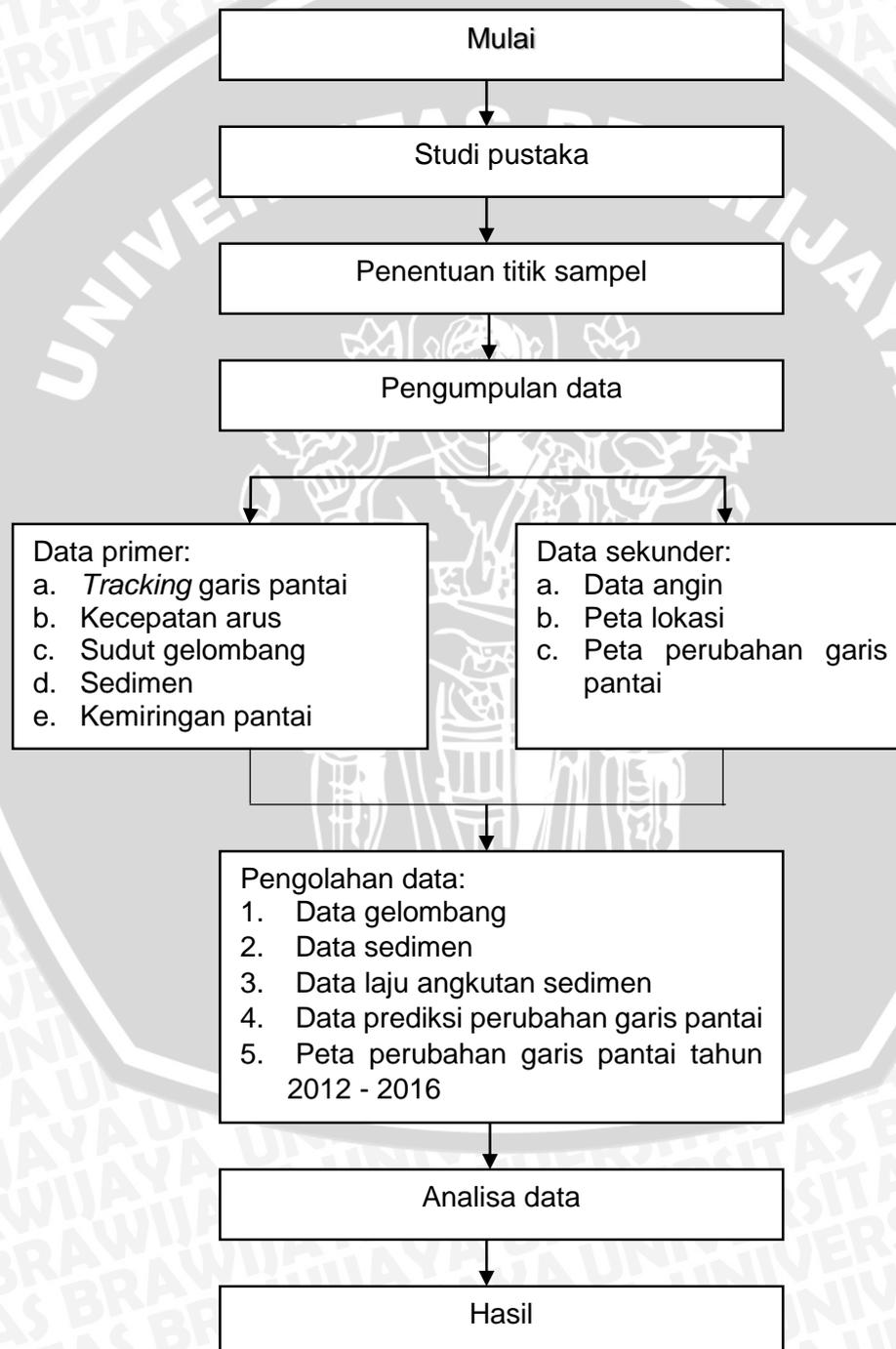
Hal yang pertama kali dilakukan adalah mengumpulkan data berupa identifikasi masalah terkait perubahan garis pantai di lokasi penelitian, *tracking* garis pantai dengan GPS, menghitung kemiringan pantai, pengambilan sampel sedimen di lapangan, pengambilan data arah dan kecepatan arus, uji sedimen di laboratorium, pengambilan data angin yang diunduh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) untuk di olah menjadi data gelombang. Setelah semua data yang diperlukan sudah terkumpul, maka dilakukan pengolahan data garis pantai menggunakan perhitungan numerik dengan rumus angkutan laju sedimen CERC dan Manohar yang di plot dalam *Microsoft excel* 2013, lalu di amati pola grafik prediksi erosi dan sedimentasi yang terjadi pada kurun waktu yang telah di tentukan. Skema kerja atau diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.

3.4.1 Data Primer

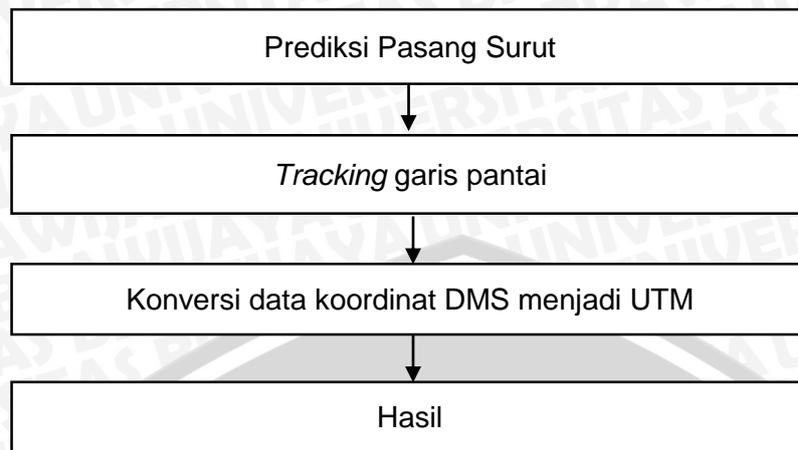
A. Pengambilan Data Garis Pantai

Langkah awal untuk pengambilan data garis pantai adalah mengetahui tipe pasang surut pada lokasi penelitian, yaitu Pantai Pulau Merah hingga Pantai Mustika, sehingga dapat ditentukan waktu yang tepat untuk pengambilan data *tracking* garis pantai awal. Pengambilan data *tracking* garis pantai dilakukan saat surut terendah, data pasang surut diprediksi menggunakan software TMD (*Tidal Model Driver*). *Tracking* dilakukan dengan menggunakan GPS sejauh lebih kurang empat km sepanjang garis pantai. Data yang di dapat dari *tracking* garis pantai

kemudian dipindahkan ke dalam laptop dengan software *Map source* dan di ubah dari satuan *Degree Minutes Second (DMS)* menjadi UTM. Data yang telah di ubah kemudian disalin ke *Microsoft excel 2013* sebagai garis pantai awal untuk perhitungan numerik. Diagram alir penelitian *tracking* garis pantai dapat dilihat pada Gambar 7.



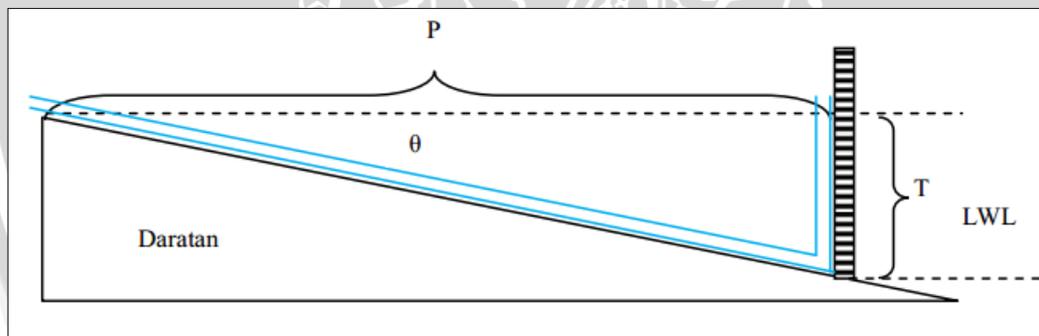
Gambar 6. Diagram alir pelaksanaan penelitian



Gambar 7. Diagram alir pengambilan data *tracking* garis pantai

B. Pengukuran kemiringan pantai

Langkah untuk pengambilan data kemiringan pantai adalah menarik garis tegak lurus garis pantai sejauh 10 meter pada tiap stasiun, masing-masing diukur kedalaman dasar lautnya dengan menggunakan tali kemudian catat hasilnya. Berikut ilustrasi pengukuran kemiringan pantai Gambar 8.



Sumber: (Cahyanto *et al.*, 2014)

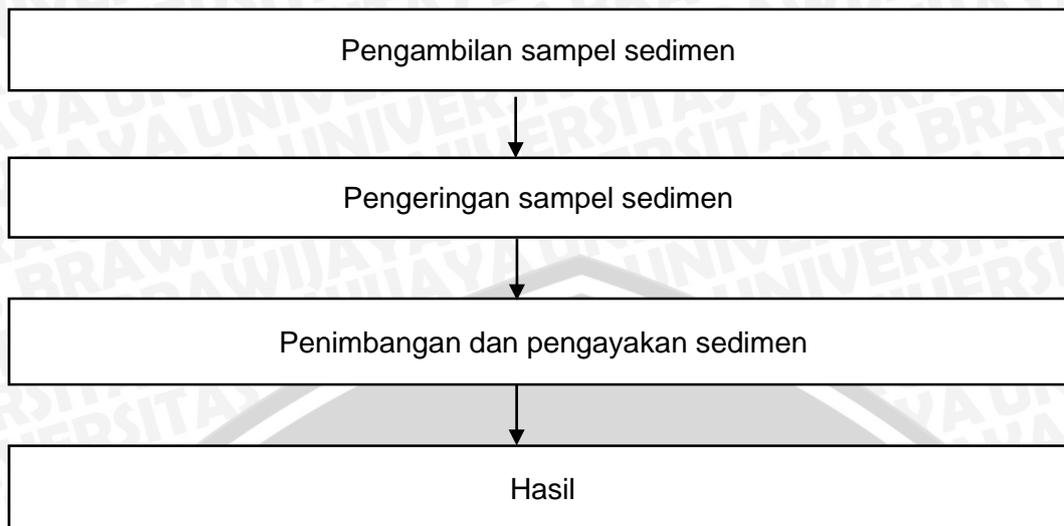
Gambar 8. Ilustrasi pengukuran kemiringan pantai

C. Pengambilan dan Pengujian Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen permukaan di Teluk Pancamarga diambil sejajar dengan garis pantai atau *longshore transport*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sebaran sedimen fraksi kerikil, pasir atau lumpur. Pengambilan sampel permukaan menggunakan *sedimen grab*, hal ini untuk mempermudah pengambilan sedimen di dasar perairan pada kedalaman $\pm 2 - 3$ meter. Setelah pengambilan sampel

dilakukan analisis laboratorium dengan metode ayakan kering, tujuannya untuk membedakan fraksi di tiap saringan. Langkah awal dalam pengambilan sampel adalah mempersiapkan alat dan bahan. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di sepanjang garis pantai pada daerah antara *swash zone* dan gelombang pecah, sedimen yang diambil untuk uji ukuran butir & jenis sedimen sebanyak lebih kurang 1 kg. Pengambilan sampel sedimen terbagi menjadi 14 stasiun pengambilan berdasarkan topografi pantai yang berupa teluk, sehingga diasumsikan terdapat perbedaan ukuran dan jenis sedimen pada tiap stasiun. Masing-masing stasiun berjarak lebih kurang 300 meter. Sedimen yang telah diambil, kemudian dikeringkan untuk dilakukan uji ukuran & jenis sedimen di laboratorium.

Sampel sedimen yang telah kering dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengeringan ulang untuk memastikan kandungan air pada sedimen hilang, pengeringan ini menggunakan oven dengan suhu lebih kurang 70 °C, pengeringan ini dilakukan selama lebih kurang 24 jam. Sampel sedimen yang telah kering kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital untuk memperoleh berat awal sedimen, setelah ditimbang sedimen telah siap untuk diayak. Ayakan yang akan digunakan telah disusun sesuai dengan nomor ukuran *mesh size* berawal dari no. 4, 10, 20, 30, 40, 60, 100, 200 dan PAN, setelah tersusun sedimen dituangkan ke ayakan dan mesin ayakan dihidupkan selama lebih kurang 5 menit. Sedimen hasil pengayakan ditimbang pada setiap *mesh size* dan dicatat pada lembar kerja, kemudian diplotkan ke *Microsoft excel 2013* untuk ditentukan ukuran dan jenis sedimennya. Pengujian sampel sedimen ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir pengujian sampel sedimen

D. Pengukuran Kecepatan Arus dan Sudut Datang Gelombang

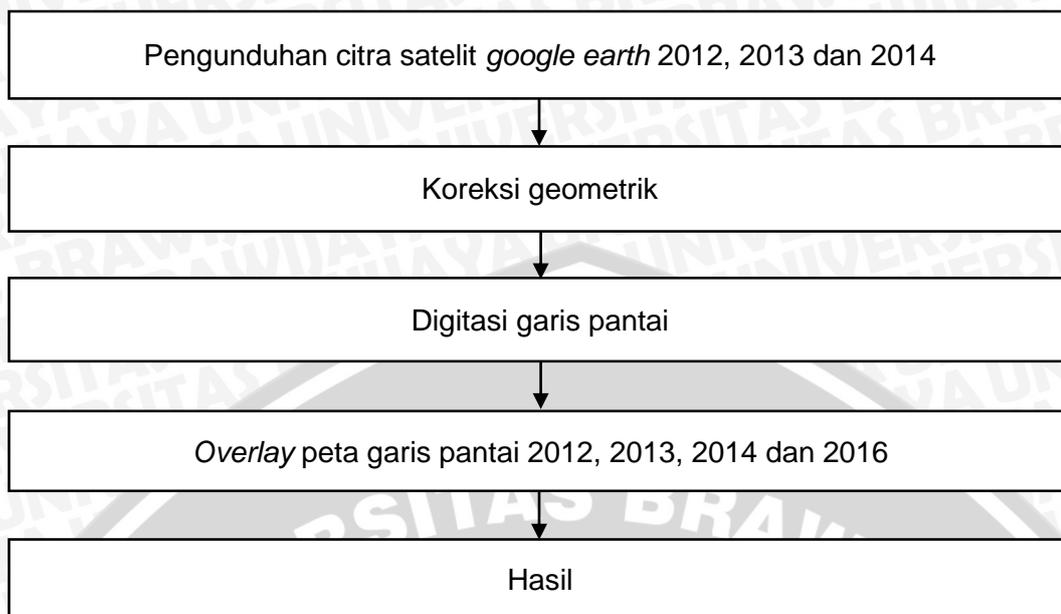
Pengambilan data arus menggunakan alat *current meter*, yang dilakukan di 14 stasiun pengambilan (Gambar 5). Stasiun pengambilan ini di tentukan berdasarkan pengambilan sampel sedimen. Pengukuran kecepatan arus hanya perlu memasukkan sensor *current meter* yang berupa baling – baling ke perairan stasiun pengambilan kemudian tunggu lebih kurang lima menit hingga sensor menangkap kecepatan arus dengan menampilkan pada *display* dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Penentuan arah arus menggunakan kompas dengan cara membidik langsung ke arah baling – baling dan mencatat sudut derajat yang ditemukan.

Penentuan sudut datang gelombang berdasarkan stasiun pengambilan data gelombang sebanyak 6 stasiun (Gambar 12), penentuannya dengan menggunakan kompas dengan cara yang hampir sama saat menentukan arah arus tetapi yang menjadi acuan saat penentuan sudut datang gelombang adalah arah gelombang yang menuju ke pantai.

3.4.2 Data Sekunder

a. Pengolahan Citra Satelit

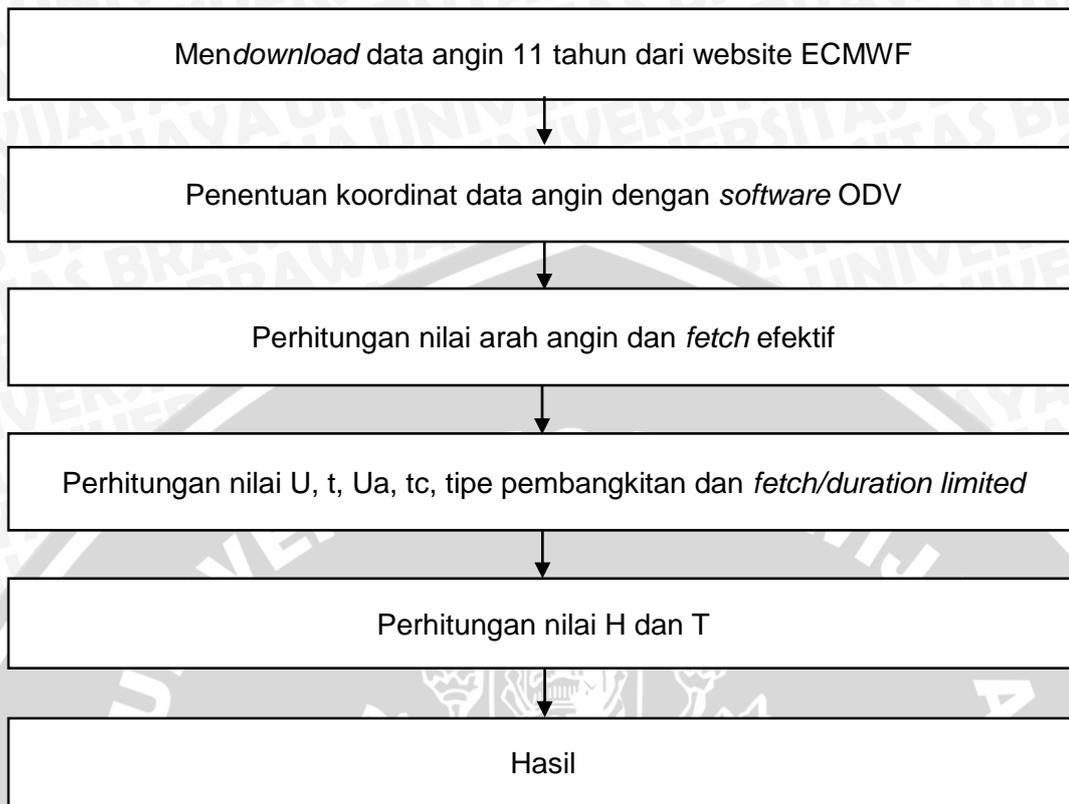
Langkah awal dalam pengolahan data citra satelit adalah mengunduh citra satelit dari *google earth*, citra yang diunduh adalah garis pantai perairan Pantai Mustika dan Pantai Pulau Merah pada tahun 2012, 2013, 2014 dan 2016. Citra satelit yang telah diunduh disimpan dalam format *.jpg*, juga ditentukan koordinat patokan untuk dilakukan koreksi geometrik dengan menggunakan *software ArcGis* 10.3. Selanjutnya adalah membuka *software ArcCatalog*, cari lokasi hasil pengunduhan citra, atur sistem koordinat yang digunakan pada masing – masing citra menjadi WGS 1984, lalu buat *shapefile* dari citra tersebut dan lakukan pengaturan pada bagian *feature* menjadi *polyline* serta sistem koordinat menjadi WGS 1984. Citra yang telah memiliki file *.shp* dilanjutkan untuk dilakukan koreksi geometri, dengan menggunakan *ArcMap*. Buka citra satelit pada *ArcMap* kemudian menggunakan menu *Georeferencing* lakukan koreksi geometri dengan koordinat patoka yang telah ditentukan, setelah selesai melakukan koreksi geometri lakukan digitasi pada masing – masing citra dengan memasukkan file *.shp* sehingga dapat dilakukan digitasi menggunakan fitur *polyline*. Garis pantai yang sudah didigitasi kemudian di *overlay* untuk dilakukan pengukuran jarak perubahan garis pantai pada tahun tersebut dengan *tool Measure*. Diagram alir pengolahan citra satelit dapat dilihat pada Gambar 10.



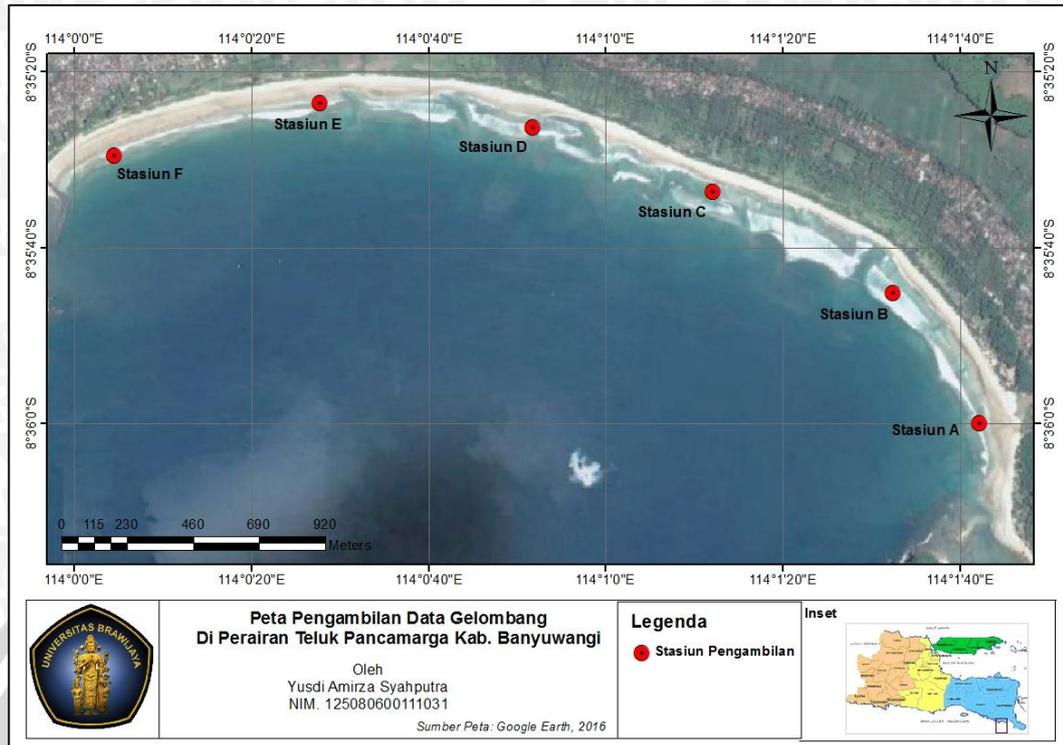
Gambar 10. Diagram alir pengolahan data citra satelit

b. Konversi Data Angin ke Data Gelombang

Data angin diperoleh dengan mengunduh dari website ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*). Selanjutnya, data yang diperoleh dibuka dengan menggunakan aplikasi ODV (*Ocean Data View*) untuk menentukan koordinat lokasi pengambilan data angin. Penentuan data angin berdasarkan koordinat yang terdekat dari lokasi penelitian, koordinat yang telah ditentukan kemudian disimpan dan dibuka dengan *Microsoft excel 2013*. Data yang diperlukan berupa data vektor u dan v untuk penentuan kecepatan angin dan arah angin. Langkah selanjutnya adalah menentukan *fetch* efektif, penentuan *fetch* efektif berdasarkan arah mata angin dan menggunakan rumus (1). Kemudian penentuan U , t , U_A , t_c , tipe pembangkitan (*fully/non fully developed*), penentuan *fetch/duration limited*, H_0 (tinggi gelombang) dan T (periode). Diagram alir penelitian peramalan gelombang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Konversi data angin menjadi data gelombang



Gambar 12. Peta pengambilan data gelombang

3.5 Pengolahan Data

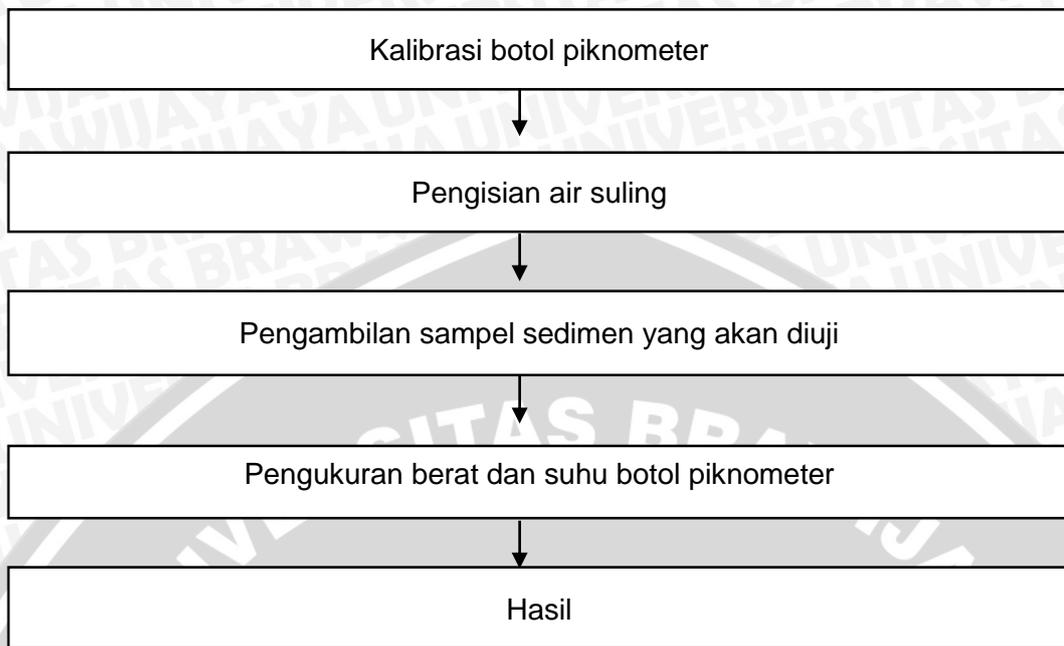
3.5.1 Berat Jenis Sedimen

Sampel sedimen yang telah diayak dan terpisah sesuai ukurannya, akan dihitung berat jenisnya. Data berat jenis sedimen diperlukan untuk perhitungan laju sedimen rumus Manohar. Uji berat jenis sedimen terdapat 2 tahapan, yaitu kalibrasi piknometer dan uji berat jenis sedimen. Tujuan dari kalibrasi botol piknometer adalah untuk mengetahui volume dari botol yang akan digunakan. Kalibrasi botol piknometer diawali dengan mengisi 4 botol piknometer yang telah diberi kode masing-masing dengan air bersih sebanyak lebih kurang 40 ml. Air yang berada di dalam botol piknometer dididihkan dengan kompor listrik, setelah mendidih air di dalam botol diukur suhu dan beratnya dengan termometer dan timbangan digital. Langkah selanjutnya adalah mengisi ke empat botol tersebut dengan air sampai penuh, tujuan dari mengisi air ini adalah untuk menurunkan suhu di dalam botol. Tutup botol dengan penutup botol dan diamkan selama lebih

kurang 3 menit, setelah 3 menit diukur kembali suhu dan berat dari botol piknometer. Perlakuan ini diulang selama lima kali pada masing-masing botol. Data yang diperoleh berupa suhu dan berat setelah 5 kali pengulangan diplotkan pada *Microsoft excel 2013* dalam bentuk grafik linear, sehingga diperoleh persamaan linear yang nantinya persamaan ini akan digunakan untuk perhitungan berat botol piknometer dan air.

Langkah pertama dalam uji berat jenis sedimen adalah menimbang sampel sedimen masing-masing sebanyak 6.7 gram yang berada di *mesh size* no. 60, 100 dan 200 dari seluruh stasiun pengambilan, sehingga total sedimen uji adalah 20 gram (W_s). Seluruh botol piknometer yang telah dikalibrasi dikeringkan dan diisi dengan air suling sebanyak 40 ml, masukkan juga sampel sedimen ke dalam botol tersebut. Kemudian, panaskan piknometer yang berisi rendaman sampel sedimen hingga mendidih, botol piknometer yang telah mendidih diangkat dan diukur suhu serta berat jenisnya (W_1), setelah itu tambahkan air suling pada piknometer sampai penuh, proses ini sama dengan proses kalibrasi botol piknometer. Lakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Untuk menentukan berat labu ukur + air digunakan persamaan linear yang diperoleh dari rumus kalibrasi piknometer (W_2), sedangkan untuk memperoleh nilai berat jenis air (G_t) pada suhu tertentu menggunakan tabel faktor koreksi (K). Nilai berat jenis tanah (G_s) diperoleh dari hasil perhitungan $(G_t \times W_s) / (W_s - W_1 + W_2)$, nilai berat jenis diperoleh dari rata-rata nilai berat jenis tanah. Diagram alir pengujian berat jenis sedimen dapat dilihat pada Gambar 13.

Berikut diagram alir untuk pengujian berat jenis sedimen:



Gambar 13. Diagram alir pengambilan dan pengujian sedimen

3.5.2 Gelombang

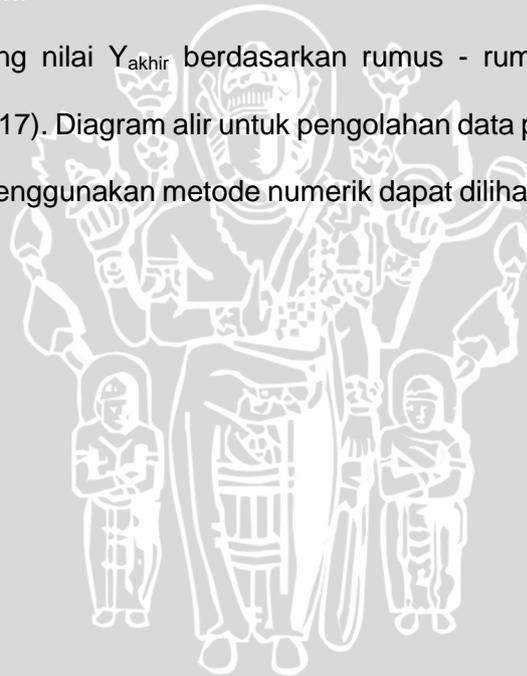
Data angin yang telah dikonversi menjadi data gelombang pada laut dalam selanjutnya akan dihitung tinggi serta periode gelombang saat mencapai pantai. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menghitung faktor transformasi gelombang berupa refraksi dan *shoaling* (pendangkalan). Langkah selanjutnya adalah menentukan kedalaman gelombang pada laut dalam dengan rumus (13), tapi sebelumnya tentukan terlebih dahulu koefisien refraksi dengan rumus yang berada pada (11). Rumus (12) juga digunakan untuk menentukan koefisien *shoaling*. Setelah rumus semua faktor koefisien kalikan semua koefisien dengan tinggi gelombang di laut dalam.

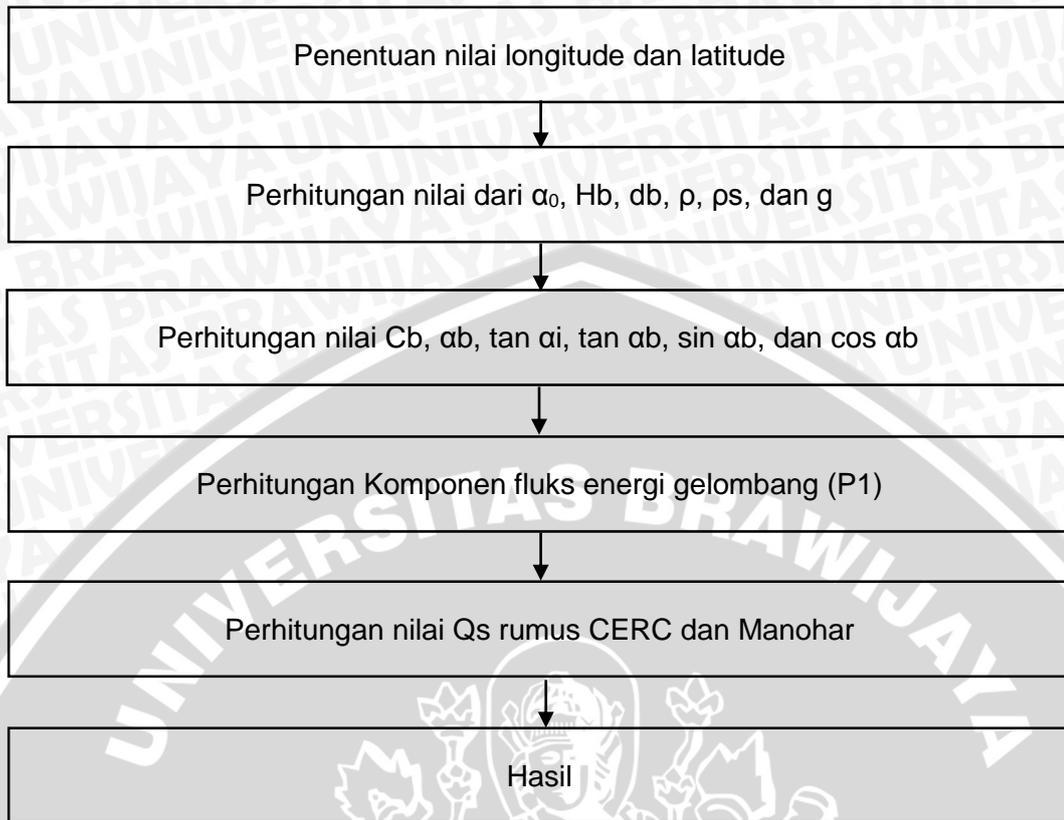
3.5.3 Prediksi Perubahan Garis Pantai

Prediksi perubahan garis pantai membutuhkan komponen fluks gelombang dan laju transpor sedimen pantai. Setelah diketahui titik X dan Y awal yang didapatkan dari hasil *tracking* garis pantai di lapangan, diketahui sudut datang gelombang (α_0), \tan sudut gelombang datang ($\tan \alpha_0$), tinggi gelombang pecah

(H_b), kedalaman gelombang pecah (db), massa jenis air laut ($\rho = 1.025 \text{ kg/m}^3$), berat jenis sedimen (ρ_s), cepat rambat sedimen (C_b), gravitasi bumi ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$), jarak antar pias ($\Delta x = 50 \text{ m}$) dan waktu yang ditentukan untuk prediksi (Δt), kemudian tentukan sudut α_i yang dibentuk oleh garis pantai sejajar sumbu x dengan rumus (15), sedangkan untuk mencari sudut datang gelombang pecah menggunakan rumus (16). Kemudian dapat dicari nilai dari sudut datang gelombang pecah (α_b) $\sin \alpha_b$ dan $\cos \alpha_b$. Komponen fluks energi sepanjang garis pantai (P_1) ditentukan dengan rumus (14), setelah nilai tersebut diperoleh perhitungan angkutan sedimen menggunakan rumus CERC dan Manohar pada Tabel 2 dapat dilakukan.

Setelah itu dihitung nilai Y_{akhir} berdasarkan rumus - rumus diatas dengan menggunakan rumus (17). Diagram alir untuk pengolahan data prediksi perubahan garis pantai dengan menggunakan metode numerik dapat dilihat pada Gambar 14.





Gambar 14. Diagram alir prediksi perubahan garis pantai

3.6 Analisis Data

Dalam penelitian ini metode analisis data yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Analisis data ini digunakan karena peneliti ingin mendeskripsikan secara sistematis faktual dan akurat mengenai fakta – fakta di lapangan dan dari data deskriptif menghasilkan angka – angka dan Gambar yang dapat diamati (Lutfri, 1999).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Kemiringan Pantai

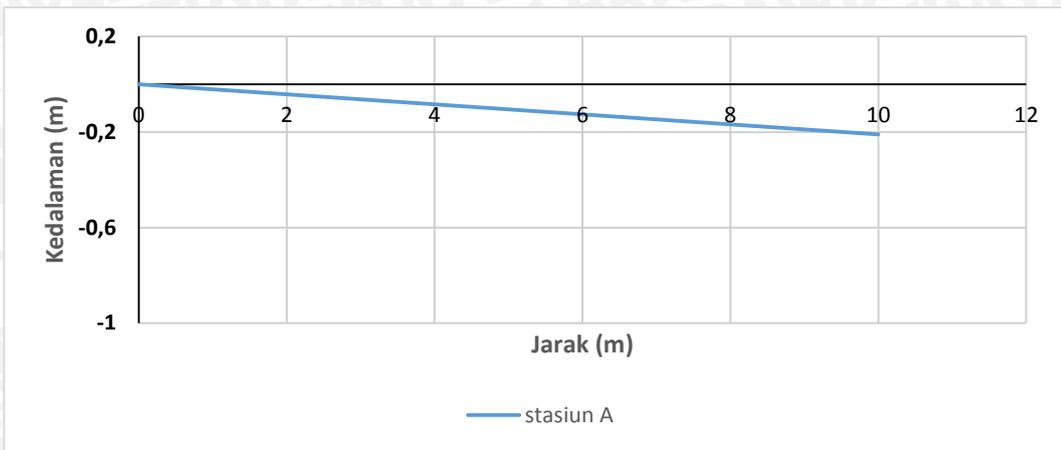
Data kemiringan pantai (Tabel 6) menunjukkan bahwa pantai di lokasi penelitian memiliki karakteristik kemiringan yang berbeda, sehingga pengukuran kemiringan di bagi menjadi beberapa stasiun. Hal ini bertujuan untuk mewakili karakteristik kemiringan di tiap stasiun. Data kemiringan pantai yang diukur di gunakan untuk menghitung tinggi gelombang pecah (H_b) dan kedalaman gelombang pecah (db).

Tabel 6. Profil kemiringan pantai di lokasi penelitian

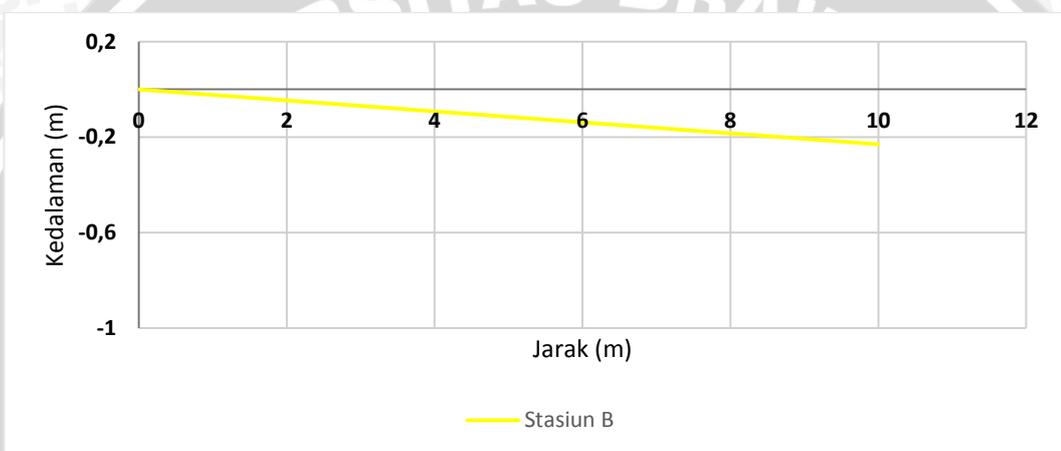
| Stasiun | Jarak (m) | Kedalaman (m) | Kemiringan Pantai (m) |
|---------|-----------|---------------|-----------------------|
| A | 10 | 0.12 | 1:83 |
| B | 10 | 0.23 | 1:37 |
| C | 10 | 0.98 | 1:08 |
| D | 10 | 0.21 | 1:49 |
| E | 10 | 0.35 | 1:17 |
| F | 10 | 0.25 | 1:36 |

Pada stasiun A diperoleh nilai kemiringan pantai sebesar 1:83, stasiun B diperoleh nilai kemiringan pantai 1:37, stasiun C diperoleh nilai kemiringan pantai 1:08, stasiun D diperoleh nilai kemiringan pantai sebesar 1:49, stasiun E nilai kemiringan pantai sebesar 1:17 dan stasiun F diperoleh nilai kemiringan pantai sebesar 1:36.

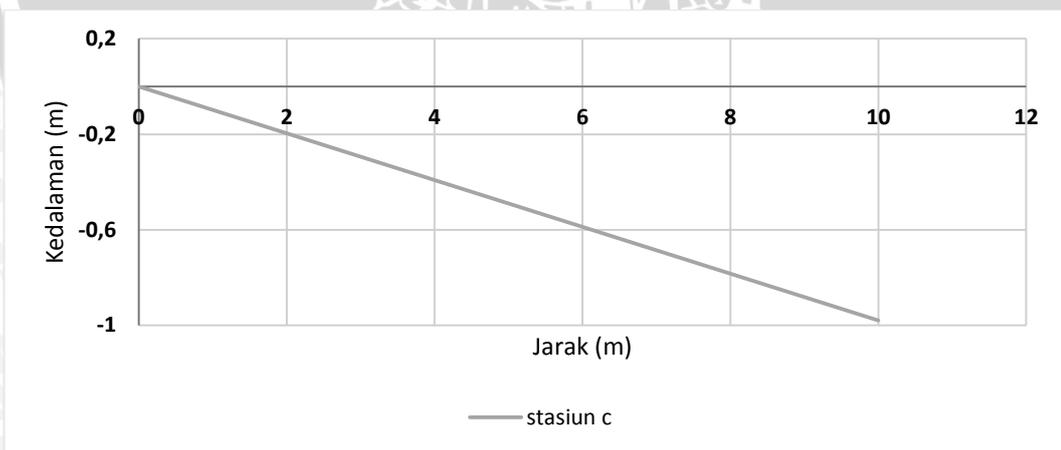
Kemiringan pantai merupakan salah satu komponen yang digunakan untuk peramalan gelombang pecah. Menurut Triatmodjo (1999), kemiringan pantai yang melebihi 1:05 termasuk kategori curam, sedangkan kemiringan 1:0 termasuk kategori datar / landai. Profil kemiringan pantai dapat dilihat pada Gambar 17 -23.



Gambar 15. Profil kemiringan pantai stasiun A

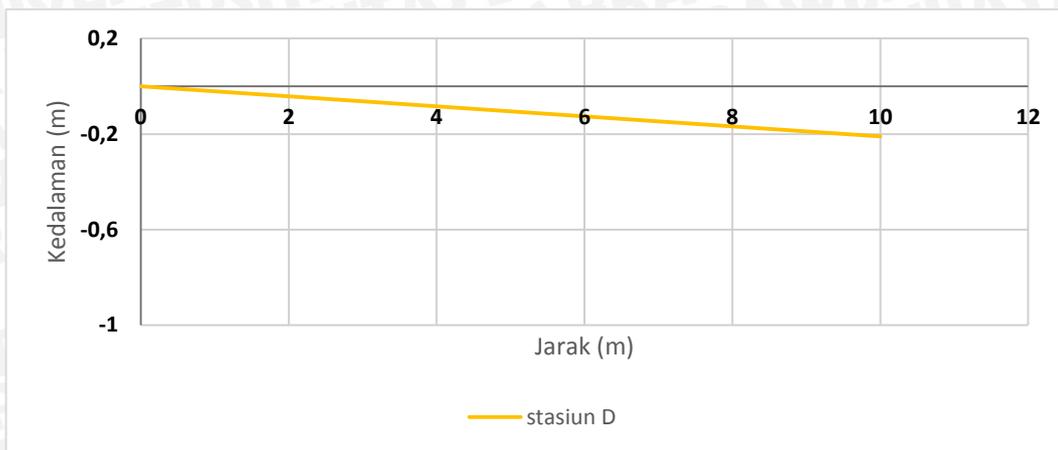


Gambar 16. Profil kemiringan pantai stasiun B

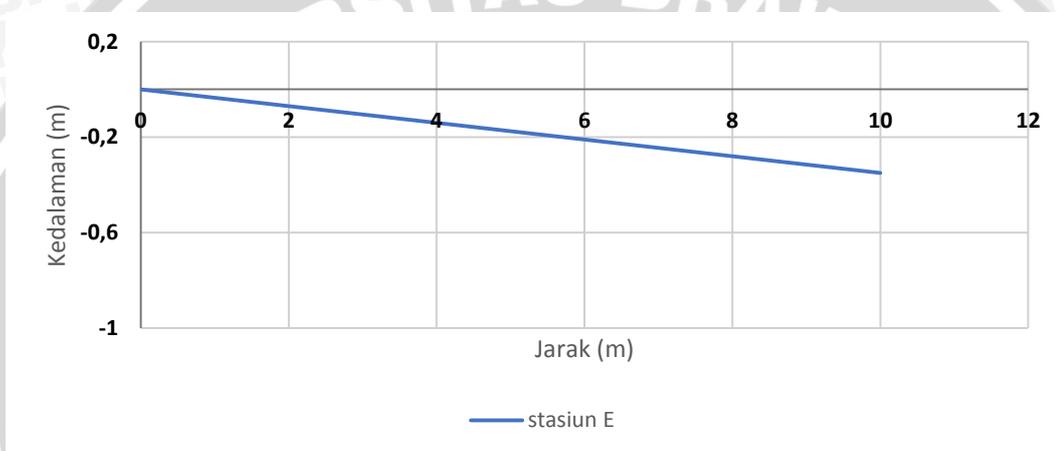


Gambar 17. Profil kemiringan pantai stasiun C

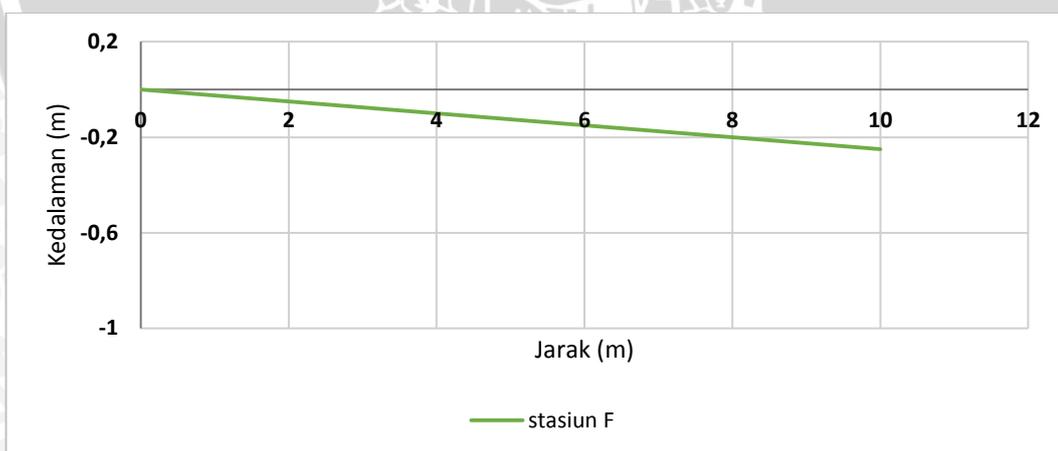




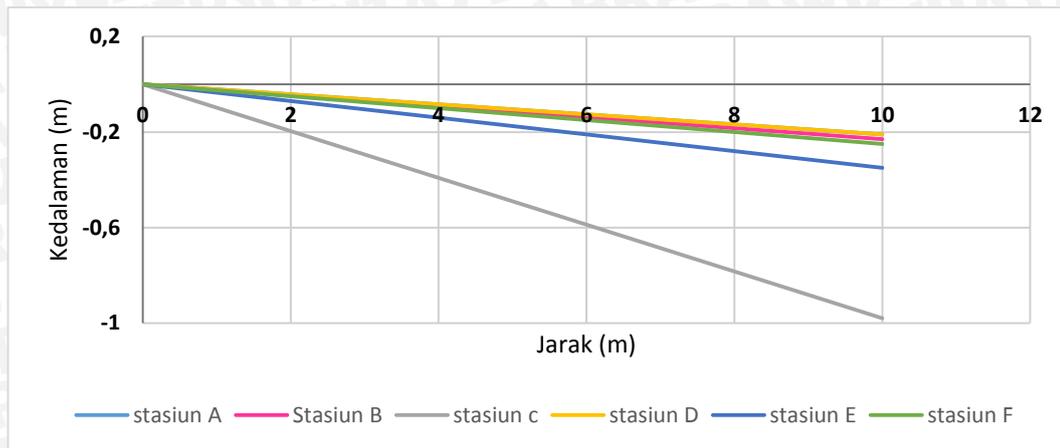
Gambar 18. Profil kemiringan pantai stasiun D



Gambar 19. Profil kemiringan pantai stasiun E



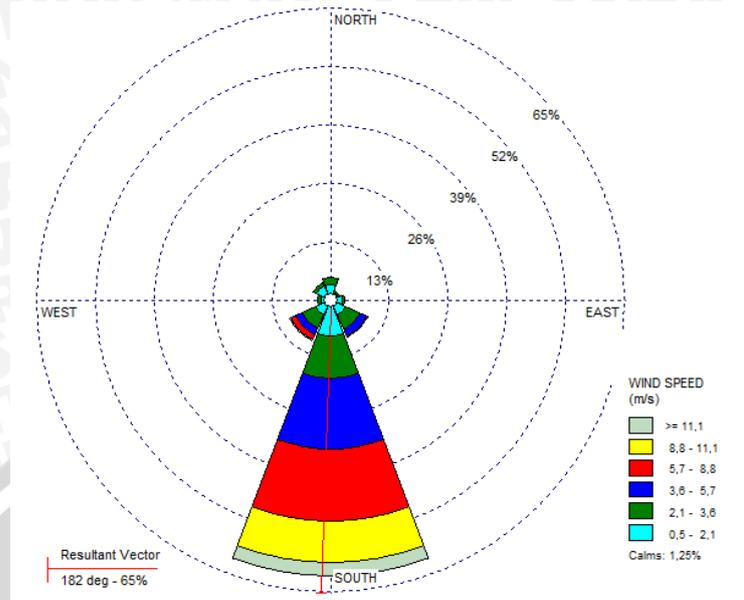
Gambar 20. Profil kemiringan pantai stasiun F



Gambar 21. Profil kemiringan pantai di seluruh stasiun

4.2 Kecepatan dan Arah Angin

Hasil pengolahan data angin dengan menggunakan WRPlot Gambar 15, menunjukkan bahwa arah angin dominan bergerak dari selatan dengan sudut datang 186° . Kecepatan angin yang mendominasi dari arah selatan berkisar antara 5.7 – 8.8 m/s (11 – 17 knot), namun semakin ke arah utara atau ke arah daratan kecepatan semakin melemah hingga mencapai 0.5 – 2.1 m/s (1 – 4 knot). Berdasarkan skala *Beaufort* kecepatan angin 11 – 17 knot termasuk kategori *moderate breeze* / angin dengan tiupan sedang, dampaknya pada perairan laut adalah menghasilkan gelombang kecil yang terbentuk semakin memanjang dan kemunculan beberapa buih dari ombak. Gelombang dapat dibangkitkan dengan kecepatan angin yang cukup besar dan cukup lama bertiup (durasi angin). Angin dengan kategori *calm* (dalam skala Beaufort 0 – 0.51 m/s) sampai *gentle breeze* / angin lemah tidak dapat membangkitkan gelombang meskipun durasinya lama. Hal ini juga berlaku pada angin kuat, jika angin kuat berhembus dengan durasi singkat maka tidak dapat menghasilkan gelombang (Rabung, 2014).



Gambar 22. Mawar angin

4.3 Gelombang

Data gelombang yang diperoleh adalah merupakan data gelombang hasil peramalan, menggunakan konversi angin selama 11 tahun (2005 – 2015). Peramalan gelombang hasil dari konversi angin menunjukkan gelombang lebih dominan berasal dari arah selatan karena dari arah selatan gelombang memiliki daerah bangkitan yang lebih besar. Data hasil pengolahan gelombang dapat dilihat pada Tabel 7.

Hasil pengolahan data gelombang yang diambil dari 6 wilayah kajian, yaitu A, B, C, D, E dan F (Gambar 12), menunjukkan bahwa tinggi gelombang pecah di setiap stasiun berbeda. Nilai terbesar pada stasiun F dengan tinggi gelombang mencapai 1.20 meter dengan kedalaman 1.54 meter dan yang terendah pada stasiun D dengan tinggi gelombang 0.60 meter dan pada kedalaman 0.84 meter. Tingginya gelombang pecah pada stasiun ini di pengaruhi oleh kontur kemiringan dasar pantai yang relatif curam, sehingga pembentukan gelombang pecah dapat lebih tinggi saat membentur dasar pantai, selain faktor tersebut tingginya gelombang pecah juga dipengaruhi oleh nilai tinggi dan periode gelombang di laut dalam. Semakin besar nilai tinggi gelombang maka tinggi gelombang pecah akan



bertambah besar. Nilai periode gelombang juga ikut mempengaruhi tinggi atau rendahnya nilai gelombang pecah (Suryani *et al.*, 2014).

Tabel 7. Data gelombang hasil peramalan

| Stasiun pengambilan | H_b (m) | d_b (m) | C_b (m) | Kr | Ks | E (kg/m ³) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|------|------|------------------------|
| A | 0.85 | 1.2 | 3.43 | 1.12 | 0.81 | 508.23 |
| B | 1.06 | 1.13 | 3.33 | 1.00 | 0.81 | 274.95 |
| C | 1.08 | 1.37 | 3.67 | 1.00 | 0.81 | 216.18 |
| D | 0.60 | 0.84 | 2.87 | 1.00 | 0.80 | 194.86 |
| E | 1.15 | 1.16 | 3.37 | 0.91 | 1.02 | 153.63 |
| F | 1.20 | 1.54 | 3.46 | 0.86 | 0.54 | 79.90 |

Gelombang pecah merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap laju angkutan sedimen, semakin tinggi nilai gelombang pecah maka semakin tinggi pula laju transpor sedimen yang terjadi. Semakin tinggi nilai gelombang pecah maka energi gelombang pecah akan semakin tinggi dan akan berpengaruh terhadap laju transpor sedimen. Energi memiliki hubungan yang kuat dengan kecepatan gelombang, semakin tinggi kecepatan gelombang yang menuju pantai maka akan semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh gelombang tersebut untuk mempengaruhi proses yang terjadi pantai (Wibowo & Yudha, 2009). Berdasarkan hasil pengolahan data energi gelombang yang terbesar terdapat pada stasiun A dengan nilai 16.80 kg/detik² dan kecepatan 7.04 m/s, sedangkan yang terendah terdapat pada stasiun F dengan nilai 1.64 kg/detik² dan dengan kecepatan gelombang 6.22 m/s. Besar kecilnya energi yang menghantam lereng pantai akan mempengaruhi distribusi pembentukan ukuran rata-rata diameter butir sedimen.

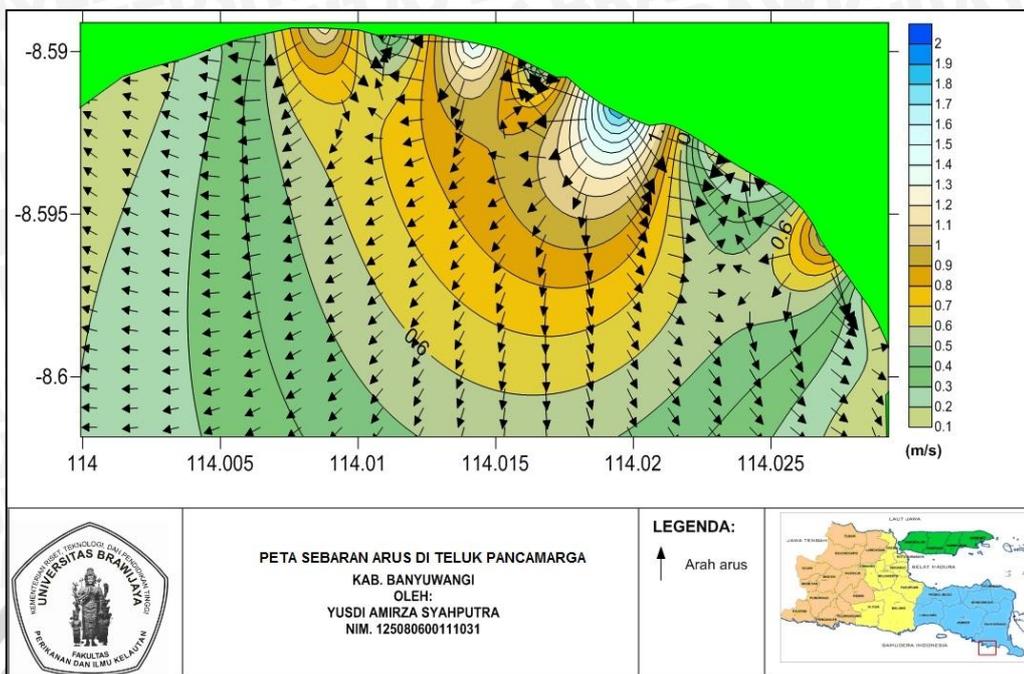
Kecepatan gelombang merupakan komponen yang mempengaruhi besar kecilnya energi gelombang yang menghantam pantai. Kecepatan merupakan nilai yang dihasilkan dari nilai panjang gelombang dibagi dengan nilai periode

gelombang, maka di dapat hasilnya berupa nilai kecepatan gelombang. Jika nilai panjang gelombang semakin besar, maka nilai kecepatan gelombang juga semakin besar, tetapi nilai kecepatan gelombang juga dipengaruhi nilai periode gelombang, apabila nilai periode gelombang semakin besar maka kecepatan gelombang akan semakin besar. Berdasarkan hasil pengolahan data nilai kecepatan gelombang tertinggi pada stasiun dengan 7.04 m/s, sedangkan yang terendah pada stasiun 6 dengan 6.22 m/s. Menurut Sutikno (1993) dan Opa (2011), menyatakan bahwa gelombang merupakan salah satu faktor penyebab erosi di pantai adalah gelombang, efek yang ditimbulkannya bervariasi sesuai dengan energi serta sedimen dasar pantai tersebut. Dalam hal ini gelombang berfungsi untuk membongkar material yang ada di bibir pantai dan oleh arus akan dipindahkan ke tempat lain. Kombinasi tinggi gelombang yang besar dan periode gelombang yang pendek menyebabkan erosi pantai. Tiga faktor yang paling berkontribusi pada erosi pantai yaitu: tinggi gelombang, lamanya gelombang dan keterjalan gelombang.

4.4 Kecepatan dan Arah Arus

Pengambilan data arus menggunakan *current meter* dengan pengulangan 3 kali pada masing-masing titik sampling Gambar 5. Pengukuran arus dilakukan di sepanjang garis pantai, hasil pengukuran arus berupa peta sebaran dapat dilihat pada Gambar 16.





Gambar 23. Peta sebaran arus hasil pengukuran di lokasi penelitian

Tabel 8. Hasil pengolahan data arus

| no | Longitude (X) | Latitude(Y) | v (m/s) | Arah (°) |
|----|---------------|-------------|---------|----------|
| 1 | 114.0271 | -8.60131 | 0.12 | 108 |
| 2 | 114.0264 | -8.59913 | 0.18 | 268 |
| 3 | 114.0252 | -8.5975 | 0.13 | 83 |
| 4 | 114.024 | -8.59624 | 1.20 | 283 |
| 5 | 114.0219 | -8.59479 | 0.14 | 282 |
| 6 | 114.0204 | -8.59396 | 0.12 | 105 |
| 7 | 114.0183 | -8.59308 | 2.00 | 282 |
| 8 | 114.0158 | -8.59199 | 0.35 | 90 |
| 9 | 114.0126 | -8.59116 | 1.50 | 280 |
| 10 | 114.0095 | -8.59088 | 0.20 | 101 |
| 11 | 114.0071 | -8.59089 | 1.23 | 265 |
| 12 | 114.0053 | -8.5912 | 0.37 | 110 |
| 13 | 114.0029 | -8.59155 | 0.19 | 97 |
| 14 | 114.0008 | -8.59229 | 0.13 | 82 |

Berdasarkan hasil pengolahan data yang ditampilkan dalam bentuk peta, menunjukkan bahwa arus dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan rata-rata 0.56 m/s dan kecepatan tertinggi dengan nilai 2.00 m/s terletak pada stasiun 7, sedangkan yang terendah dengan nilai 0.12 m/s pada stasiun 1. Arah yang dominan arus menuju ke barat daya, selatan dan barat.

Kecepatan arus dibagi menjadi 4 kategori, yakni kecepatan arus 0 – 0.25 m/s yang disebut arus lambat, kecepatan arus 0.25 – 0.50 m/s yang disebut arus sedang, kecepatan arus 0.50 - 1 m/s yang disebut arus cepat, dan kecepatan arus diatas 1 m/s yang disebut arus sangat cepat (Ihsan, 2009). Berdasarkan hasil tersebut, maka kecepatan arus di lokasi penelitian termasuk dalam kategori arus cepat. Hasil ini menyerupai penelitian dari Nugraha & Subakti (2009) di Teluk Pelabuhan Ratu, kecepatan arus saat menuju pasang tertinggi di teluk tersebut dapat mencapai 0.43 m/s dan saat menuju surut terendah kecepatan arus maksimal dapat mencapai 0.48 m/s, kecepatan ini termasuk dalam kategori sedang. Kecepatan dan arah arus mempengaruhi pergerakan sedimen karena merupakan salah satu media transpor sedimen dan agen pengerosi. Jika sedimen memiliki diameter butir kecil maka sedimen akan mengikuti arah arus. Selain itu, Duxbury & Duxbury (1993) menyatakan bahwa proses pemindahan sedimen diawali oleh pembongkaran sedimen oleh gelombang pecah yang selanjutnya sedimen tersuspensi di kolom air akan dipindahkan ke laut.

4.5 Jenis dan Ukuran Sedimen

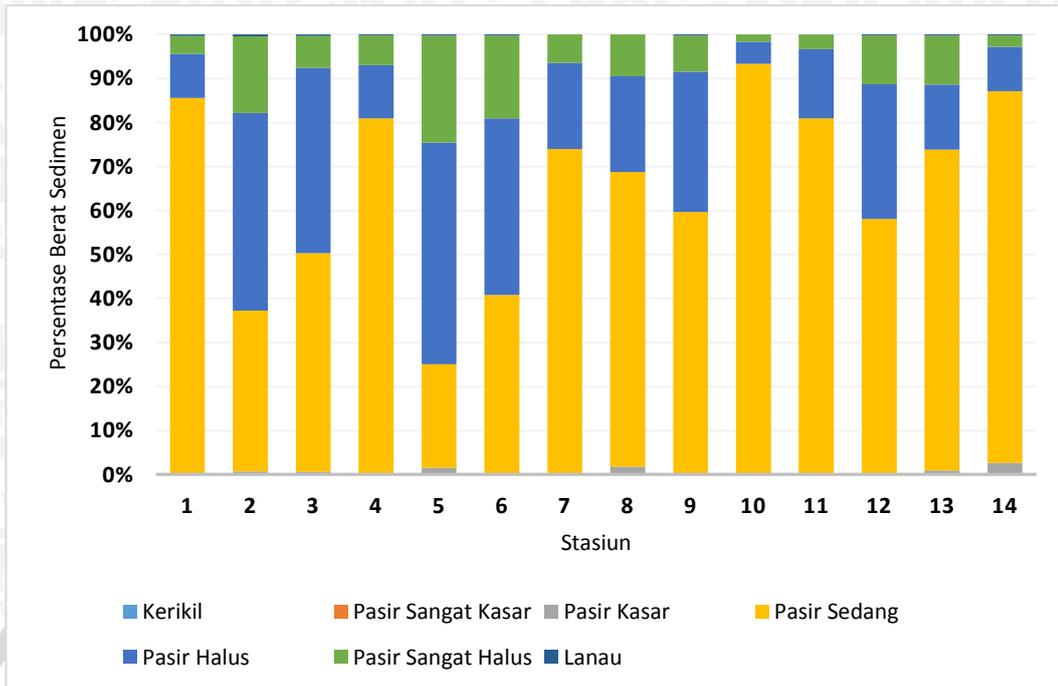
Pengambilan sampel sedimen dilakukan di 14 stasiun, tiap stasiun mewakili karakteristik masing-masing. Berikut Tabel 9 menyajikan hasil uji laboratorium sedimen di lokasi penelitian.

Tabel 9. Persentase berat fraksi dan tipe sedimen di lokasi penelitian

| Stasiun | Berat Sedimen (gr) | Persentase Berdasarkan Ukuran Diameter Sedimen (%) | | | | | | |
|---------|--------------------|--|--------------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|-------------|
| | | Kerikil | Pasir Sangat Kasar | Pasir Kasar | Pasir Sedang | Pasir Halus | Pasir Sangat Halus | Lanau |
| | | > 2 mm | 1-2 mm | 0.5-1 mm | 0.25-5 mm | 0.125-0.25 mm | 0.0625-0.125 mm | < 0.0625 mm |
| 1 | 638 | 0 | 0 | 0.31 | 85.27 | 10.03 | 4.08 | 0.31 |
| 2 | 1034 | 0 | 0 | 0.68 | 36.56 | 44.87 | 17.41 | 0.39 |
| 3 | 660 | 0 | 0 | 0.61 | 49.70 | 42.12 | 7.27 | 0.30 |

| Stasiun | Berat Sedimen (gr) | Persentase Berdasarkan Ukuran Diameter Sedimen (%) | | | | | | |
|-----------|--------------------|--|--------------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|-------------|
| | | Kerikil | Pasir Sangat Kasar | Pasir Kasar | Pasir Sedang | Pasir Halus | Pasir Sangat Halus | Lanau |
| | | > 2 mm | 1-2 mm | 0.5-1 mm | 0.25-5 mm | 0.125-0.25 mm | 0.0625-0.125 mm | < 0.0625 mm |
| 4 | 1186 | 0 | 0 | 0 | 80.94 | 12.14 | 6.75 | 0.17 |
| 5 | 774 | 0 | 0 | 1.55 | 23.51 | 50.39 | 24.29 | 0.26 |
| 6 | 862 | 0 | 0 | 0 | 40.84 | 40.14 | 18.79 | 0.23 |
| 7 | 806 | 0 | 0 | 0 | 73.95 | 19.60 | 6.45 | 0 |
| 8 | 782 | 0 | 0.26 | 1.53 | 66.75 | 21.74 | 9.46 | 0 |
| 9 | 848 | 0 | 0 | 0 | 59.67 | 31.84 | 8.25 | 0.24 |
| 10 | 846 | 0 | 0 | 0 | 93.38 | 4.96 | 1.65 | 0 |
| 11 | 914 | 0 | 0 | 0 | 80.74 | 15.75 | 3.28 | 0 |
| 12 | 936 | 0 | 0 | 0 | 58.12 | 30.56 | 11.11 | 0.21 |
| 13 | 882 | 0 | 0 | 0.91 | 72.79 | 14.74 | 11.11 | 0.23 |
| 14 | 918 | 0 | 0 | 2.61 | 84.53 | 10.02 | 2.61 | 0.22 |
| rata-rata | | 0.00 | 0.02 | 0.59 | 64.77 | 24.92 | 9.47 | 0.18 |

Berdasarkan hasil uji laboratorium sampel sedimen diperoleh bahwa hampir diseluruh stasiun tidak terdapat kerikil, namun pada stasiun 8 ditemukan fraksi pasir dengan ukuran sangat kasar sejumlah 0.26%, sedangkan pada stasiun 1,2,3,5,8, 13 dan 14 ditemukan fraksi pasir ukuran kasar dengan jumlah rata-rata 0.59%. Fraksi pasir ukuran sedang mendominasi seluruh stasiun dengan presentase mencapai 64.77% kecuali pada stasiun 5, yang mendominasi stasiun 5 adalah pasir berukuran halus dengan presentase 50.39%, namun jumlah total presentase dari pasir halus masih dibawah pasir sedang dengan 24.92%. Untuk presentase pasir dengan ukuran sangat halus ditemukan tapi dengan rata-rata jumlah yang sedikit sekitar 9.47%. Lanau yang ditemukan dalam uji laboratorium jumlah rata-ratanya hanya 0.18%, sehingga dapat disimpulkan bahwa Pantai Pulau Merah hingga Pantai Mustika memiliki tipe sedimen berpasir dengan diameter berkisar 0.25 – 5 mm. Untuk mengetahui persebaran jenis sedimen yang terdapat di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 24 berikut.



Gambar 24. Grafik distribusi ukuran sedimen

Persebaran sedimen yang lebih dominan pasir berukuran sedang menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian memiliki arus dan gelombang yang kuat, karena sedimen yang halus banyak ditemukan di perairan yang memiliki gelombang dan arus yang tenang. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Nugroho & Basit (2014) bahwa fraksi kasar umumnya diendapkan pada daerah terbuka yang berhubungan dengan laut lepas, sedangkan sedimen halus diendapkan pada arus dan gelombang benar-benar tenang. Kondisi oseanografi di bagian Selatan dengan arus yang lebih kuat menyebabkan sedimen fraksi berukuran kasar (pasir – kerikil) cepat terendapkan, sedangkan fraksi halus tidak dapat mengendap dan terbawa ke tempat lain yang lebih tenang. Pada daerah berturbulensi tinggi, fraksi ukuran butir yang lebih besar akan lebih cepat mengendap dan tenggelam pada dekat dasar laut dibandingkan fraksi yang berukuran lebih halus. Sedimen halus akan lebih mudah berpindah dan cenderung lebih cepat daripada ukuran kasar karena terangkut dalam bentuk suspensi.

4.6 Berat Jenis Sedimen

Dari hasil perhitungan berat jenis tiap sampel sedimen, berikut hasil berat jenis sedimen tiap titik pengambilan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Berat jenis sedimen tiap titik pengambilan

| Titik pengambilan | berat jenis (kg/m ³) |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 | 2.924 |
| 2 | 2.669 |
| 3 | 2.884 |
| 4 | 2.650 |
| 5 | 2.360 |
| 6 | 2.033 |
| 7 | 2.406 |
| 8 | 2.442 |
| 9 | 2.459 |
| 10 | 2.220 |
| 11 | 2.305 |
| 12 | 1.720 |
| 13 | 2.471 |
| 14 | 2.030 |

Berdasarkan hasil yang ditampilkan dalam Tabel di atas diperoleh bahwa, berat jenis tertinggi terdapat pada sampel 1, yaitu 2.924 kg/m³, dan yang terendah pada stasiun 12 dengan nilai 1.720 kg/m³. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti pengukuran suhu yang terlambat dan pengukuran berat jenis yang kurang akurat sehingga menyebabkan nilai pada stasiun 1 nilainya cukup tinggi. Normalnya berat jenis sedimen berkisar 1.400 kg/m³, namun berat jenis suatu material dapat berbeda terutama yang berasal dari alam beratnya mencapai 500 kali dari berat yang ditentukan, sehingga tidak ada patokan yang pasti dalam penentuan berat jenis (Departemen Pekerjaan Umum, 2007).

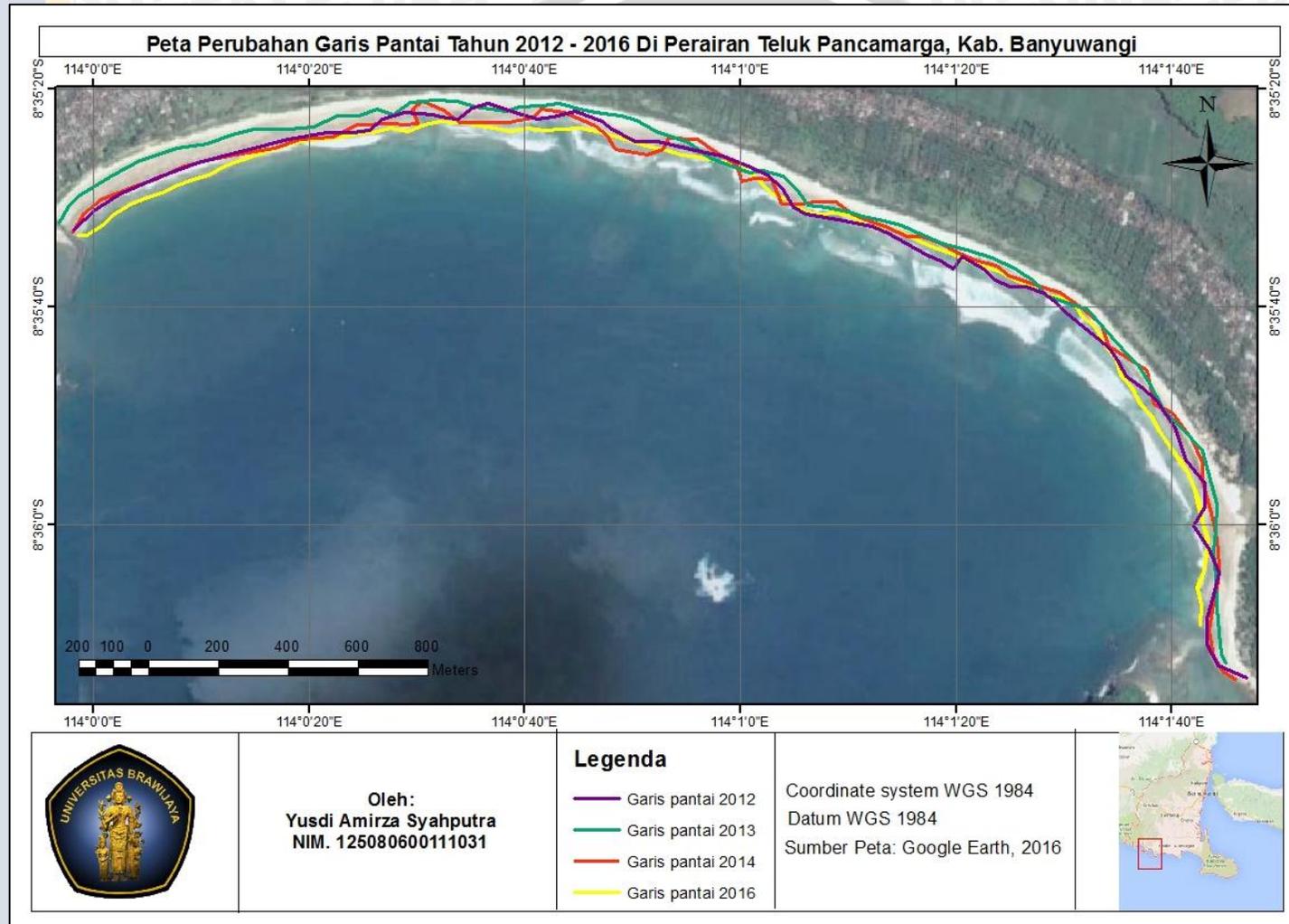
4.7 Perubahan Garis Pantai

Berdasarkan hasil digitasi peta di perairan Teluk Pancamarga diperoleh dalam selang waktu 2012 - 2016 telah terjadi perubahan garis pantai, baik yang akresi maupun sedimentasi. Hasil digitasi garis pantai dapat dilihat pada Gambar 25.

Wilayah kajian dibagi menjadi 6 wilayah (Gambar 18), yang di bagi berdasarkan titik pengamatan gelombang. Hasil pengukuran jarak peta selama 4 tahun dimulai dari tahun 2012 – 2016 (Tabel 11), menunjukkan bahwa pada wilayah A mengalami sedimentasi hal ini ditunjukkan dengan nilai rata – rata jarak yang positif sebesar 4.98 m. Pada wilayah B mengalami erosi hal ini ditunjukkan dengan nilai rata – rata jarak yang negatif sebesar 3.56 m. Pada wilayah C mengalami erosi hal ini ditunjukkan dengan nilai rata – rata jarak yang negatif sebesar 2.88 m. Pada wilayah D juga mengalami sedimentasi hal ini ditunjukkan dengan nilai rata – rata jarak yang positif sebesar 10.52 m, sedangkan pada wilayah E mengalami sedimentasi hal ini ditunjukkan dengan nilai rata – rata jarak yang positif sebesar 11.40 m dan wilayah kajian F mengalami sedimentasi dengan nilai 14.06 m.



Gambar 25. Perubahan garis pantai di lokasi penelitian



Gambar 26. Peta perubahan garis pantai tahun 2012 - 2016

Tabel 11. Perubahan garis pantai dari tahun 2012 - 2016

| Rata-rata jarak perubahan garis pantai tahun 2012 – 2016 | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| A | B | C | D | E | F | Satuan |
| 4.98 | -3.56 | -2.88 | 10.52 | 11.40 | 14.06 | Meter |



Gambar 27. Grafik perubahan garis pantai tahun 2012 – 2016

Bentuk pantai yang berupa teluk menyebabkan pantai tersebut dominan mengalami sedimentasi, hal ini disebabkan oleh gelombang yang lebih menyebar ke seluruh bagian perairan di bandingkan dengan pantai yang memiliki bentuk sejajar dengan pantai. Penelitian dari Awaliah (2013) dan Opa (2011) di Pantai Mangarabombang – Galesong Selatan dan Pantai di Desa Bentenan menunjukkan bahwa bentuk perairan yang berupa teluk lebih cenderung mengalami sedimentasi akibat dari energi gelombang yang menyebar, sebaliknya pantai yang berbentuk tanjung akan cenderung mengalami erosi karena energi gelombang yang memusat.

Hasil *overlay* citra tahun 2012 – 2016 menunjukkan pada lokasi A (muara sungai, pariwisata) pantai mengalami sedimentasi. Wilayah kajian ini terdapat muara sehingga suplai sedimen di peroleh dari muara sungai, selain itu gelombang

yang menuju ke wilayah ini cenderung lebih kecil karena energinya telah tereduksi oleh pulau yang berada di depan wilayah kajian ini.

Lokasi B (pariwisata) menunjukkan terjadinya erosi, faktor yang mempengaruhi hampir sama dengan lokasi A, namun yang membedakan dari lokasi sebelumnya adalah topografi pantai yang kemiringannya cenderung lebih curam daripada lokasi A. Pada lokasi B erosi cenderung lebih besar daripada lokasi A, selain topografi kemiringan pantai yang mempengaruhi perubahan garis pantai, adanya *rip current* yang berukuran cukup besar juga mempengaruhi distribusi sedimen. *Rip current* merupakan pertemuan arus sepanjang pantai (*longshore current*) yang berasal dari kanan dan kiri, arus ini memiliki kecepatan yang sangat besar sehingga mampu membawa sedimen pantai.

Lokasi C menunjukkan hal yang sama, pantai di lokasi ini mengalami erosi kemiringan pantai yang sangat curam sebagai akibat dari adanya *rip current* yang menyorok hingga daratan membawa sedimen dalam jumlah yang sangat besar sehingga lokasi ini memiliki karakteristik yang berbeda dari yang lainnya. Faktor lain yang menyebabkan erosi adalah gelombang yang menghantam bagian pantai ini, karena lokasi pantai yang tepat berada di tengah – tengah teluk menyebabkan energi gelombang terpusat dan langsung menghantam gelombang. Sehingga sedimen yang terbawa jumlahnya cukup besar dan tidak adanya muara sungai / penyuplai sedimen menyebabkan lokasi ini terus mengalami kemunduran garis pantai.

Lokasi D dan E menunjukkan terjadinya sedimentasi pada lokasi ini. Sedimentasi yang terjadi sebagai akibat dari tumpukan sedimen yang terbawa oleh arus dan gelombang yang mengarah ke lokasi ini, bentuk pantai yang berada di lekukan teluk menyebabkan energi gelombang yang mengarah ke pantai ini cenderung melemah daripada di lokasi C.

Lokasi F menunjukkan terjadinya sedimentasi, sedimentasi di wilayah ini di akibatkan oleh adanya bangunan pelindung pantai berupa *jetty* di dekat pelabuhan perikanan.

4.8 Perhitungan Numerik Perubahan Garis Pantai

Perhitungan numerik untuk perubahan garis pantai di lokasi penelitian di bagi menjadi beberapa stasiun, terdapat 6 stasiun, yaitu stasiun A, B, C, D, E dan F. Perhitungan yang dilakukan menghasilkan nilai perubahan garis pantai selama 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun dan 20 tahun. Hasil perhitungan jarak perubahan dan prediksi perubahan garis pantai dapat dilihat pada Tabel 12 dan ditampilkan dalam Gambar 29 – 30.

Berdasarkan tabel 12 dan gambar 29 – 30, menunjukkan bahwa daerah yang mengalami erosi terbesar untuk rumus CERC terdapat pada daerah C dengan nilai 162.87 meter dan yang terendah pada stasiun B dengan nilai 56.13 meter, sedangkan untuk rumus Manohar yang mengalami erosi terbesar pada stasiun C dengan nilai 109.37 meter dan yang terendah sebesar 34.92 meter. Daerah yang mengalami sedimentasi rumus CERC terbesar pada stasiun E sebesar 94.59 meter dan yang terendah terdapat pada stasiun D sebesar 39.47 meter, sedangkan untuk rumus Manohar yang terbesar pada stasiun D sebesar 30.56 meter dan yang terendah pada stasiun F sebesar 17.90 meter.

Perbedaan yang cukup signifikan terdapat pada jarak perubahan garis pantai yang dihasilkan oleh perhitungan kedua rumus tersebut. Pada penggunaan rumus CERC jarak yang dihasilkan lebih besar daripada jarak yang dihasilkan oleh rumus Manohar, hal ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan konstanta dan penambahan faktor massa jenis air laut dan berat jenis sedimen pada rumus transpor sedimen Manohar. Namun, terdapat persamaan yang dapat dilihat dari Gambar 29 dan 30, yaitu wilayah kajian yang mengalami erosi maupun sedimentasi berada pada lokasi yang sama, sehingga dapat ditarik kesimpulan

bahwa pada penelitian ini yang membedakan antara penggunaan rumus CERC dan Manohar terletak pada jarak yang dihasilkan. Selain itu, untuk dibandingkan pula dengan hasil pengukuran jarak peta dari hasil digitasi tahun 2012 – 2016 menunjukkan bahwa yang mendekati jarak sebenarnya adalah prediksi dari rumus Manohar selama 5 tahun. Rumus ini memiliki perbandingan jarak yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan rumus prediksi menggunakan CERC. Pada hasil dari pengukuran jarak peta menunjukkan hampir di seluruh daerah kajian mengalami sedimentasi kecuali pada stasiun B dan C sedangkan berdasarkan prediksi menggunakan kedua rumus tersebut terdapat sedikit perbedaan, daerah yang mengalami erosi berada di wilayah A, B dan C dan yang mengalami sedimentasi berada di wilayah D, E dan F. Faktor yang dapat menyebabkan terjadinya perbedaan antara hasil digitasi dan perhitungan rumus prediksi adalah faktor alam. Faktor alam seperti, adanya perbedaan kondisi gelombang saat pengukuran jarak pada peta hasil digitasi. Selain itu, faktor perbedaan rumus transpor sedimen menjadi hal yang paling penting dalam yang mempengaruhi prediksi perubahan garis pantai.

Rumus CERC dan Manohar merupakan rumus yang sering dipakai dalam perhitungan transpor sedimen, kedua rumus ini memiliki karakteristik masing – masing. Rumus CERC memiliki beberapa koefisien yang paling sering digunakan adalah 0.39, sedangkan di Indonesia koefisien yang digunakan adalah 0.401. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Smith *et al.* (2003) menunjukkan jika rumus CERC tidak sensitif terhadap tipe dari gelombang pecah. Selain itu, saat terjadi badai perhitungan rumus CERC juga menunjukkan hasil yang terkadang melebihi atau di bawah prediksi perhitungan transpor sedimen, hal ini mengindikasikan bahwa nilai koefisien (K) dapat lebih besar dari 0.39 (Miller, 1998). Rumus Manohar merupakan rumus yang menggunakan faktor berat jenis sedimen serta berat jenis air laut, selain menggunakan kedua faktor tersebut.

Rumus Manohar juga menggunakan diameter butir ukuran sedimen (CERC, 1984), sehingga memungkinkan menghitung transpor sedimen selain pasir. Kelebihan yang dimiliki oleh rumus Manohar adalah keakuratan hasil prediksi dibandingkan dengan rumus CERC.

4.9 Kurva *Hjulstrom*

Berdasarkan data kecepatan arus yang telah diperoleh, maka dapat diketahui hubungan antara kecepatan arus dengan distribusi sedimen, distribusi sedimen dapat berupa erosi, akresi maupun seimbang, untuk mengetahui hubungan antara kedua parameter tersebut digunakan diagram *Hjulstrom*. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan diagram *Hjulstrom* dapat dilihat pada Gambar 29.

Pada diagram *Hjulstrom*, terdapat 3 bagian yaitu *erosion and transport*, *transport as bedload* dan *deposition*. Hasil perhitungan kecepatan arus dihubungkan dengan ukuran butir sedimen yang hasilnya berupa proses yang terjadi pada sedimen tersebut. Sedimen yang mengalami erosi terdapat pada stasiun 4, 7, 8, 9, 11 dan 12, sedangkan sedimen 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13 dan 14 mengalami pergerakan di dasar perairan.

Menurut Tampubolon (2010), distribusi ukuran dalam endapan sedimen terjadi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, adanya perbedaan ukuran dalam material induk dan proses yang terjadi dalam endapan sedimen tersebut, khususnya kemampuan aliran. Jika dalam suatu endapan sedimen didominasi oleh ukuran butiran kasar, maka hal ini mengindikasikan kekuatan aliran mentranspor sedimen tersebut cukup besar, sebaliknya ukuran butiran halus menggambarkan lemahnya kekuatan atau energi yang mentranspor sedimen.

Proses *transport as bedload*, yaitu sedimen pada kecepatan arus tersebut bergerak secara menggelinding atau melompat. Mekanisme ini terjadi pada sedimen dengan ukuran sedang (pasir, kerikil, kerakal). Fraksi yang besar tentu akan bergerak dengan mekanisme tersebut. Fraksi yang lebih kecil (lumpur dan

lempung) akan bergerak dengan mekanisme *transport as suspension* artinya bergerak dengan melayang dipermukaan atau badan air. Jika sedimen mengalami proses *erotion and transport* yang artinya sedimen pada kecepatan arus bergerak secara pelepasan (detachment), pengangkutan (transportation) dan pengendapan (deposition). Pelepasan (detachment) pemecahan bongkah agrerat tanah ke dalam bentuk butir kecil. Butir – butir tanah yang sangat halus berupa lumpur yang bergerak bersama – sama dalam aliran air, konsentrasi sedimen merata di semua bagian pengaliran (Robby, 2014).

Menurut Pinet (2014), diagram *Hjulstrom* memiliki beberapa kelemahan antara lain, diagram *Hjulstrom* tidak efektif untuk menganalisis hubungan sedimen lumpur/lempung (*silt/clay*) dengan kecepatan arus. Hal ini disebabkan oleh partikel *silt/clay* yang sangat kecil dan rapat, sehingga membutuhkan kecepatan arus yang tinggi untuk membuat sedimen tersebut tererosi. Namun pada diagram *Hjulstrom*, kurva *erotion and transport* sedikit yang terdapat pada area *silt/clay*. Kelemahan yang lain adalah diagram *Hjulstrom* efektif digunakan pada pasir berukuran halus sampai sangat kasar. Sedimen yang memiliki diameter besar tidak dapat menggunakan diagram *Hjulstrom* karena mereka cenderung tidak akan bergerak jika arusnya kecil.

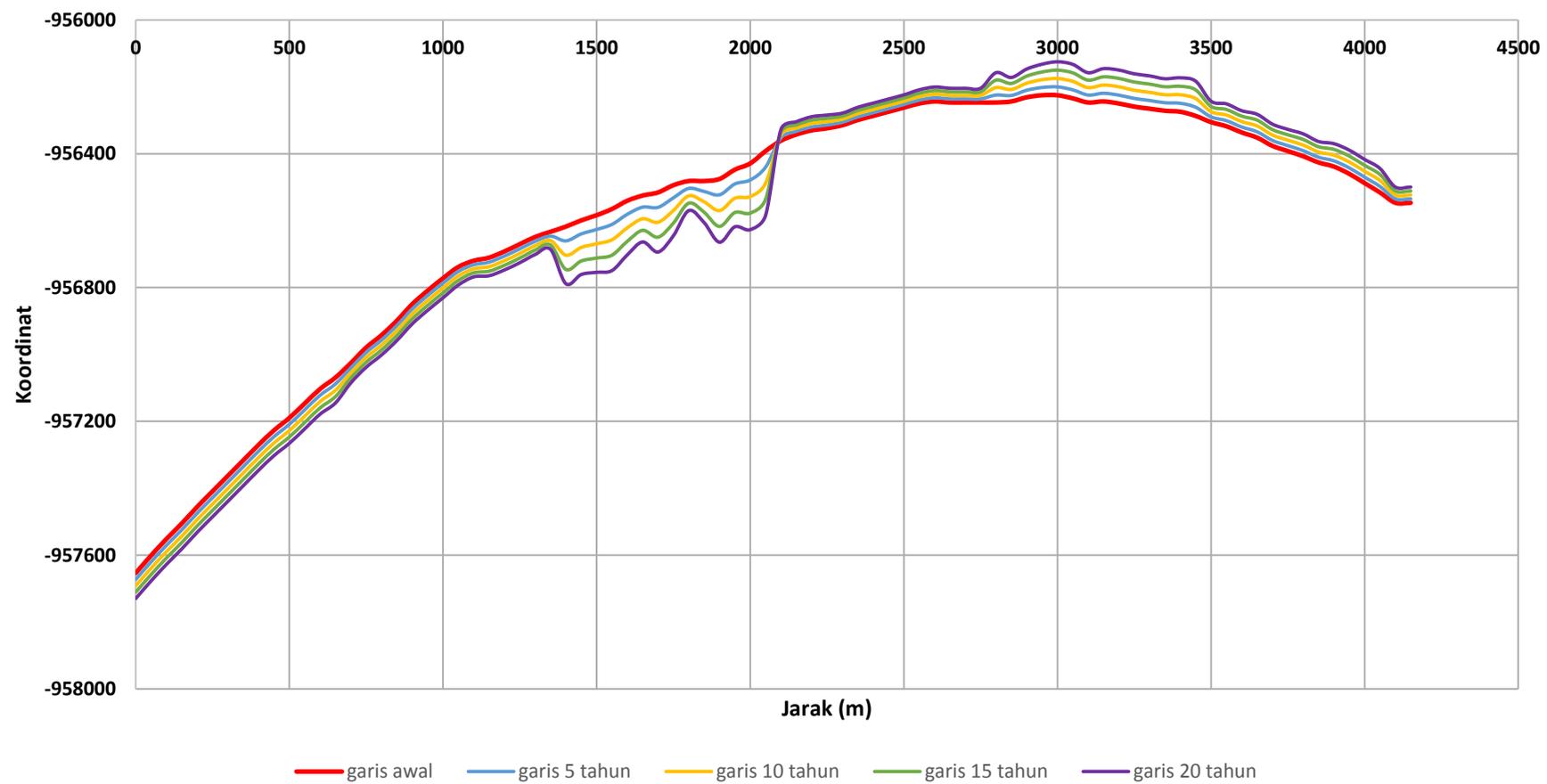
Tabel 12. Jarak perubahan garis pantai

| Stasiun | Rata-rata jarak perubahan garis pantai (m) | | | | | | | | |
|---------|--|----------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|----------|---------------------|
| | Prediksi dengan CERC | | | | Prediksi dengan Manohar | | | | Hasil Digitasi Peta |
| | 5 tahun | 10 tahun | 15 tahun | 20 tahun | 5 tahun | 10 tahun | 15 tahun | 20 tahun | Tahun 2012 – 2016 |
| A | -18.97 | -37.94 | -56.91 | -75.88 | -11.54 | -23.08 | -34.61 | -46.15 | 4.98 |
| B | -14.03 | -28.06 | -42.09 | -56.13 | -8.73 | -17.46 | -26.19 | -34.92 | -3.56 |
| C | -40.72 | -81.43 | -122.15 | -162.87 | -27.34 | -54.69 | -82.03 | -109.37 | -2.88 |
| D | 9.87 | 19.74 | 29.60 | 39.47 | 7.64 | 15.28 | 22.92 | 30.56 | 10.52 |
| E | 23.65 | 47.29 | 70.94 | 94.59 | 5.37 | 10.73 | 16.10 | 21.47 | 11.40 |
| F | 16.07 | 32.13 | 48.20 | 64.27 | 4.47 | 8.95 | 13.42 | 17.90 | 14.06 |

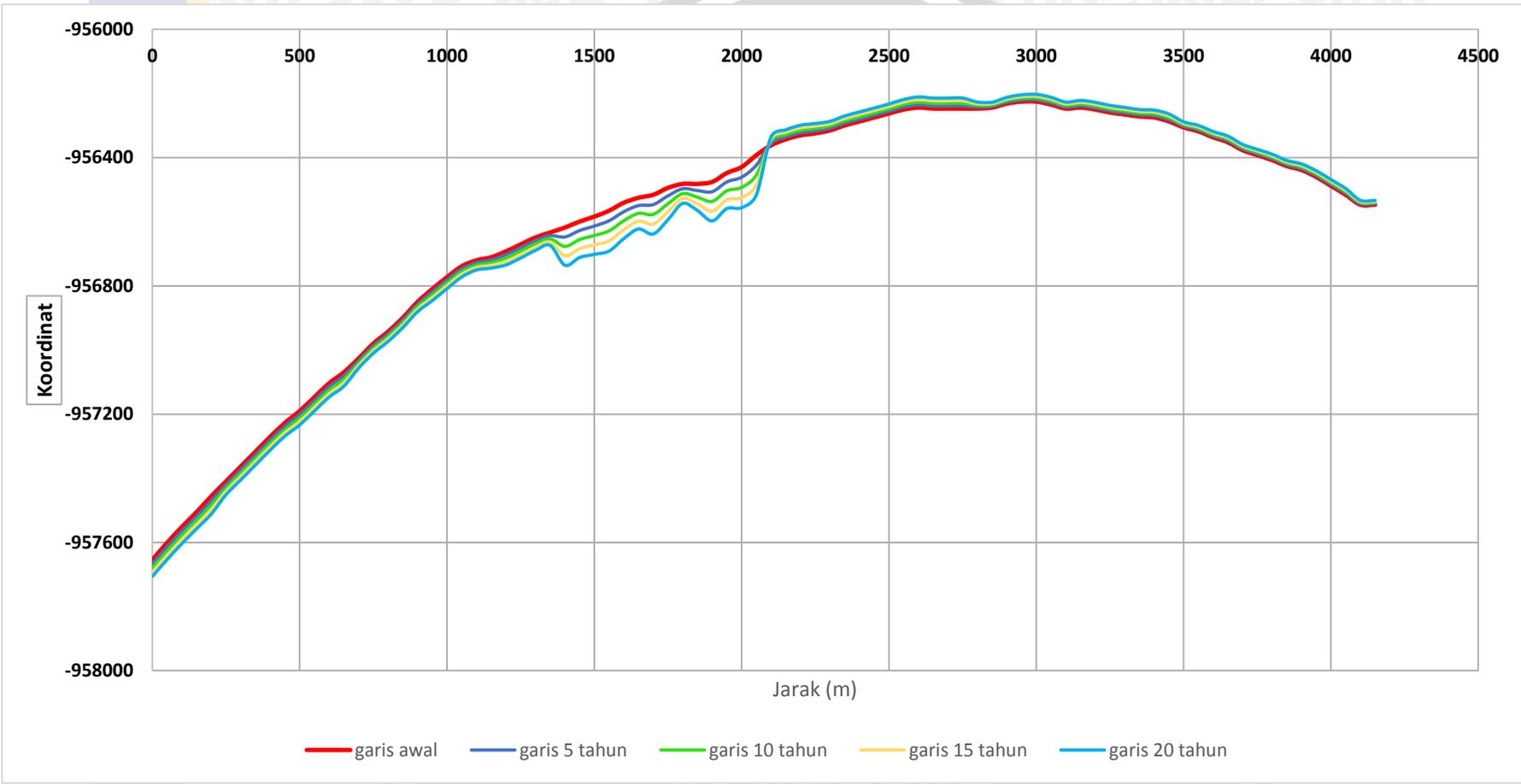
Keterangan: tanda (-) menunjukkan terjadi erosi

Tanda (+) menunjukkan sedimentasi

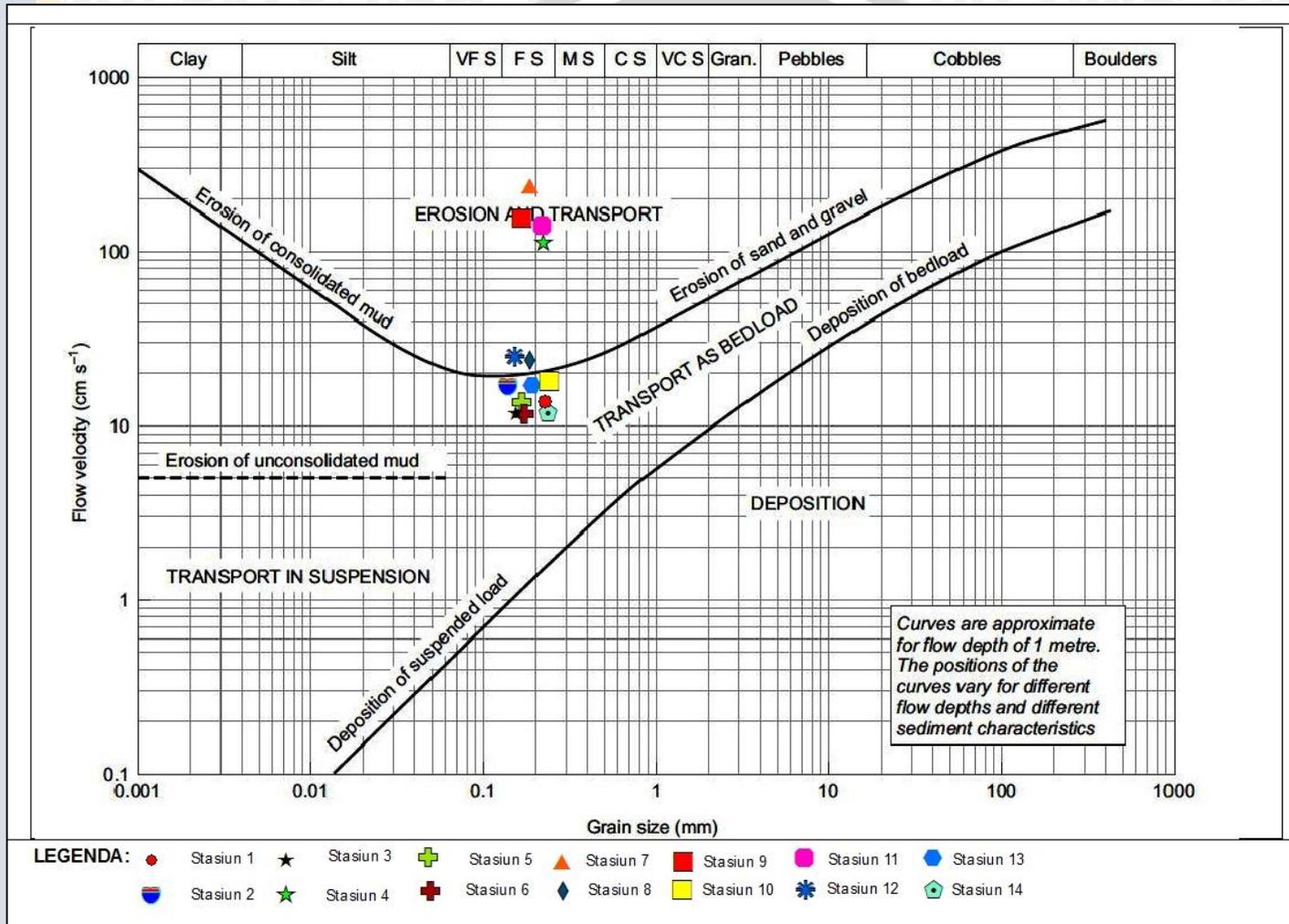




Gambar 28. Hasil prediksi perubahan garis pantai rumus CERC



Gambar 29. Hasil prediksi perubahan garis pantai rumus Manohar



Gambar 30. Hubungan kecepatan arus dengan ukuran butir sedimen

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji ukuran dan jenis butir sedimen menunjukkan bahwa pada perairan Pantai Teluk Pancamarga, di dominasi oleh pasir sedang sebanyak 64.77%, pasir halus 24.92%, pasir sangat halus 9.47%, lanau 0.18%, dan pasir kasar 0.02%.
2. Hasil perhitungan perubahan garis pantai tahun 2012 – 2016 menggunakan metode *overlay* peta, sedimentasi terbesar terjadi pada stasiun F sebesar 14.06 meter. Sedangkan erosi terbesar terjadi pada stasiun B sebesar 3.56 meter.
3. Hasil prediksi perubahan garis pantai dalam jangka waktu 20 tahun menggunakan metode numerik dan rumus transpor sedimen CERC serta Manohar menunjukkan, stasiun yang mengalami erosi terbesar untuk rumus CERC terdapat pada stasiun C dengan nilai 162.87 meter, sedangkan untuk rumus Manohar yang mengalami erosi terbesar pada stasiun C dengan nilai 109.37 meter. Daerah yang mengalami sedimentasi pada rumus CERC terbesar pada stasiun E sebesar 94.59 meter, sedangkan untuk rumus Manohar yang terbesar pada stasiun D sebesar 30.56 meter.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh persebaran sedimen terhadap keberadaan *rip current* sehingga data sedimen yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y. & Hidayat, N., 2011. *Model Perubahan Garis Pantai Rerang (Kabupaten Donggala) Menggunakan Genesis*. Universitas Tadulako: Palu.
- Awaliah, W. O., 2013. *Model Perubahan Garis Pantai Dengan Metode One-Line Model (Studi Kasus: Pantai Mangarabombang - Galesong Selatan, Kabupaten Takalar)*. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- BAPPEDA, 2014. *Rencana Tata Ruang Kawasan Strategis Tumpang Pitu Kecamatan Pesanggaran*. BAPPEDA: Kabupaten Banyuwangi.
- Binilang, A., 2014. Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara. *Teknik Sipil*, 12(60), pp. 46-56.
- Black, J. A., 1986. *Ocean and Coasts An Introduction to Oceanography*. Edisi pertama. Wm. C Brown: United States of America.
- Cahyanto, N. P., Setiyono, H. & Indrayanti, E., 2014. Studi Profil Pantai di Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa Jepara. *JURNAL OSEANOGRAFI*, 3(2), pp. 161-166.
- CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. Edisi keempat. US Army Corps of Engineer: Washington.
- Departemen, P. U., 2007. Indonesia, Paten No. SNI 01-91-08.
- Duxbury, A. B. & Duxbury, A., 1993. *Fundamental of Oceanography*. Wm. C Brown Publisher: Washington.
- Ihsan, N., 2009. *Komposisi Hasil Tangkapan Sondong Di Kelurahan Batu Teritip Kecamatan Sungai Sembilan Kota Dumai Provinsi Riau*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau: Pekanbaru
- Lutfri, 1999. *Metodologi Penelitian*. UNP Press: Padang
- Marpaung, S. & Prayogo, T., 2014. *Analisis Arus Geostropik Permukaan Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri*. Jakarta, LAPAN, pp. 561-567.

Miller, H., 1998. *Comparison Of Storm Longshore Transport Rates To Predictions*. USA, ASCE, pp. 2954 - 2967.

Nadia, P., Ali, M. & Besperi, 2013. Pengaruh Angin Terhadap Tinggi Gelombang Pada Struktur Bangunan Breakwater Di Tapak Paderi Kota Bengkulu. *Jurnal Inersia*, 5(1), pp. 41-57.

Nugraha, R. B. A. & Subakti, H., 2009. Simulasi Pola Arus Dua Dimensi Di Perairan Teluk Pelabuhan Ratu Pada Bulan September 2004. *Jurnal Kelautan Nasional*, 4(1), pp. 48 - 55.

Nugroho, S. H. & Basit, A., 2014. Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir Di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), pp. 229-240.

Opa, E. T., 2011. Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, VII(3), pp. 109-114.

Pinet, P. R., 2014. *Essential Invitation to Oceanography*. Edisi pertama. Jones & Bartlett Learning: USA.

Rabung, F., 2014. Pola Angin Pembangkit Gelombang Yang Berpengaruh Atas Morfologi dan Bangunan Pantai di Sekitar Makassar. *Jurusan Sipil*, pp. 1-12.

Robby, A., 2014. *Sedimentasi di Perairan Tepi Laut Kota Tanjung Pinang Provinsi Kepulauan Riau*. FIKP UMRAH: Riau.

Smith, E. R., Wang, P. & Zhang, J., 2003. *Evaluation of the CERC Formula Using Large-Scale Laboratory Data*. Geology Faculty Publication: Florida.

Supangat, A. & Susanna, 2008. *Pengantar Oseanografi*. Edisi pertama. Pusat Riset Wilayah Laut Sumberdaya Nonhayati: Jakarta.

Suryani, Juita, E. & Farida, 2014. Analisis Abrasi Pantai Tuapeijat Di Kecamatan Sipora Utara Kabupaten Kepulauan Mentawai. *Jurnal Oseanografi*, pp. 1-6.

Sutikno, 1993. Karakteristik Bentuk dan Geologi Pantai di Indonesia. Dalam: *Bentuk dan Geologi Pantai Di Indonesia*. Dirjen Pengairan Departemen PU, p. 51: Yogyakarta.

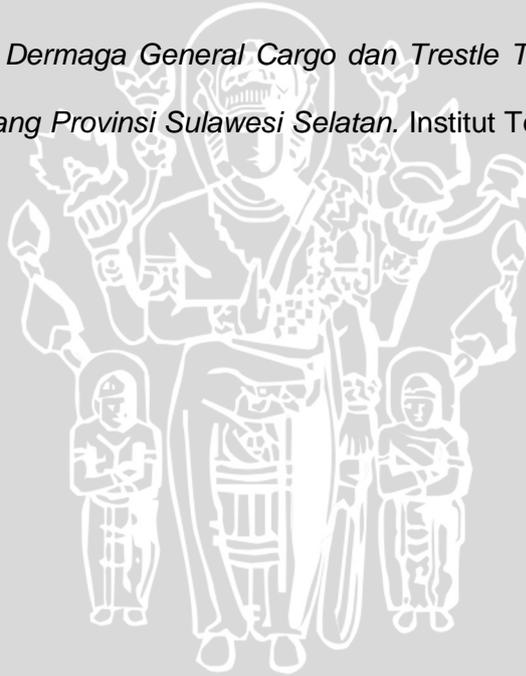
Sverdrup, K. A., Duxbury, A. B. & Duxbury, A. C., 2006. *Fundamentals of Oceanography*. Edisi kelima. McGraw-Hill: New York.

Tampubolon, S., 2010. *Sedimen di Muara Aek Tolang Pandan Sumatera Utara*. Ilmu Kelautan UNRI: Riau.

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

Wibowo, Y. A., 2009. *Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi)*. Universitas Hang Tuah: Surabaya.

Yualita, 2008. *Desain Dermaga General Cargo dan Trestle Tipe dek on Pile di Pulau Kalukalukuang Provinsi Sulawesi Selatan*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.

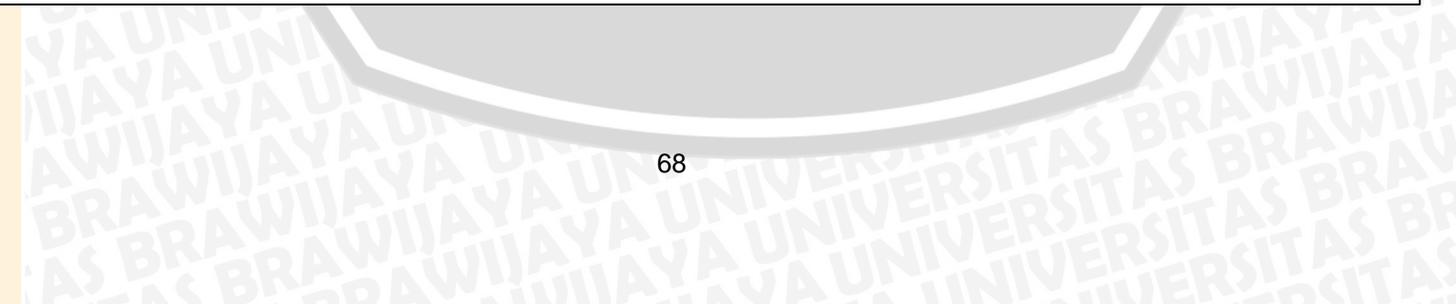
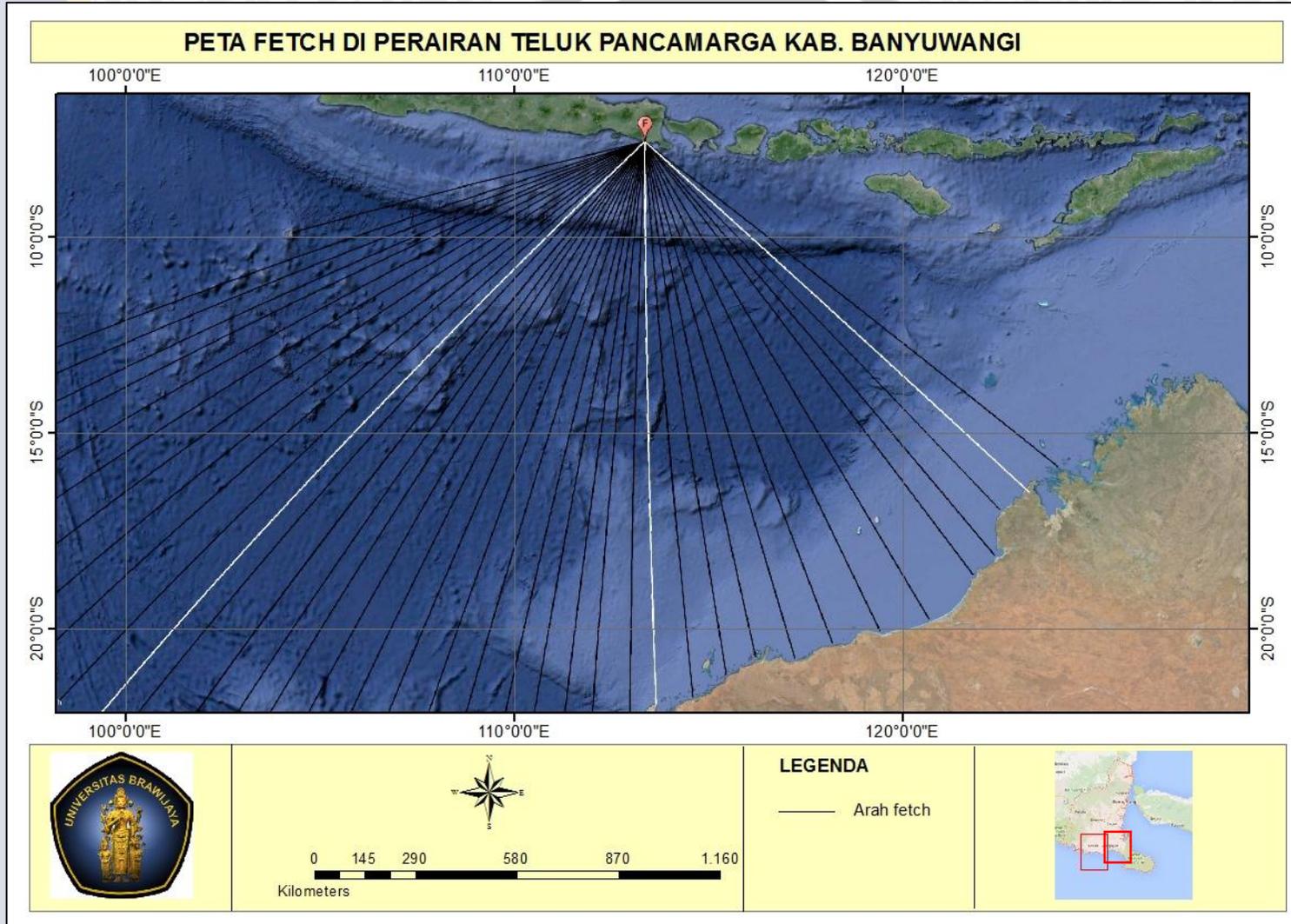


LAMPIRAN

Lampiran 1. Fetch efektif

| Perhitungan Panjang Fetch Arah Selatan | | | | |
|--|----------------------------|------------------|---------|---------------------|
| Arah Utama | Deviasi sudut (α) | Cos (α) | Xi (km) | Xi.Cos (α) |
| Selatan | 42 | 0.74 | 200.00 | 148.63 |
| | 36 | 0.81 | 200.00 | 161.80 |
| | 30 | 0.87 | 200.00 | 173.21 |
| | 24 | 0.91 | 200.00 | 182.71 |
| | 18 | 0.95 | 200.00 | 190.21 |
| | 12 | 0.98 | 200.00 | 195.63 |
| | 6 | 0.99 | 200.00 | 198.90 |
| | 0 | 1.00 | 200.00 | 200.00 |
| | -6 | 0.99 | 200.00 | 198.90 |
| | -12 | 0.98 | 200.00 | 195.63 |
| | -18 | 0.95 | 200.00 | 190.21 |
| | -24 | 0.91 | 3.50 | 3.20 |
| | -30 | 0.87 | 200.00 | 173.21 |
| | -36 | 0.81 | 200.00 | 161.80 |
| | -42 | 0.74 | 200.00 | 148.63 |
| Jumlah | | 13.51 | | 2522.67 |
| Fetch Efektif (km) | | | | 186.71 |





Lampiran 2. Hasil *hindcasting* data gelombang

| no | Bulan | H & T | ARAH DATANG GELOMBANG | | max tiap bulan | |
|---------------|-----------|---------|-----------------------|------------|----------------|-------|
| | | | Selatan | Barat Daya | arah dominan | H-T |
| 1 | Januari | H (m) | 1.827 | 1.414 | S | 1.827 |
| | | T (det) | 3.826 | 3.519 | | 3.826 |
| 2 | Februari | H (m) | 1.269 | 1.079 | S | 1.269 |
| | | T (det) | 3.482 | 3.281 | | 3.482 |
| 3 | Maret | H (m) | 4.016 | 3.179 | S | 4.016 |
| | | T (det) | 4.693 | 4.341 | | 4.693 |
| 4 | April | H (m) | 3.105 | 1.279 | S | 3.105 |
| | | T (det) | 4.390 | 3.429 | | 4.390 |
| 5 | Mei | H (m) | 2.970 | 1.915 | S | 2.970 |
| | | T (det) | 4.340 | 3.807 | | 4.340 |
| 6 | Juni | H (m) | 2.741 | 0.964 | S | 2.741 |
| | | T (det) | 4.251 | 3.187 | | 4.251 |
| 7 | Juli | H (m) | 3.425 | 1.248 | S | 3.425 |
| | | T (det) | 4.503 | 3.407 | | 4.503 |
| 8 | Agustus | H (m) | 1.877 | 0.920 | S | 1.877 |
| | | T (det) | 3.853 | 1.707 | | 3.853 |
| 9 | September | H (m) | 2.343 | 0.908 | S | 2.343 |
| | | T (det) | 4.081 | 3.137 | | 4.081 |
| 10 | Oktober | H (m) | 2.488 | 0.928 | S | 2.488 |
| | | T (det) | 4.145 | 1.714 | | 4.145 |
| 11 | November | H (m) | 2.365 | 0.921 | BD | 0.921 |
| | | T (det) | 4.091 | 1.709 | | 1.709 |
| 12 | Desember | H (m) | 1.239 | 0.894 | BD | 0.894 |
| | | T (det) | 3.460 | 1.692 | | 1.692 |
| Max tiap arah | | H (m) | 4.016 | 3.179 | S | 4.016 |
| | | T (det) | 4.693 | 4.341 | | 4.693 |

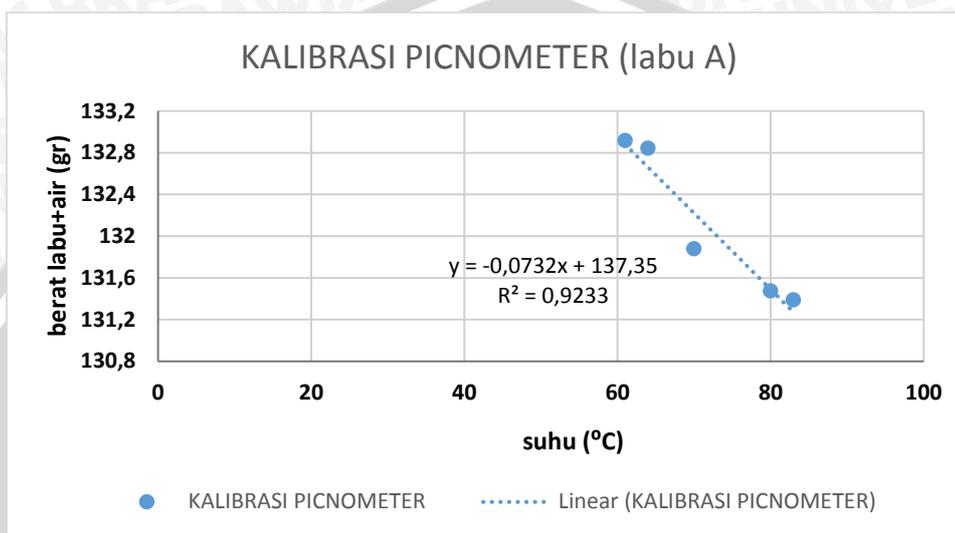
Keterangan:

H : tinggi gelombang (m)

T : periode gelombang (detik)

Lampiran 3. Hasil kalibrasi botol piknometer

| labu a | No pemeriksaan | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|---------------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | temperatur (°C) | 83 | 80 | 70 | 64 | 61 |
| | berat labu+air (gr) | 131.392 | 131.47 | 131.882 | 132.846 | 132.92 |



Lampiran 4. Tabel hubungan faktor koreksi (K)

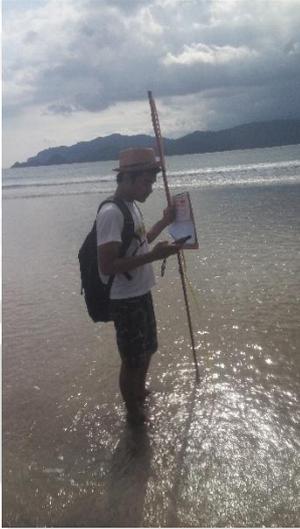
| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 10 | 0.9997 | 0.9996 | 0.9995 | 0.9994 | 0.9993 |
| 20 | 0.9982 | 0.9980 | 0.9978 | 0.9976 | 0.9973 |
| 30 | 0.9957 | 0.9954 | 0.9951 | 0.9947 | 0.9944 |
| 40 | 0.9922 | 0.9919 | 0.9915 | 0.9911 | 0.9907 |
| 50 | 0.9881 | 0.9876 | 0.9872 | 0.9857 | 0.9862 |
| 60 | 0.9832 | 0.9827 | 0.9822 | 0.9817 | 0.9811 |
| 70 | 0.9778 | 0.9772 | 0.9767 | 0.9761 | 0.9755 |
| 80 | 0.9718 | 0.9712 | 0.9706 | 0.9699 | 0.9693 |
| 90 | 0.9653 | 0.9647 | 0.9640 | 0.9633 | 0.9626 |

| °C | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9998 |
| 10 | 0.991 | 0.9990 | 0.9988 | 0.9986 | 0.9984 |
| 20 | 0.9971 | 0.9968 | 0.9965 | 0.9963 | 0.9960 |
| 30 | 0.9941 | 0.9937 | 0.9934 | 0.9940 | 0.9926 |
| 40 | 0.9902 | 0.9898 | 0.9890 | 0.9890 | 0.9885 |
| 50 | 0.9857 | 0.9852 | 0.9848 | 0.9842 | 0.9838 |
| 60 | 0.9806 | 0.9800 | 0.9795 | 0.9789 | 0.9784 |
| 70 | 0.9749 | 0.9743 | 0.9737 | 0.9731 | 0.9724 |
| 80 | 0.9686 | 0.9680 | 0.9673 | 0.9667 | 0.9660 |
| 90 | 0.9619 | 0.9612 | 0.9605 | 0.9598 | 0.9591 |

Sumber: Buku pedoman pengujian berat jenis Lab. Tanah dan air tanah, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya



Lampiran 5. Dokumentasi kegiatan penelitian

| No | Dokumentasi | Jenis kegiatan |
|----|--|-----------------------------------|
| 1 |  | <p>Tracking garis pantai</p> |
| 2 |  | <p>Pengambilan sampel sedimen</p> |
| 3 |  | <p>Penimbangan sampel sedimen</p> |

| No | Dokumentasi | Jenis kegiatan |
|----|--|--|
| 4 |  | Pengayakan sampel sedimen |
| 5 |  | Proses pemanasan untuk kalibrasi piknometer |
| 6 |  | Pengisian air suling untuk uji berat jenis sedimen |
| 7 |  | Kondisi aktivitas wisata di lokasi penelitian |

| No | Dokumentasi | Jenis kegiatan |
|----|--|--|
| 8 |  | Lokasi penelitian di Pantai Pulau Merah |
| 9 |  | Muara sungai di Pantai Pulau Merah |
| 10 |  | Kondisi wisata di Pantai Mustika |