

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DI KAWASAN PANTAI DEPOK, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

SKRIPSI

Oleh:

**DIOVANNIE YANUAR RAHMADHANI
NIM. 165080600111014**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2020**



ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DI KAWASAN PANTAI DEPOK, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya

Oleh:

**DIOVANNIE YANUAR RAHMADHANI
NIM. 165080600111014**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG
2020**

SKRIPSI

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DI KAWASAN PANTAI DEPOK, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Oleh:

DIOVANNIE YANUAR RAHMADHANI
NIM. 165080600111014

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 25 Juni 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing 1

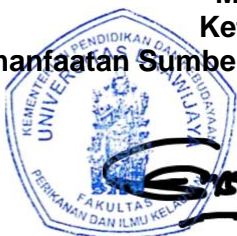
Nurin Hidayati, S.T., M.Sc
NIP. 19781102 200502 2 001
Tanggal: 7/9/2020

Menyetujui,
Dosen Pembimbing 2

Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si
NIK. 2013048401272001
Tanggal: 7/9/2020

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan



Dr. Eng Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT
NIP. 19780717 200502 1 004
Tanggal: 7/9/2020



IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta

Nama Mahasiswa : Diovannie Yanuar Rahmadhani

NIM : 165080600111014

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Nurin Hidayati, S.T., M.Sc

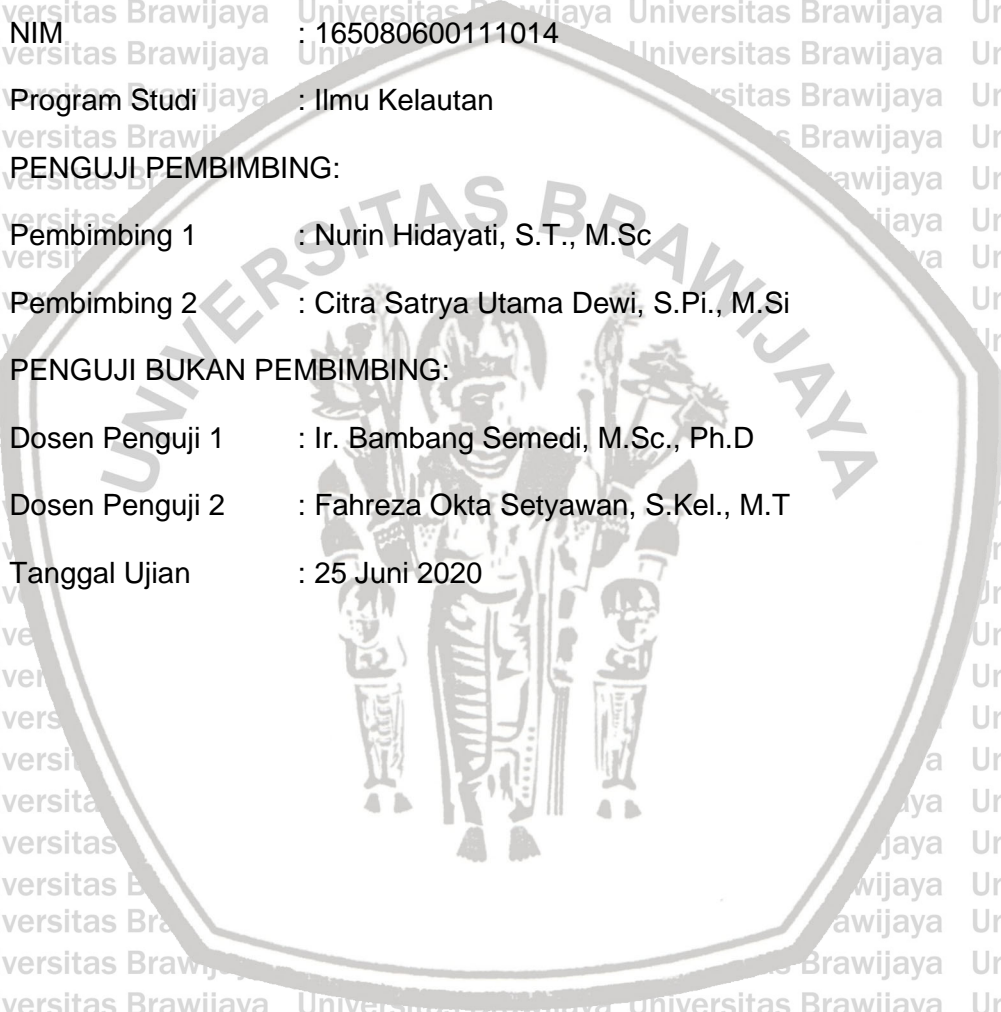
Pembimbing 2 : Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING:

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Semedi, M.Sc., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Fahreza Okta Setyawan, S.Kel., M.T

Tanggal Ujian : 25 Juni 2020



RINGKASAN

DIOVANNIE YANUAR RAHMADHANI. Skripsi tentang Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dibimbing oleh **Nurin Hidayati, S.T., M.Sc, dan Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi., M.Si**

Perubahan garis pantai merupakan proses tanpa henti yang mampu mengubah profil garis pantai baik maju atau mundur yang disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya arus, gelombang, pasang surut dan transpor sedimen. Faktor-faktor tersebut sangat berpengaruh dikarenakan lokasi Pantai Depok berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Adanya perubahan garis pantai dapat mempengaruhi kegiatan pariwisata dan kegiatan lainnya di Pantai Depok. Salah satu cara mengetahui tingkat perubahan yang terjadi yaitu menggunakan teknologi penginderaan jauh dengan memanfaatkan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sehingga menghasilkan citra resolusi tinggi dan hasil yang didapatkan lebih maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan Pantai Depok serta faktor apa saja yang mempengaruhi perubahan garis pantai.

Penulis melakukan pengolahan data menggunakan data foto udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) tahun perekaman 2009, 2015 dan 2019 untuk mengetahui perubahan garis pantai di Pantai Depok dan citra *Google Earth* tahun 2014 dan 2018 yang digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi di muara Sungai Opak kaitannya dengan perubahan garis pantai di Pantai Depok. Pengolahan data hidro-oseanografi diantaranya arus, pasang surut dan gelombang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan garis pantai. Kegiatan *tracking* dan pengolahan data garis pantai dilakukan pada tanggal 15-31 Januari 2020. Pengolahan data garis pantai dilakukan di ruang diklat Parangtritis Geomaritime Science Park (PGSP) Yogyakarta, sedangkan untuk *tracking* garis pantai dilakukan di sepanjang Pantai Depok sejauh kurang lebih 1,8 km yang dimulai dari muara Sungai Opak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis citra berbasis objek (OBIA) yang kemudian dilakukan perhitungan statistik diantaranya EPR dan NSM pada DSAS (*Digital Shorelines Analysis System*).

Hasil dari pengolahan data perubahan garis pantai menunjukkan Pantai Depok terjadi abrasi dan akresi yang didominasi abrasi sepanjang pantai. Berdasarkan perhitungan EPR, abrasi tertinggi terjadi di kawasan pemukiman warga sebesar 4,3 m/th dan akresi tertinggi terjadi di dekat muara Sungai Opak sebesar 2,94 m/th. Arus rata-rata tahun 2019 di perairan Pantai Depok bergerak dari barat ke timur dengan kecepatan 0,358 m/s - 0,362 m/s yang termasuk arus sedang. Pantai Depok dengan kemiringan yang landai menyebabkan terjadinya pendangkalan pada beberapa bagian akibat arus sejajar pantai sehingga didominasi peristiwa abrasi. Pantai Depok memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda. Kondisi ini dapat mempengaruhi posisi garis pantai. Tinggi gelombang signifikan Pantai Depok sebesar 2,7 m dengan arah tiupan angin yang sama membuat gelombang semakin besar. Tingginya kecepatan angin di Samudera Hindia juga mengakibatkan arus dan gelombang menuju daratan tinggi yang menyebabkan abrasi.

KATA PENGANTAR

Penulis menyajikan skripsi berjudul “Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Kelautan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya dibawah bimbingan:

1. Nurin Hidayati, S.T., M.Sc
2. Citra Satria Utama Dewi, S.Pi., M.Si

Skripsi yang membahas perubahan garis pantai di Pantai Depok menggunakan citra resolusi tinggi hasil pemotretan foto udara (UAV) serta faktor-faktor yang mempengaruhinya ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para pembaca mengenai perubahan garis pantai. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Malang, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xiii

1. PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Tujuan 3

1.4 Kegunaan 3

1.5 Tempat dan Waktu 3

2. TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1 Perubahan Garis Pantai 4

2.2 Penginderaan Jauh 4

2.2.1 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* 5

2.3 *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* 5

2.4 Faktor Hidro-oseanografi 6

2.4.1 Arus 7

2.4.2 Pasang Surut 8

2.4.3 Gelombang 9

2.5 Sedimen 11

2.6 Pembagian Musim 13

2.7 Muara Sungai 14

3. METODE PENELITIAN 15

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 15

3.2 Alat dan Bahan Penelitian 16

3.2.1 Alat Penelitian Lapang 16

3.2.2 Alat dan Bahan Pengolahan Data 17

3.3 Tahapan Penelitian 18

3.3.1 Pengambilan Data 18

3.3.2 Pengolahan Data 21

3.3.3 Analisis Data 25

3.4 Prosedur Penelitian 26

4. HASIL DAN PEMBAHASAN 27

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian 27

4.2 Deteksi Garis Pantai Metode *Object Based Image Analysis (OBIA)* 27

4.3 Perubahan Garis Pantai 30

4.4 Kondisi Hidro-oseanografi 35

4.4.1 Arus 35

4.4.2 Pasang Surut 40

4.4.3 Gelombang 45



4.5	Evolusi Muara Sungai Opak	47
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
	DAFTAR PUSTAKA	52
	LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tipe Pasang Surut Berdasarkan Nilai <i>Formzahl</i>	8
2. Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort.....	10
3. Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen Menurut Skala Wentworth.....	12
4. Alat Penelitian Lapang.....	16
5. Alat Penelitian Pengolahan Data	17
6. Bahan Penelitian Pengolahan Data	17
7. Spesifikasi Data Foto Udara	19
8. Kondisi Pasang Surut Saat Pengambilan Data Foto Udara (UAV).....	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Komponen Parameter DSAS	6
2. Segitiga Shepard	11
3. Diagram Hjulstrom	13
4. Peta Lokasi Penelitian	15
5. Titik Pengamatan <i>Tracking</i> Garis Pantai	16
6. Prosedur Penelitian	26
7. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2009	29
8. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2015	29
9. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2019	30
10. Peta Perubahan Garis Pantai Tahun 2009-2019 dengan Transek	31
11. Peta Perubahan Garis Pantai Tahun 2009-2019	33
12. Grafik <i>End Point Rate</i> (EPR) Tahun 2009-2019	34
13. Grafik <i>Net Shoreline Movement</i> (NSM) Tahun 2009-2019	34
14. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Barat Tahun 2019	37
15. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Peralihan 1 Tahun 2019	38
16. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Timur Tahun 2019	38
17. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Peralihan 2 Tahun 2019	39
18. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Agustus Tahun 2019	39
19. Peta Pola Sebaran Arus Rata-Rata Perairan Pantai Depok Tahun 2019	40
20. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Juni 2009	42



21. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 11 Juni 2009 42

22. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Oktober 2015..... 43

23. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 01 Oktober 2015 43

24. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Agustus 2019..... 44

25. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 15 Agustus 2019..... 44

26. Grafik Tinggi dan Periode Gelombang di Pantai Depok Agustus 2019..... 45

27. Grafik Arah dan Kecepatan Angin di Pantai Depok Agustus 2019 46

28. Peta Evolusi Muara Sungai Opak Tahun 2014-2018 pada Musim Timur 48



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Koordinat <i>Tracking</i> Garis Pantai.....	55
2. Nilai EPR dan NSM Setiap Transek.....	56
3. Dokumentasi Lapangan.....	58



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan garis pantai yaitu proses tanpa henti yang mampu mengubah profil garis pantai baik maju atau mundur yang disebabkan oleh berbagai fenomena seperti abrasi dan akresi (Surya, 2017). Arus, transpor sedimen, gelombang, angin, pasang surut, dan struktur pantai termasuk faktor pengendali perubahan garis pantai (Saputro *et al.*, 2017). Masyarakat pesisir sering menghadapi ancaman perubahan garis pantai. Hal ini diperburuk dengan naiknya permukaan air laut (Jin *et al.*, 2015).

Perubahan garis pantai terdeteksi dan dipetakan melalui beberapa pendekatan, salah satunya menggunakan penginderaan jauh melalui citra satelit (Halim *et al.*, 2016). Penelitian mengenai perubahan garis pantai dapat menjadi acuan dalam pembangunan wilayah pesisir, pariwisata dan kegiatan lainnya sehingga penting untuk dilakukan (Lubis *et al.*, 2017). Teknologi penginderaan jauh dapat mengamati perubahan garis pantai secara temporal sehingga data yang didapatkan bersifat *up to date*. Pesawat tanpa awak (UAV) merupakan salah satu teknologi yang menghasilkan citra penginderaan jauh dengan resolusi tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk identifikasi wilayah pesisir salah satunya perubahan garis pantai.

Pesisir pantai di Kabupaten Bantul termasuk rawan terhadap peristiwa abrasi, salah satunya adalah Pantai Depok yang terletak di Desa Parangtritis, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Putra *et al.*, 2016). Abrasi yang terjadi di Pantai Depok dapat mengganggu aktivitas perekonomian masyarakat sekitar. Hal ini dikarenakan Pantai Depok termasuk lokasi pariwisata yang sering dikunjungi wisatawan (Taukidah *et al.*, 2017).

Penelitian tentang perubahan garis pantai di Pantai Depok pernah dilakukan oleh

Cesar (2019) yang mengamati perubahan garis pantai dengan data utama citra dari *Google Earth* sehingga citra yang dihasilkan kurang maksimal. Penelitian lain juga pernah dilakukan oleh Saputro *et al.*, (2017) dengan wilayah kajian yang lebih luas yaitu Kabupaten Bantul, sehingga tidak terfokus di Pantai Depok.

Pantai Depok yang ada di Kabupaten Bantul dipilih sebagai lokasi penelitian dengan pertimbangan penggunaan data foto udara UAV menghasilkan citra dengan resolusi spasial yang tinggi sehingga lebih efektif dan jelas dalam melihat perubahan yang terjadi. Untuk melihat perubahan tersebut dibutuhkan data temporal beberapa tahun. Adanya beberapa data temporal UAV milik Parangtritis Geomarine Science Park diantaranya data foto udara tahun 2009, 2015, dan 2019 dapat digunakan untuk melihat perubahan garis pantai yang terjadi. Data tersebut dipilih dengan pertimbangan data foto udara sebelumnya tidak mencakup kawasan Pantai Depok secara keseluruhan serta format data yang tidak mendukung. Pemilihan lokasi ini juga didukung proses dinamika pesisir yang tinggi akibat pengaruh hidro-oseanografi di wilayah tersebut mengingat Pantai Depok berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Pantai Depok yang berbatasan dengan muara Sungai Opak sering mengalami pelebaran maupun penyempitan mulut muara yang mempengaruhi transpor sedimen yang mempengaruhi perubahan garis pantai.

Maka diperlukan pengamatan dinamika pesisir yang ada secara temporal menggunakan data spasial resolusi tinggi sehingga penelitian tentang analisis perubahan garis pantai di Pantai Depok dengan menggunakan data foto udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) serta faktor-faktor yang mempengaruhinya dapat memberikan informasi yang lebih akurat.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang ada, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana laju perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Depok?
2. Bagaimana pengaruh faktor hidro-oseanografi terhadap perubahan garis pantai di Pantai Depok?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis besarnya laju perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Depok
2. Mengetahui pengaruh faktor hidro-oseanografi terhadap perubahan garis pantai di Pantai Depok

1.4 Kegunaan

Adapun manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah:

- 1) Bagi pemerintah dan *stakeholder* terkait, dapat mengetahui dimana titik perubahan paling tinggi yang terjadi untuk pertimbangan dalam hal pengelolaan dan pengembangan wilayah
- 2) Bagi kalangan akademisi, diperolehnya data berbasis spasial mengenai perubahan garis pantai di wilayah pesisir

1.5 Tempat dan Waktu

Penelitian tentang Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data

Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta dilaksanakan pada tanggal 15-31 Januari 2020. *Tracking* garis pantai dilakukan sepanjang Pantai Depok dan pengolahan data foto udara dilakukan di instansi Parangtritis Geomaritime Science Park (PGSP) Yogyakarta.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Garis Pantai

Pantai merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh proses dinamika pesisir (Sugiarta, 2018). Garis pantai merupakan garis batas antara darat dan laut yang posisinya selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi muka air laut akibat pasang surut (Surya, 2017). Penentuan garis pantai mengacu pada tiga kedudukan garis pantai yaitu garis pantai saat surut terendah, tinggi muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*), dan saat pasang tertinggi (Auliya *et al.*, 2017).

Proses tergerusnya garis pantai dan bertambahnya daratan merupakan proses yang umumnya terjadi secara alami (Setiawati, 2012). Akresi ditunjukkan dengan mengendapnya material sedimen di sungai maupun laut (Setiyowati, 2016). Perubahan garis pantai terjadi akibat besarnya sedimen menuju maupun meninggalkan pantai sehingga faktor seperti arus, gelombang maupun pasang surut mempengaruhi adanya perubahan garis pantai. Gelombang dan arus yang terus menghantam bibir pantai terutama pada pantai yang memiliki kemiringan landai menyebabkan terjadinya abrasi, sedangkan akresi terjadi akibat adanya penumpukan sedimen di pantai melalui muara sungai (Sihombing *et al.*, 2017).

2.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan teknologi dalam mengidentifikasi suatu objek permukaan bumi tanpa melalui kontak langsung dengan objek tersebut (Setiawati, 2012). Penggunaan citra penginderaan jauh menyediakan data dinamika pesisir suatu kawasan dengan didukung adanya data temporal (perulangan) yang dapat dimanfaatkan untuk pengamatan. Cakupan wilayah yang luas serta bentuk data digital memudahkan dalam pengamatan karena dapat ditampilkan sesuai kebutuhan (Surya, 2017). Citra penginderaan jauh untuk

perubahan garis pantai dapat memberikan informasi spasial berupa jarak perubahan yang telah terjadi (Sugiarta, 2018). Salah satu citra penginderaan jauh yaitu data foto udara hasil pemotretan menggunakan pesawat nirawak (UAV).

2.2.1 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Pesawat nirawak (UAV) merupakan wahana yang dapat digunakan berulang kali dengan kendali pilot dari jarak jauh (Auliya *et al.*, 2017). Pesatnya pemanfaatan UAV dalam dunia penginderaan jauh terjadi karena UAV sangat mendukung dalam pengamatan suatu lokasi atau peristiwa dengan lebih jelas.

Peningkatan penggunaan UAV didukung beberapa keunggulan diantaranya wahana yang lebih murah dan mudah dibandingkan penggunaan satelit, sensor yang kecil, adanya GPS, dan peningkatan perangkat keras pendukung lainnya.

Sensor UAV yang sangat terbatas terus dikembangkan, berbeda dengan satelit yang memiliki berbagai jenis sensor (Ramadhani *et al.*, 2015).

Sistem UAV menggunakan wahana berukuran kecil sampai sedang, hal ini mengacu pada kemampuan mengangkat beban (*payload*) dari wahana tersebut.

Kamera non metrik masih menjadi pilihan karena ringan serta biaya yang lebih murah tetapi menghasilkan resolusi spasial yang masih tergolong tinggi sehingga

mampu menghasilkan data foto udara (*orthophoto*) dan model permukaan digital (DSM) (Nafiah *et al.*, 2017). Keunggulan lain dari UAV yaitu memiliki operasional

yang cepat, kemampuan terbang yang rendah untuk mendapatkan resolusi spasial yang tinggi terutama pada wilayah dengan keterbatasan persediaan data.

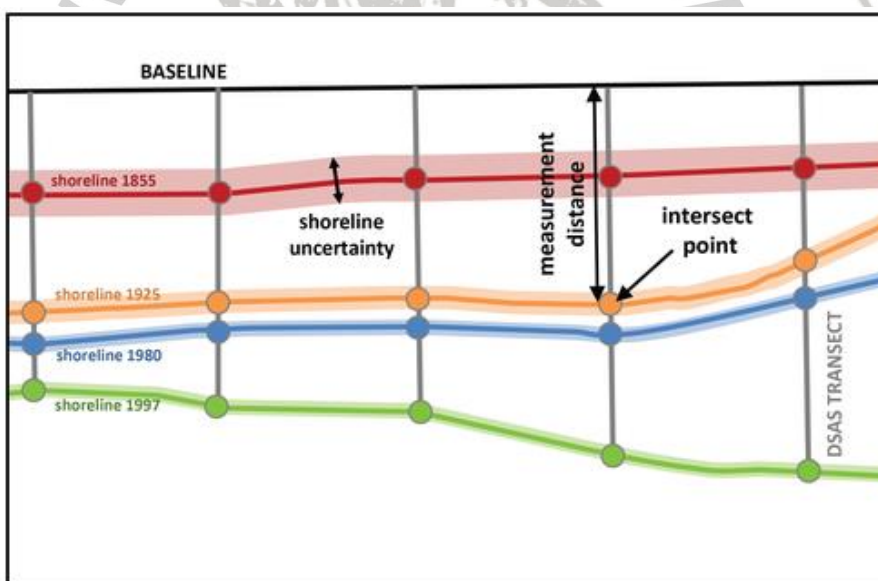
2.3 *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*

Digital Shoreline Analysis System merupakan perangkat lunak tambahan pada ArcGIS yang dikembangkan oleh ESRI dan USGS. DSAS merupakan

aplikasi yang secara statistik digunakan untuk menghitung perubahan garis pantai dengan acuan pengukuran berupa titik transek. Parameter pada DSAS yang

digunakan untuk menghitung perubahan garis pantai yaitu *baseline* sebagai acuan titik 0 pengukuran, *shorelines* yaitu garis pantai yang dilakukan pengukuran, dan transek yang membagi menjadi beberapa pias pada garis pantai dengan jarak dan panjang transek yang dapat disesuaikan (Fuad *et al.*, 2019).

Metode analisis DSAS yang biasanya digunakan yaitu *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End Point Rate (EPR)* dan *Linear Regression Rate (LRR)*. NSM digunakan untuk perhitungan jarak perubahan garis pantai terlama dan terbaru, EPR untuk perhitungan laju perubahan garis pantai tiap tahunnya dan LRR untuk prediksi perubahan garis pantai di tahun mendatang menggunakan regresi linear (Istiqomah *et al.*, 2016). Komponen parameter *Digital Shoreline Analysis System* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen Parameter DSAS
 Sumber: (USGS, 2019)

2.4 Faktor Hidro-oseanografi

Beberapa faktor fisik perairan seperti arus, gelombang dan pasang surut membentuk pola sirkulasi air dekat pantai yang khususnya berpengaruh terhadap



pergerakan sedimen di sekitar pantai. Adapun penjelasan terkait faktor fisik perairan sebagai berikut:

2.4.1 Arus

Arus adalah gerakan massa air secara vertikal maupun horizontal di perairan pada kedalaman kurang dari 200 m yang disebabkan adanya angin yang bertiup di atasnya (Daruwedho *et al.*, 2016). Gelombang juga dapat menimbulkan arus pantai (*nearshore current*) yang memiliki pengaruh terhadap proses sedimentasi maupun abrasi pantai. Pola arus ini ditentukan dari sudut yang dibentuk antara gelombang datang dengan garis pantai. Tinggi dan sudut gelombang pecah dapat menentukan kecepatan arus sepanjang pantai (Astuti *et al.*, 2016). Sudut datang gelombang yang kecil akan membentuk *rip current*, yaitu arus balik yang sangat kuat yang melewati celah sempit dengan arah menjauhi pantai. Arus menyusur pantai (*longshore current*) merupakan arus yang memberikan pengaruh besar dalam transpor sedimen di pantai. Faktor lain yang berperan sebagai pembangkit arus yaitu pasang surut yang dipengaruhi oleh dasar perairan. Arus pasang surut kuat saat sampai permukaan dan menurun kekecepatannya saat mendekati dasar perairan (Setiyowati, 2016).

Pada daerah pantai terdapat arus tegak lurus dan arus sejajar pantai. Arus tegak lurus pantai mengangkat partikel dekat permukaan, sedangkan arus sejajar pantai mengangkut sedimen sepanjang garis pantai. Angkutan sedimen sejajar pantai lebih memberikan dampak dibandingkan dengan arus tegak lurus pantai.

Pantai dengan ukuran butir sedimen halus dan kondisi arus yang kuat, akan cenderung mengalami erosi pantai. Analisa hubungan antara kecepatan arus dengan ukuran butir dapat dilakukan dengan menggunakan diagram Hjulstrom (Hidayati, 2017). Berdasarkan kekecepatannya, arus dikategorikan menjadi empat yaitu arus lambat 0 sampai 0,25 m/s, arus sedang 0,25 sampai 0,50 m/s, arus

cepat 0,50 sampai 1 m/s dan arus sangat cepat dengan kecepatan lebih dari 1 m/s

(Kurniawan *et al.*, 2015). Penentuan arah arus laut dihitung berdasarkan persamaan kuadran arus yaitu kuadran I, II, III dan IV (Daruwedho *et al.*, 2016).

2.4.2 Pasang Surut

Pasang surut merupakan gerakan naik turunnya permukaan air laut akibat pengaruh gaya gravitasi dan gaya tarik menarik antara matahari, bumi dan bulan.

Bumi mengitari matahari dan tetap pada orbitnya akibat gaya gravitasi antara keduanya, hal itu juga berlaku pada bumi dan bulan. Hal ini mengakibatkan perbedaan akumulasi air antara sisi dekat dan jauhnya.

Saat bulan dan matahari berada pada satu garis lurus, terjadi pasang laut purnama (*spring tide*) yang menghasilkan pasang lebih tinggi dan surut lebih rendah, sedangkan saat posisi bulan dan matahari membentuk sudut, terjadi pasang laut perbani (*neap tide*) yang menghasilkan surut lebih tinggi dan pasang lebih rendah (Nafiah *et al.*, 2017). Kondisi pasang surut dapat merubah kedudukan garis pantai. Hal ini dikarenakan ketika terjadi pasang maka garis pantai akan berkedudukan di garis saat pasang dan sebaliknya (Winarso *et al.*, 2009).

Tipe pasang surut air laut dapat ditentukan dengan nilai *Formzahl*. Nilai *Formzahl* didapatkan dari perhitungan nilai komponen harmonik pasang surut (Fadilah *et al.*, 2014). Nilai *Formzahl* memiliki rentang nilai tertentu untuk menentukan tipe pasang surut air laut yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tipe Pasang Surut Berdasarkan Nilai *Formzahl*

Nilai <i>Formzahl</i>	Tipe Pasang Surut	Keterangan
$0,00 < F \leq 0,25$	Harian ganda (<i>Semidiurnal tides</i>)	Terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari
$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran harian ganda (<i>Mixed tides prevailing semidiurnal</i>)	Terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan bentuk gelombang asimetris dalam satu hari



Nilai <i>Formzahl</i>	Tipe Pasang Surut	Keterangan
$1,50 < F \leq 3,00$	Campuran condong harian tunggal (<i>Mixed tides prevailing diurnal</i>)	Terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan bentuk gelombang asimetris dalam satu hari
$F > 3,00$	Harian tunggal (<i>Diurnal tides</i>)	Terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari

Sumber: Fadilah *et al.*, 2014

2.4.3 Gelombang

Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Gelombang dibangkitkan oleh beberapa faktor diantaranya pasang surut, gelombang tsunami dan angin yang merupakan faktor paling dominan dalam membangkitkan gelombang. Angin di permukaan laut mentransfer energinya ke perairan sehingga menimbulkan riak-riak yang berubah menjadi gelombang. Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat lemahnya gelombang angin yaitu kecepatan angin, lamanya angin berhembus dan *fetch*. *Fetch* merupakan jarak tempuh gelombang dari awal pembangkitnya. Tiupan angin yang semakin lama akan menghasilkan energi yang semakin besar untuk membangkitkan gelombang. Tinggi dan periode gelombang tergantung panjang *fetch* pembangkitnya. Semakin panjang jarak *fetch*-nya, tinggi gelombang yang dihasilkan semakin besar (Kurniawan *et al.*, 2011). Tinggi, periode dan durasi gelombang dapat diketahui menggunakan nilai *fetch* efektif dalam peramalam gelombang (Ondara dan Husrin, 2017).

Gelombang laut relatif datar bersifat membangun dan gelombang laut curam bersifat merusak. Hal ini disebabkan energi gelombang yang tergantung pada tinggi dan periode gelombang. Semakin besar periode gelombang maka semakin panjang gelombang yang dihasilkan dan merambat lebih cepat (Ayunarita *et al.*, 2017). Penyebaran energi gelombang merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya abrasi pantai yang dapat mempengaruhi bentuk pantai. Tinggi



gelombang di laut dalam lebih kecil dibandingkan tinggi gelombang pecah.

Kecepatan gelombang yang menuju perairan dangkal semakin berkurang tetapi energi yang dihasilkan bertambah besar, hal ini menyebabkan semakin tinggi gelombang menuju pantai (Astuti *et al.*, 2016). Analisa statistik gelombang baik secara spasial maupun temporal meliputi karakteristik tinggi, arah datang dan periode gelombang. Analisa spasial gelombang memberikan informasi tentang kejadian gelombang berdasarkan sebarannya, sedangkan analisa temporal gelombang berdasarkan waktu kejadiannya (Hidayati, 2017).

Gelombang dengan ketinggian kurang dari satu meter merupakan gelombang pembentuk pantai, dikarenakan saat gelombang pecah di pantai, sedimen yang terangkut tertinggal di pantai (Ayunarita *et al.*, 2017). Gelombang yang mempunyai periode antara 1 sampai 10 detik merupakan gelombang yang faktor pembangkit utamanya adalah angin (Astuti *et al.*, 2016). Klasifikasi angin dilakukan untuk memberikan nilai pada kecepatan angin. Klasifikasi kecepatan angin dapat ditentukan berdasarkan skala Beaufort (Aji dan Cahyadi, 2015) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Kecepatan Angin Menurut Skala Beaufort

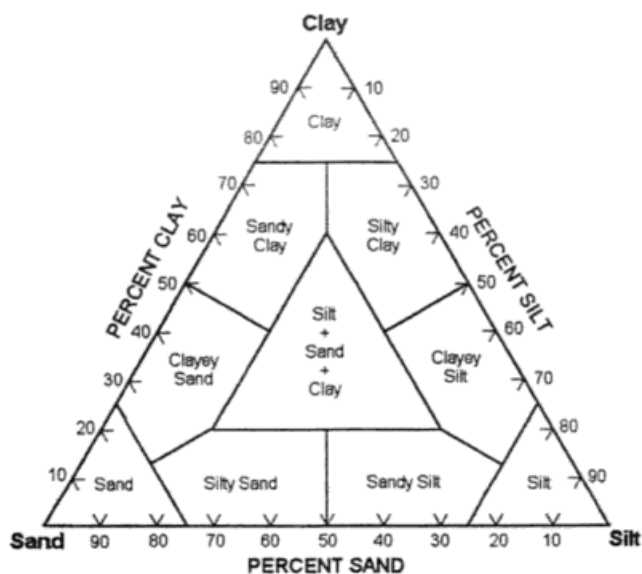
Skala Beaufort	Deskripsi	Kecepatan Angin (m/s)	Tinggi Gelombang (m)
1	Tenang	0 -0,3	0
2	Sedikit tenang	0,3 -1,5	0 -0,2
3	Sedikit Hembusan angin	1,5 -3,3	0,2 -0,5
4	Hembusan angin Pelan	3,3 -5,5	0,5 -1
5	Hembusan angin Sedang	5,5 -8	1 -2
6	Hembusan Angin Sejuk	8 -10,8	2 -3
7	Hembusan Angin Kuat	10,8 -13,9	3 -4
8	Mendekati Kencang	13,9 -17,2	4 -5,5
9	Kencang	17,2 -20,7	5,5 -7,5
10	Kencang sekali	20,7 -24,5	7,5 -10
11	Badai	24,5 -28,4	10 -12,5
12	Badai dasyat	28,4 -32,6	12,5 -16
13	Badai topan	>32,6	>16

Sumber: Aji dan Cahyadi, 2015

2.5 Sedimen

Sedimen laut merupakan kumpulan mineral dan pecahan batuan yang bercampur dengan pecahan cangkang serta tulang dari organisme laut dan partikel lain yang terbentuk melalui proses kimia di laut. Transpor sedimen sepanjang pantai merupakan gerakan sedimen yang terjadi akibat gelombang dan arus. Gelombang yang pecah menuju pantai menimbulkan arus sejajar pantai ataupun tegak lurus pantai. Gelombang pecah mengaduk sedimen pantai, sehingga terjadi perpindahan sedimen dasar yang menyebabkan sedimentasi di suatu bagian pantai dan abrasi pada bagian lainnya yang menyebabkan perubahan garis pantai (Astuti *et al.*, 2016).

Distribusi ukuran butir sedimen dapat diketahui menggunakan metode granulometri. Pemisahan ukuran butir dilakukan menggunakan ayakan bertingkat dengan *Sieve Shaker*. Klasifikasi ukuran butir dilakukan berdasarkan klasifikasi Wentworth (1922) (Hidayati, 2017). Penentuan jenis sedimen ini dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi Segitiga Shepard. Segitiga ini mengklasifikasikan jenis sedimen menjadi 3 jenis yaitu: *sand*, *silt* dan *clay* (Gambar 2).



Gambar 2. Segitiga Shepard (Sumber: Hidayati, 2017)

Klasifikasi ukuran butir sedimen didasarkan pada skala Wentworth yang membagi ukuran butir kedalam 4 kelas ukuran berdasarkan diameter partikel, yaitu: lumpur (kurang dari 0,06 mm), pasir (antara 0.05 - 2 mm), kerikil (antara 2 dan 64mm), dan batu (lebih besar dari 64 mm). Tabel klasifikasi butir sedimen (Wentworth, 1922) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen Menurut Skala Wentworth

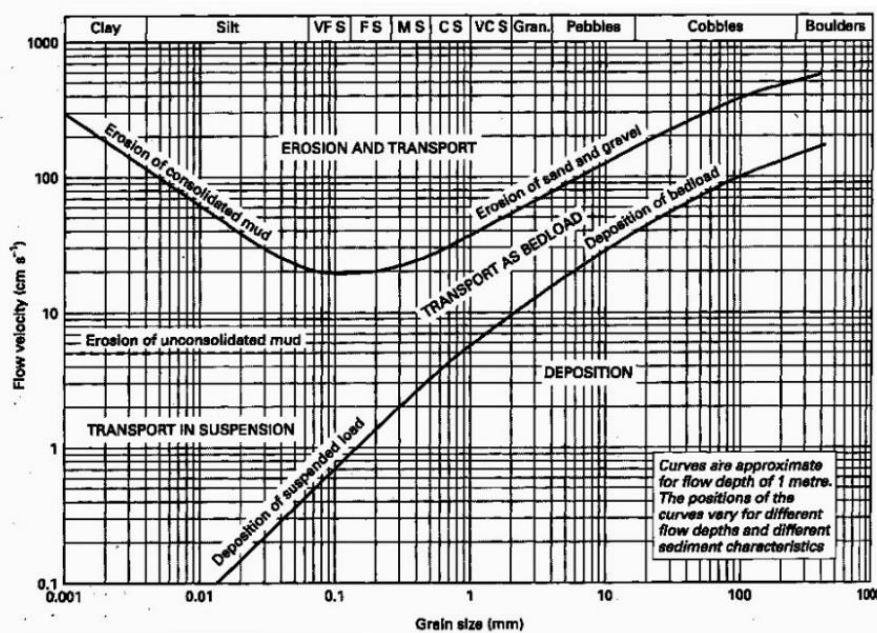
Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (φ)	Wentworth size class	Rock type	
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia	
256		-8.0	Cobble		
64		-6.0	Pebble		
4		-2.0	Granule		
2.00		-1.0	Very coarse sand	Sandstone	
1.00		0.0	Coarse sand		
1/2	0.50	1.0	Medium sand		
1/4	0.25	2.0	Fine sand		
1/8	0.125	3.0	Very fine sand		
1/16	0.0625	4.0	Coarse silt	Siltstone	
1/32	0.031	5.0	Medium silt		
1/64	0.0156	6.0	Fine silt		
1/128	0.0078	7.0	Very fine silt		
1/256	0.0039	8.0	Clay	Mud	Claystone
	0.00006	14.0			

Sumber: Wentworth, 1922

Analisa statistik sedimen dilakukan dengan beberapa macam parameter. Ada 4 macam parameter statistik ukuran butir, yaitu: *Mean* (nilai rata-rata), *Sorting* (pemilahan), *Skewness* (tingkat kemiringan/kecondongan), dan *Kurtosis* (keruncingan) (Hidayati, 2017). Transpor sedimen dapat dijelaskan menggunakan diagram Hjulstrom. Diagram ini menjelaskan hubungan arus dengan diameter ukuran butir sedimen rata-rata untuk melihat pola transpor sedimen. Diagram Hjulstrom banyak digunakan untuk menentukan apakah perairan cenderung erosi, tertranspor, atau terdeposisi. Grafik Hjulstrom berupa grafik logaritmik dengan dua garis grafik yang sama, yaitu garis atas dan bawah. Kurva atas menunjukkan kecepatan erosi kritis (dalam cm/s) sebagai fungsi dari ukuran partikel (dalam



mm). Sedangkan kurva yang lebih rendah menunjukkan kecepatan pengendapan dari ukuran partikel. Diagram Hjulstrom dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Hjulstrom
(Sumber: Hidayati, 2017)

2.6 Pembagian Musim

Gerak semu matahari yang melalui khatulistiwa menyebabkan Indonesia memiliki dua musim yaitu musim penghujan (musim barat) dan kemarau (musim timur). Perairan yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia sangat dipengaruhi oleh angin muson, yaitu angin yang berhembus dengan rentang minimal tiga bulan dengan pola angin yang berlawanan (Daruwedho *et al.*, 2016).

Siklus angin muson ini berpengaruh terhadap pergerakan angin yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan arah arus permukaan (Fadika *et al.*, 2014).

Angin muson barat merupakan angin yang bertiup dari barat ke timur yang menyebabkan arus bergerak dari Benua Asia menuju Australia. Angin muson barat terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari, sedangkan angin muson timur merupakan angin yang bertiup dari timur ke barat yang menyebabkan arus bergerak dari arah Benua Australia menuju Asia.

Angin muson timur terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal terjadi pada bulan Juli (Fadika *et al.*, 2014).

Musim peralihan merupakan musim yang terjadi saat adanya perubahan dari angin muson barat ke timur (peralihan I) atau dari muson timur ke muson barat (peralihan II). Musim peralihan memiliki pergerakan arus tidak teratur dengan kecepatan arus yang lemah hampir di seluruh perairan Indonesia. Biasanya bertiup antara Maret-Mei untuk musim peralihan I dan September-November untuk musim peralihan II (Daruwedho *et al.*, 2016). Musim barat memiliki kecepatan angin tertinggi dibandingkan musim lainnya (Bambulu *et al.*, 2017).

2.7 Muara Sungai

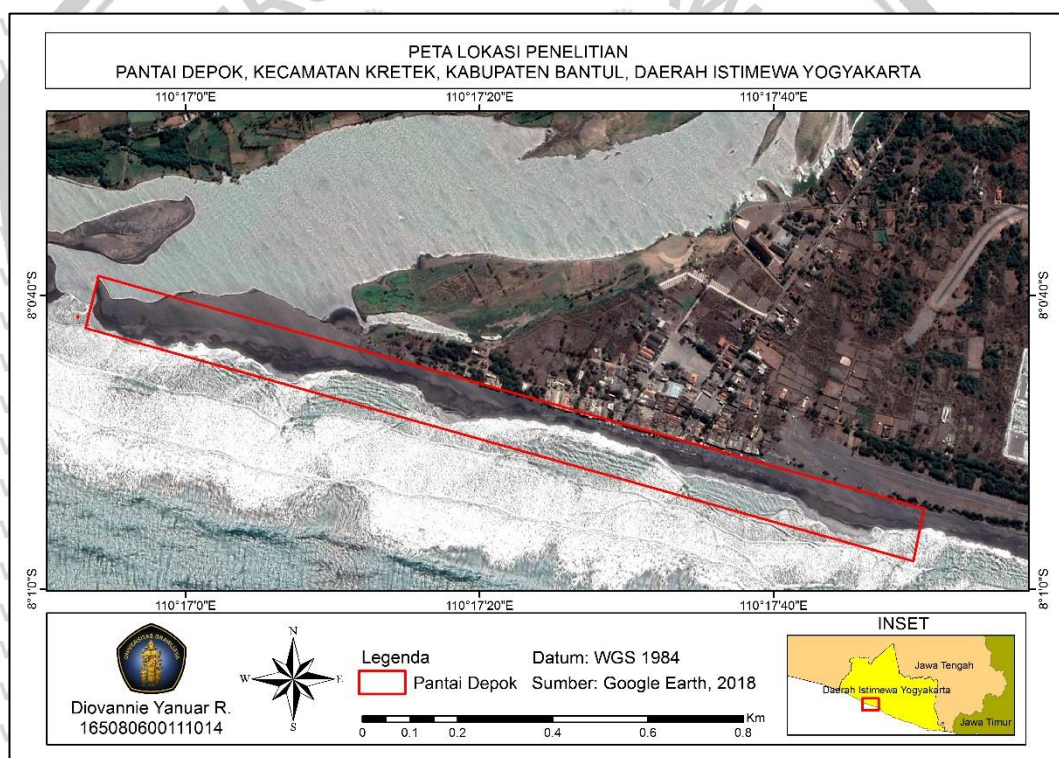
Sungai merupakan aliran air dari hulu ke hilir yang membawa material sedimen berupa hasil erosi dari sungai itu sendiri maupun dari permukaan tanah saat aliran *surface rain off* (Wardhana, 2015). Muara sungai biasanya dipengaruhi oleh gelombang, arus maupun pasang surut yang menyebabkan perubahan pada daerah pesisir. Sedimentasi pada muara sungai terjadi karena pengaruh yang besar dari daratan yang terbawa akibat pengikisan oleh arus sungai.

Sungai besar di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta adalah Sungai Opak, dengan panjang aliran ± 65 km dan luas daerah aliran $\pm 1398,18$ km² dengan anak sungai, antara lain Sungai Oyo, Winongo, Code, Gajahwong, dan Sungai Tambakbayan. Hulu sungai berada di Kabupaten Sleman dan hilir sungai berada di Kabupaten Bantul. Sungai yang bermuara di selatan Pulau Jawa mempunyai muara yang sering berpindah akibat pengendapan sedimen di muara sungai yang disebabkan aliran sungai yang membawa sedimen dan sedimen yang bergerak sepanjang pantai (*longshore sediment transport*). Banjir merupakan salah satu akibat dari pengendapan sedimen tersebut, salah satunya seringkali terjadi di muara Sungai Opak (Wardhana, 2015).

3. METODE PENELITIAN

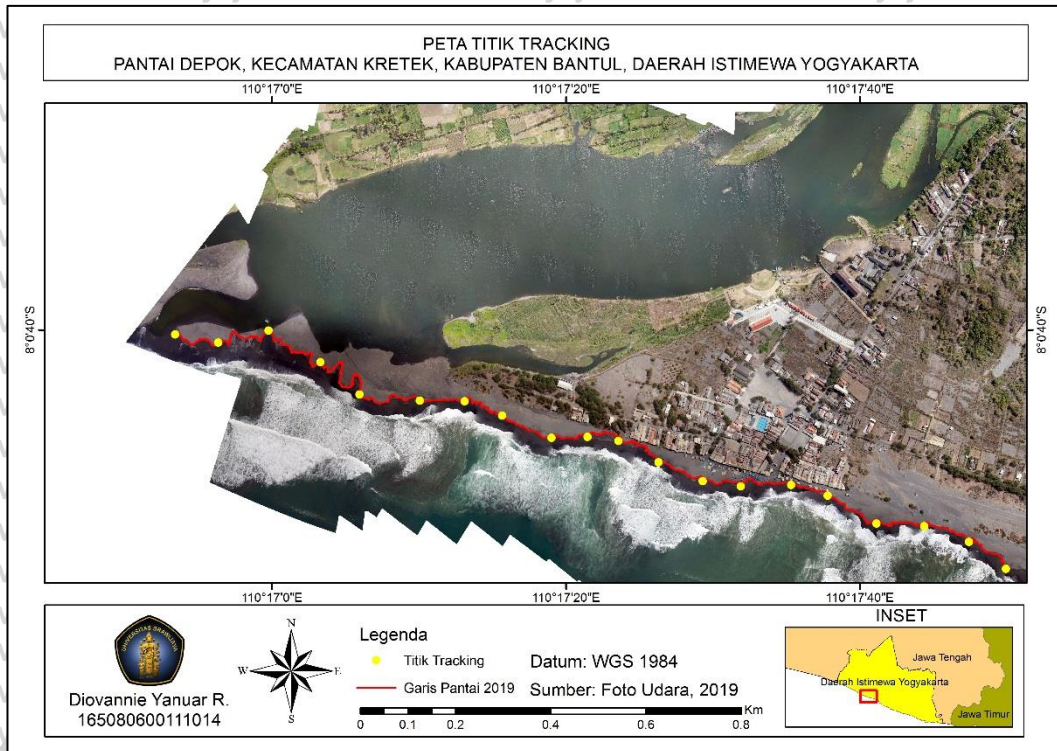
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 15-31 Januari 2020. *Tracking* garis pantai dilaksanakan di sepanjang Pantai Depok yang dimulai dari muara Sungai Opak, dengan panjang garis pantai kurang lebih 1,8 km sedangkan pengolahan data foto udara dilakukan di Parangtritis Geomaritime Science Park (PGSP) Yogyakarta. Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu pengambilan data lapang, pengolahan data citra dan data pendukung. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

Berikut merupakan titik pengamatan *tracking* garis pantai yang terdiri dari 20 titik (Gambar 5) menggunakan data foto udara hasil pemotretan UAV tahun 2019 sekitar pukul 09:00 – 10.00 WIB. Kegiatan *tracking* garis pantai bertujuan untuk validasi data lapang menggunakan *Avenza Maps*.



Gambar 5. Titik Pengamatan *Tracking* Garis Pantai

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan dalam proses pengambilan data lapang dan pengolahan data. Alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

3.2.1 Alat Penelitian Lapang

Alat yang digunakan dalam proses pengambilan data lapang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Alat Penelitian Lapang

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Avenza Maps	-	Validasi lapang hasil pembuatan titik koordinat garis pantai dari data foto udara
2	Alat Tulis	-	Mencatat data lapang
3	Kamera Handphone	13 Megapixel	Mendokumentasikan kegiatan

3.2.2 Alat dan Bahan Pengolahan Data

Alat yang digunakan dalam pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Alat Penelitian Pengolahan Data

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Laptop	O.S: <i>Windows 8 Pro</i> 64-bit RAM: 2 GB	Untuk proses pengolahan data
2	Komputer	O.S: <i>Windows 10</i> 64-bit RAM: 16 GB	Untuk proses segmentasi dan klasifikasi data foto udara
3	<i>Microsoft Excel</i>	<i>Microsoft Office 2016</i>	Membuat grafik dan melakukan perhitungan data perubahan garis pantai serta data hidro-oseanografi
4	<i>Microsoft Word</i>	<i>Microsoft Office 2016</i>	Untuk pembuatan laporan
5	<i>ArcMap</i>	<i>ArcGIS</i> Versi 10.3	Mengolah data perubahan garis pantai dan <i>layouting</i> peta
6	<i>Agisoft PhotoScan</i>	Versi 1.1.6	Mengolah data foto udara menjadi <i>orthophoto</i>
7	<i>eCognition Developer</i>	Versi 9.01	Untuk analisis citra berbasis objek (OBIA)
8	<i>Surfer</i>	Versi 10	Membuat kontur dan vektor arus
9	<i>Ocean Data View</i>	Versi 4	Memperoleh data <i>longitude</i> dan <i>latitude</i> koordinat perairan
10	<i>WRPLOT View</i>	Versi 7.0	Untuk membuat <i>windrose</i> data angin

Bahan dalam pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Bahan Penelitian Pengolahan Data

No	Bahan	Sumber Data	Fungsi
1	Data Foto Udara UAV tahun 2009, 2015 dan 2019	PGSP	Data yang digunakan untuk mengetahui perubahan garis pantai
2	Citra <i>Google Earth</i> tahun 2014 dan 2018	<i>Google Earth Pro</i>	Data untuk mengetahui evolusi yang terjadi pada Sungai Opak
3	Data Pasang Surut tahun 2009, 2015 dan 2019	Badan Informasi Geospasial	Data yang digunakan untuk koreksi pasang surut
4	Data Arus tahun 2019	OSCAR	Data untuk mengetahui pergerakan arus



No	Bahan	Sumber Data	Fungsi
5	Data Gelombang bulan Agustus 2019	ECMWF	Data untuk mengetahui tinggi gelombang
6	Data Angin bulan Agustus 2019	ECMWF	Data untuk mengetahui arah dan kecepatan angin
7	Peta Administrasi Kabupaten Bantul	Peta Rupa Bumi Indonesia	Menampilkan batas wilayah administrasi

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian tentang Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta melalui beberapa tahapan dari pengambilan, pengolahan dan analisis data.

3.3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian meliputi pengambilan data foto udara hasil pemotretan dengan UAV, data pasang surut, arus, gelombang dan angin serta kondisi lapang (*tracking* garis pantai).

3.3.1.1 Data Foto Udara (UAV)

Data foto udara yang digunakan dalam penelitian merupakan data temporal berjumlah tiga citra yaitu tahun perekaman 2009, 2015, dan 2019 (Tabel 7). Laju perubahan garis pantai karena angkutan sedimen menyusur pantai dinyatakan dalam indeks ancaman laju kemunduran garis pantai dalam 5 tahun terakhir sesuai dengan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 21 Tahun 2018 Pasal 7 (1). Pemilihan tahun 2009, 2015, dan 2019 ini juga menyesuaikan ketersediaan data foto udara yang mencakup kawasan Pantai Depok. Data tersebut didapatkan dari hasil pemotretan menggunakan UAV milik Parangtritis Geomaritime Science Park.

Tabel 7. Spesifikasi Data Foto Udara

Waktu Akuisisi data		Jenis UAV	Resolusi Spasial (cm)	Ketinggian (m)	Overlap (%)
(dd/mm/yyyy)	(hh:mm)				
11/06/2009	07:00 WIB	<i>Fixed wing</i>	60	500	70
01/10/2015	07:00 WIB	Aves mk 14 mini (<i>fixed wing</i>)	8	280	Endlap: 80 Sidelap: 60
15/08/2019	09:00 WIB	<i>Skywalker (fixed wing)</i>	7,5	300	70

Wahana yang digunakan saat pengambilan data foto udara tahun 2015 adalah UAV tipe Aves mk 14 mini. Pemotretan dilakukan pada pukul 07.00-10.00 WIB. UAV ini memiliki bentang sayap 950 mm dengan daya jelajah lebih dari 30 km dan kecepatan jelajah maksimal 50 km/jam. Berat terbang UAV sebesar 1000 gram, sedangkan beban angkutnya 150 gram. Perekaman yang digunakan adalah kamera jenis Canon PS 2500 dengan resolusi 16 *Megapixel* dan memiliki dimensi 4608 x 3456 *pixel*. Ketinggian pesawat diatur pada ketinggian 280 m diatas permukaan tanah untuk menghasilkan foto udara dengan resolusi spasial dibawah 10 cm. Arah jalur terbang diatur memotong arah angin (*cross wind*). Luas satu kali potret adalah 1 x 1 km, sehingga diperlukan beberapa kali pemotretan udara. Jumlah *Ground Control Point* (GCP) yang direkam adalah 9 titik sehingga akurasi 3D yang dihasilkan dapat maksimal (Maulana dan Wulan, 2015).

Pengambilan data foto udara tahun 2019 menggunakan wahana UAV tipe *Skywalker*. Pemotretan dilakukan mulai pukul 09.00 - 10.00 WIB. UAV ini memiliki bentang sayap 1680 mm dan panjang 1180 mm. Berat terbang UAV adalah 1200 gram dan mampu mencapai berat terbang maksimum yaitu 2,3 kilogram (Gularso *et al.*, 2015). Jumlah GCP yang dibuat adalah 25 titik sehingga akurasi yang dihasilkan lebih maksimal. Kamera perekaman foto udara yang digunakan berjenis Sony A 5000. Jenis UAV ini memiliki ketahanan terbang kurang lebih



selama 1 jam dengan daya jelajah hingga 40 km. Pesawat diatur pada ketinggian 300 m di atas permukaan tanah dengan *overlap* diatur sebesar 70%.

Overlap merupakan pertampalan antar foto-foto yang berurutan pada suatu jalur terbang. *Overlap* yang umum digunakan adalah 70%. *Overlap* terbagi menjadi dua jenis yaitu *endlap* dan *sidelap*. *Endlap* merupakan *overlap* pada satu kali terbang yang berada pada jalur terbang yang sama, sedangkan *sidelap* (pertampalan ke samping) merupakan *overlap* diantara dua garis terbang.

Semakin tinggi nilai *overlap* maka hasil *orthophoto* semakin maksimal. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalisir variasi posisi dan celah akibat pengaruh angin, ketinggian yang menyebabkan penyimpangan pemotretan UAV dari jalur terbang yang telah dibuat (Putri *et al.*, 2017).

3.3.1.2 Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengambilan data pasang surut dilakukan dengan mengunduh data pada laman <http://tides.big.go.id/>. Terdapat beberapa data pasang surut yang diunduh sesuai data perekaman foto udara yaitu pasang surut bulan Juni 2009, Oktober 2015 dan Agustus 2019.

3.3.1.3 Data Arus

Data arus sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari PODAAC (*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*) melalui laman <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov>. Data arus yang diunduh yaitu data tahun 2019 untuk dibuat peta sebaran arus berdasarkan musim, arus saat pemotretan UAV serta arus rata-rata tahun 2019 yang mencakup wilayah Pantai Depok, Yogyakarta.

3.3.1.4 Data Gelombang dan Angin

Data gelombang dan angin diperoleh dari ECMWF (*European Center Medium-Range Weather Forecasts*) pada laman <http://www.ecmwf.int/>. Data yang

diunduh adalah data bulan Agustus 2019 dengan parameter diantaranya 10 metre

U wind component, 10 metre *V wind component*, dan *mean wave direction*. Area

yang dipilih yaitu Indonesia dengan grid $0.125^\circ \times 0.125^\circ$. Data gelombang dan angin yang digunakan hanya satu titik koordinat dikarenakan sudah mendekati perairan Pantai Depok yang tidak terlalu luas.

3.3.1.5 Tracking Garis Pantai

Pengamatan kondisi lapang berupa *tracking* garis pantai dilakukan dengan menggunakan *Avenza Maps*. Pada data foto udara tahun 2019 dibuat titik-titik pengamatan sejumlah 20 titik dan dicatat koordinatnya untuk dilakukan validasi lapang. Jumlah titik pengamatan ini diambil dengan pertimbangan pantai yang tidak terlalu panjang dan titik tersebut sudah mewakili area-area yang ada di sepanjang Pantai Depok dengan jarak antar titik kurang lebih 100 meter.

3.3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data terdiri dari pengolahan data foto udara dan hidro-oseanografi diantaranya arus, pasang surut, gelombang dan angin.

3.3.2.1 Pengolahan Data Foto Udara

Pengolahan data pemotretan UAV untuk memperoleh *orthophoto* dilakukan menggunakan *Agisoft PhotoScan* dengan melalui beberapa tahapan yaitu proses

Alignment untuk identifikasi titik-titik yang ada di gambar dan menjadikan foto berkesinambungan, *Build Dense Cloud* merupakan kumpulan titik dalam jumlah ribuan hingga jutaan, *Build Mesh* merupakan proses untuk membuat DEM, DTM, dan *orthophoto*, *Build Texture* merupakan model 3D dari penampakan area yang dicakup oleh foto udara, dan *Build Orthophoto* untuk menghasilkan data *orthophoto*. Selanjutnya data foto udara dilakukan proses segmentasi menggunakan algoritma *Multiresolution Segmentation* dengan *scale* 100, *shape*

0,1 dan *compactness* 0,5 serta klasifikasi citra menggunakan klasifikasi *Nearest Neighbor* pada *eCognition Developer* untuk analisis citra berbasis objek (OBIA).

Proses digitasi garis pantai dilakukan dengan menggunakan *tools trace* pada *Arcmap*. Pada tahap DSAS dibuat *personal geodatabase* yang didalamnya terdapat *features class* berupa *baseline* dan *shoreline*. Selanjutnya dibuat transek untuk mengetahui titik mana yang mengalami abrasi maupun akresi paling tinggi.

Panjang garis transek yang digunakan yaitu 180 m, jarak tiap transeknya 30 m dan jumlah transek keseluruhan sebanyak 63 transek. Analisis statistik DSAS yang digunakan yaitu NSM dan EPR. Nilai NSM didapatkan dengan mengukur jarak perubahan posisi garis pantai antara garis terlama dan terbaru, sedangkan EPR menghitung laju perubahan garis pantai dengan membagi jarak antara garis pantai terlama dan terbaru dengan waktunya. Jarak yang bernilai positif menandakan garis pantai maju dan jarak yang bernilai negatif menandakan garis pantai mengalami kemunduran. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dibuat grafik perubahan garis pantai menggunakan *Microsoft Excel* sehingga diketahui titik lokasi perubahan garis pantai dengan abrasi maupun akresi tertinggi.

3.3.2.2 Pengolahan Data Arus

Pengolahan awal data arus dilakukan menggunakan ODV untuk menyimpan data menjadi format *text file* (.txt) dan *Microsoft Excel* untuk memasukkan nilai kecepatan, α dan arah arus. Data arus pada *Microsoft Excel* yang terdiri dari data *longitude*, *latitude*, U, V, kecepatan, α dan arah selanjutnya diolah pada *Surfer*, yaitu perangkat lunak untuk membuat kontur kecepatan dan vektor arah arus lokasi penelitian dengan kecepatan sebagai *input* sumbu Y dan arah sebagai *input* sumbu X. Data tersebut diolah dengan metode *Kriging* yaitu interpolasi geostatistik.

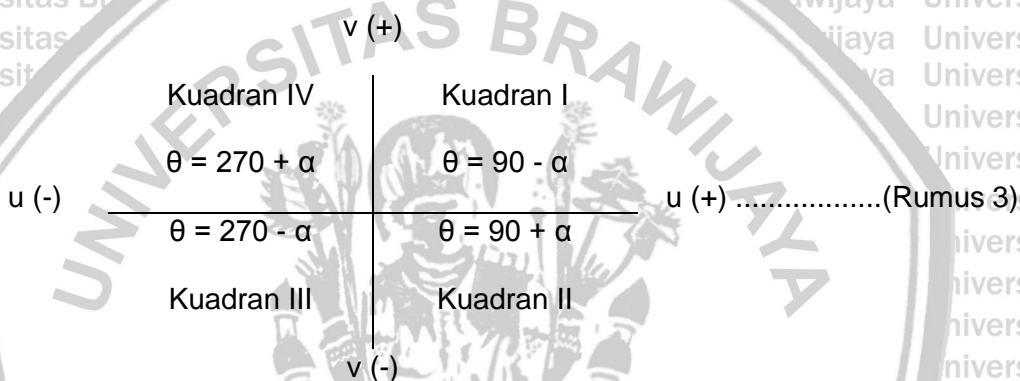
Nilai resultan kecepatan arus didapatkan dengan menghitung akar kuadrat dari komponen u dan v (Rumus 1) sebagai berikut:

$$c = \sqrt{u^2 + v^2} \dots \dots \dots \text{(Rumus 1)}$$

Setelah mendapatkan resultan kecepatan arus, kemudian cari nilai α dengan menggunakan rumus berikut:

$$\alpha = \arctan \frac{v}{u} \dots \dots \dots \text{(Rumus 2)}$$

Nilai α yang telah didapat digunakan untuk mengetahui pergerakan arah arus dengan menggunakan persamaan kuadran arus (Rumus 3) sebagai berikut:



Keterangan:

- c : Kecepatan resultan arus (m/s)
- α : Sudut sisi miring yang dibentuk dari nilai x dan y ($^{\circ}$)
- θ : Arah arus
- u : Komponen arus Timur-Barat (x) atau zonal (m/s)
- v : Komponen arus Utara-Selatan (y) atau meridional (m/s)

3.3.2.3 Pengolahan Data Pasang Surut

Metode *Admiralty* yang diolah pada *Microsoft Excel* digunakan untuk pengolahan data pasang surut. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai-nilai komponen harmonik pasang surut diantaranya M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, dan MS4. Nilai komponen harmonik yang telah diperoleh digunakan untuk mencari



nilai *Formzahl* (Rumus 4). Hasil dari nilai *Formzahl* (F) tersebut menunjukkan tipe pasang surut di lokasi penelitian.

$$F = \frac{K1+O1}{M2+S2} \dots\dots\dots (Rumus 4)$$

Keterangan:

F : Nilai *Formzahl*

K1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari

O1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

M2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

S2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

3.3.2.4 Pengolahan Data Gelombang

Pengolahan gelombang menggunakan ODV untuk menentukan titik lokasi sesuai daerah penelitian dan menyimpan data tersebut ke dalam format (.txt) yang kemudian dilanjutkan pada *Microsoft Excel*. Data yang diperlukan untuk membuat grafik gelombang adalah nilai dari tinggi dan periode gelombang, sedangkan pembuatan *windrose* data angin menggunakan data arah (°) dan kecepatan

(Rumus 5). Data kecepatan didapatkan dari rumus berikut:

$$c = \sqrt{u^2 + v^2} \dots\dots\dots (Rumus 5)$$

Keterangan:

c : Kecepatan resultan angin (m/s)

u : Kecepatan angin dalam arah vektor x pada ketinggian 10 meter (m/s)

v : Kecepatan angin dalam arah vektor y pada ketinggian 10 meter (m/s)



Peramalan gelombang dilakukan dengan menghitung nilai *fetch* efektif (Rumus 6). Panjang *fetch* didapatkan dengan menarik garis setiap 15° dari koordinat perairan Depok yang terletak pada *longitude* 110,25 dan *latitude* -8,125 menuju ke perairan terdekat. Pengambilan nilai 15° dilakukan mengingat angin bertiup dalam arah yang bervariasi, maka panjang *fetch* diukur dari titik pengamatan dengan interval tersebut. Nilai *fetch* efektif didapatkan dari rumus berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad \text{(rumus 6)}$$

Keterangan:

F_{eff} : *Fetch* efektif (m)

X_i : Panjang *fetch* (km)

α : Sudut deviasi (°)

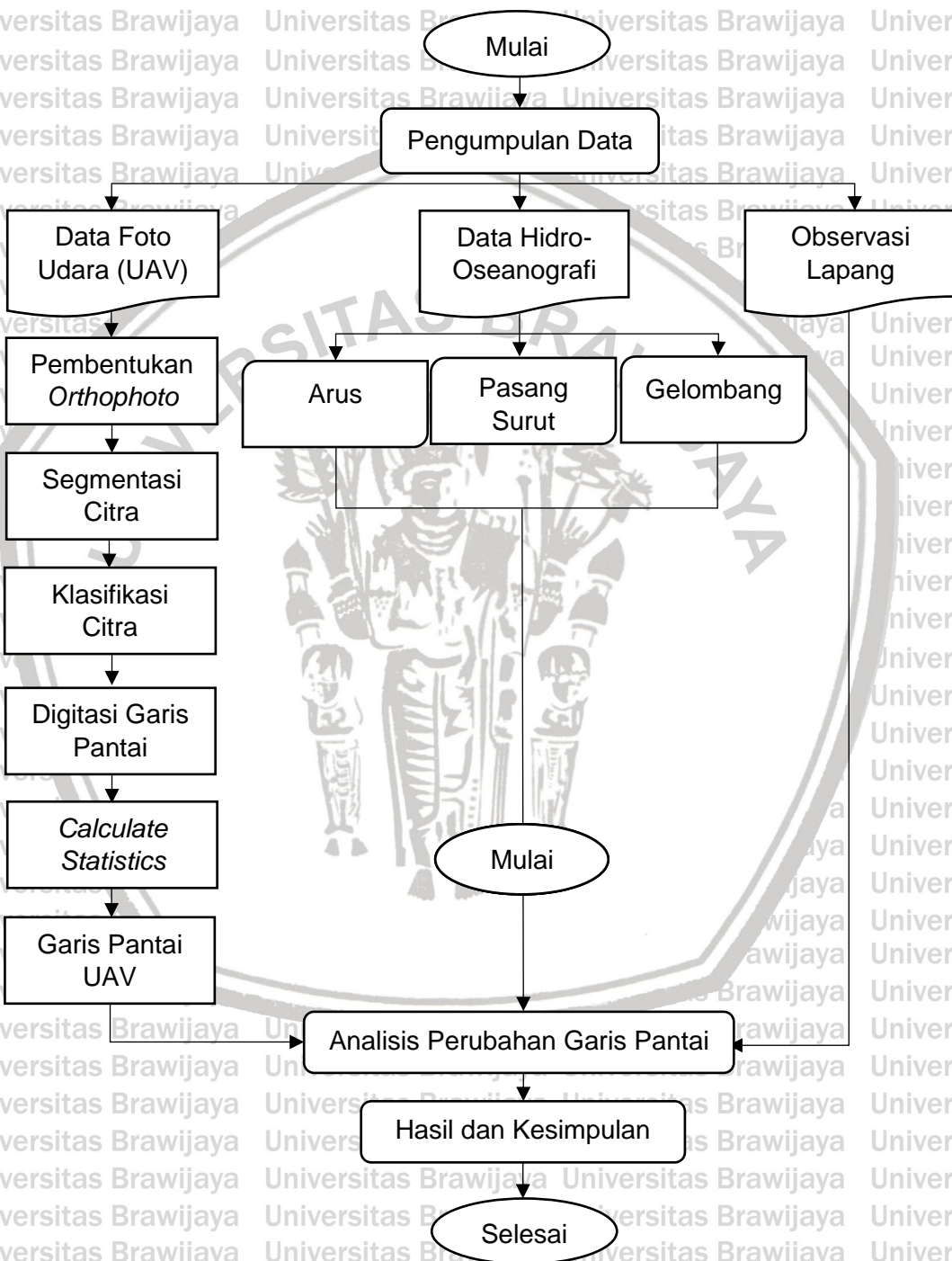
3.3.3 Analisis Data

Metode analisis data dilakukan dengan interpretasi *visual* pada peta dan grafik hasil dari pengolahan data. *Tools DSAS (Digital Shorelines Analysis System)* bertujuan untuk mengetahui nilai akresi dan abrasi yang terjadi pada setiap titik transek yang telah dibuat. Beberapa metode perhitungan statistik pada *tools DSAS (Digital Shorelines Analysis System)* yang digunakan adalah *End Point Rate (EPR)* untuk mengetahui laju perubahan garis pantai setiap tahunnya dan *Net Shoreline Movement (NSM)* untuk mengetahui jarak perubahan pada selang waktu terlama dan terbaru (Sugiarta, 2018).

Metode yang digunakan adalah deskriptif analitik, yaitu metode untuk mendeskripsikan kondisi lapangan dengan menganalisis hasil pengolahan data. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana tren perubahan garis pantai serta faktor yang mempengaruhinya.

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian tentang “Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Foto Udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di Kawasan Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta” ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Prosedur Penelitian



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Pantai Depok termasuk salah satu pantai di wilayah Desa Parangtritis, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi penelitian terletak pada koordinat $8^{\circ}00'40.3''$ LS - $8^{\circ}00'56.2''$ LS dan $110^{\circ}16'53.4''$ BT - $110^{\circ}17'49.9''$ BT. Berdasarkan posisi geografisnya, Pantai Depok di sebelah selatan berbatasan dengan Samudera Hindia, sebelah barat berbatasan dengan muara Sungai Opak, sebelah timur berbatasan dengan Pantai Tall Wolu dan sebelah utara berbatasan dengan pemukiman warga. Sekitar Pantai Depok terdapat vegetasi berupa semak-semak dan pohon cemara udang. Kondisi arus maupun gelombang di kawasan ini cukup tinggi. Hal ini dikarenakan Pantai Depok berbatasan langsung dengan Samudera Hindia serta adanya Pegunungan Kars menyebabkan pembelokan arah mata angin di selatan Jawa. Pantai Depok memiliki kemiringan pantai yang landai sekitar 13° - 15° dan karakteristik sedimen berpasir berwarna hitam. Topografi di Desa Parangtritis berupa daratan rendah (Nawawi, 2013). Topografi yang semakin landai di sebelah timur akibat adanya transpor sedimen dari darat menuju laut yang dipengaruhi arus susur pantai, sedangkan di sebelah barat topografinya lebih tinggi dikarenakan adanya transpor sedimen menuju ke daratan. Pantai Depok digunakan sebagai tempat bersandar kapal nelayan, kegiatan pelelangan ikan dan pariwisata. Bangunan semi permanen juga dibangun untuk menunjang kegiatan pariwisata yang ada.

4.2 Deteksi Garis Pantai Metode *Object Based Image Analysis* (OBIA)

Penggunaan citra resolusi tinggi dapat mendeteksi objek dengan lebih jelas dalam mengidentifikasi perubahan garis pantai. Garis pantai yang digunakan merupakan garis pantai yang diperoleh dengan cara digitasi hasil *orthophoto*.

Identifikasi garis pantai didasarkan pada metode *Object Base Image Analysis*

(OBIA). Dalam penerapan metode ini terdapat proses segmentasi dan klasifikasi

citra. Segmentasi citra menggunakan algoritma *Multiresolution Segmentation*

dengan skala (*scale*) 100, bentuk (*shape*) 0,1 dan kekompakan (*compactness*) 0,5.

Parameter tersebut dikombinasikan untuk mendapatkan hasil segmentasi yang

sesuai dengan objek pada foto udara untuk mempermudah penentuan garis

pantai.

Proses klasifikasi citra menggunakan klasifikasi *Nearest Neighbor*.

Klasifikasi ini membagi objek kedalam beberapa kelas. Dalam penelitian ini dibagi

menjadi enam kelas: laut, pasir basah, pasir kering, sungai, bangunan dan

vegetasi. Kenampakan air memiliki warna biru, pasir basah memiliki warna coklat

gelap, pasir kering berwarna coklat terang, sungai berwarna biru kecoklatan,

bangunan berwarna hitam dan orange yang tampak berkelompok ataupun

menyebar serta vegetasi yang memiliki warna hijau dengan rona yang cerah.

Hasil penerapan metode analisis citra berbasis objek (OBIA) untuk deteksi

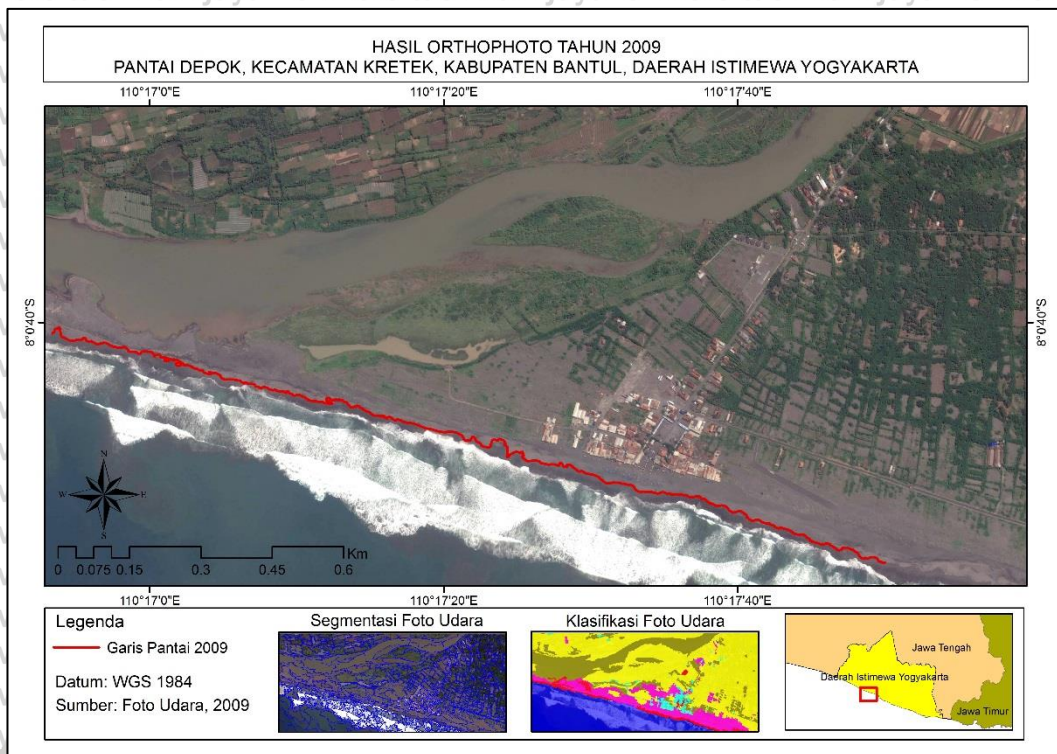
garis pantai tahun 2009 (Gambar 7), tahun 2015 (Gambar 8) dan tahun 2019

(Gambar 9) menampilkan hasil *orthophoto*, segmentasi, dan klasifikasi citra foto

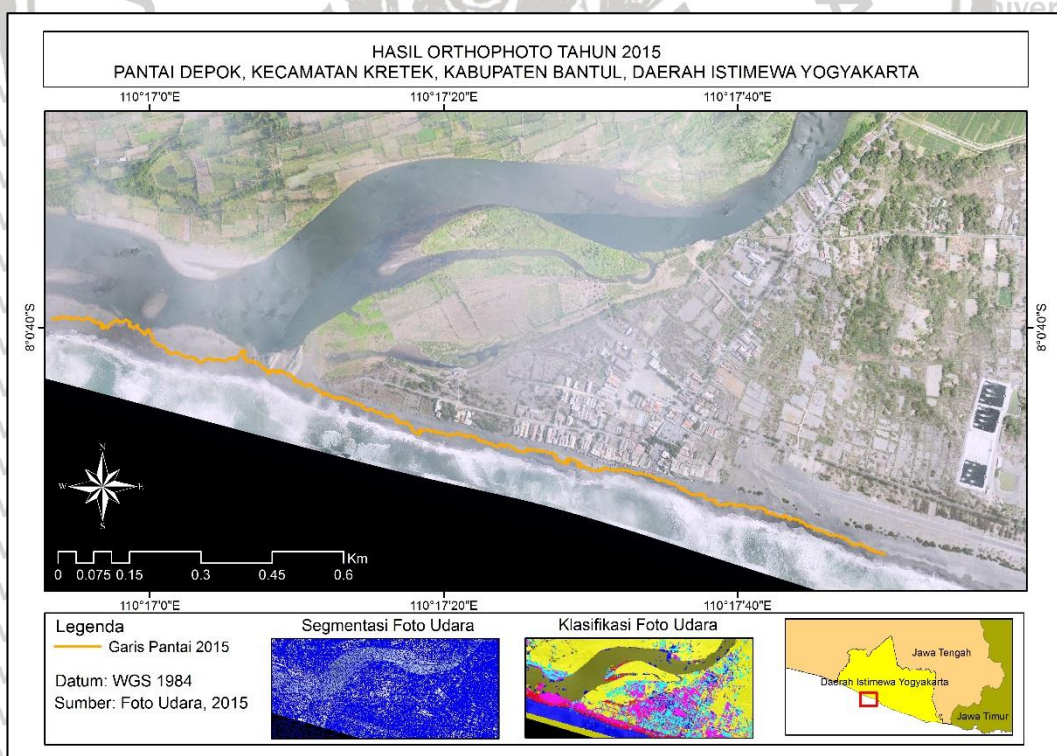
udara secara lebih detail. Warna hitam yang ada pada data foto udara tahun 2015

tidak mempengaruhi proses pengolahan data hal ini dikarenakan warna tersebut

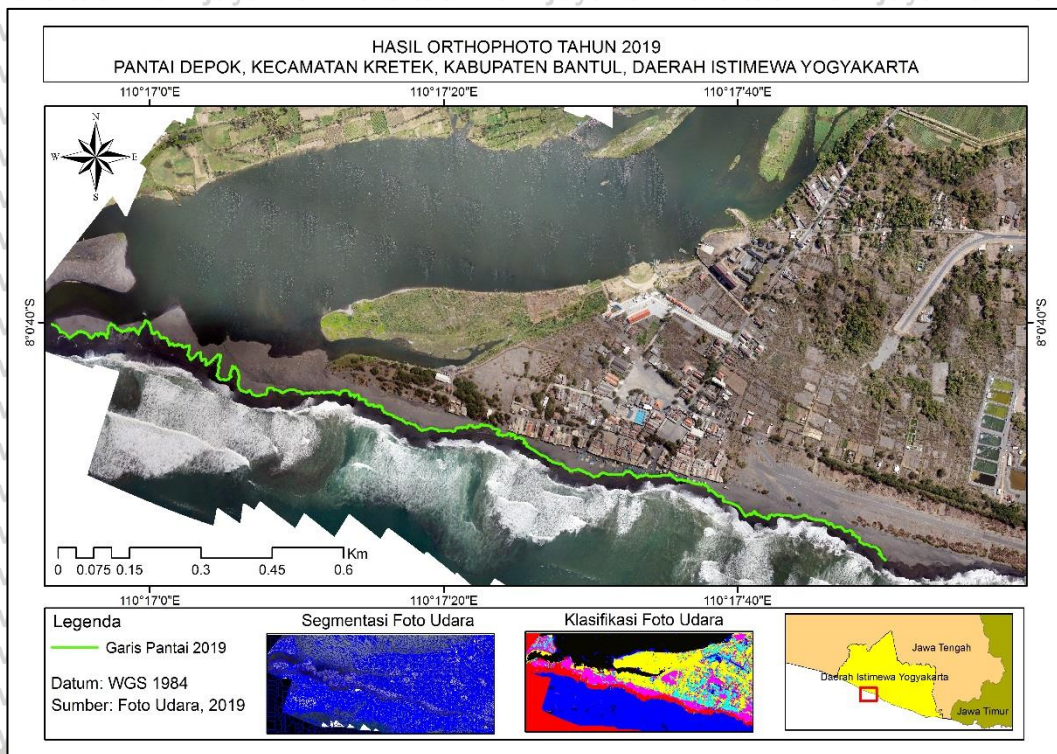
hanya merupakan *background* yang dapat disesuaikan dengan keinginan.



Gambar 7. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2009



Gambar 8. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2015



Gambar 9. Peta Deteksi Garis Pantai Depok Tahun 2019

4.3 Perubahan Garis Pantai

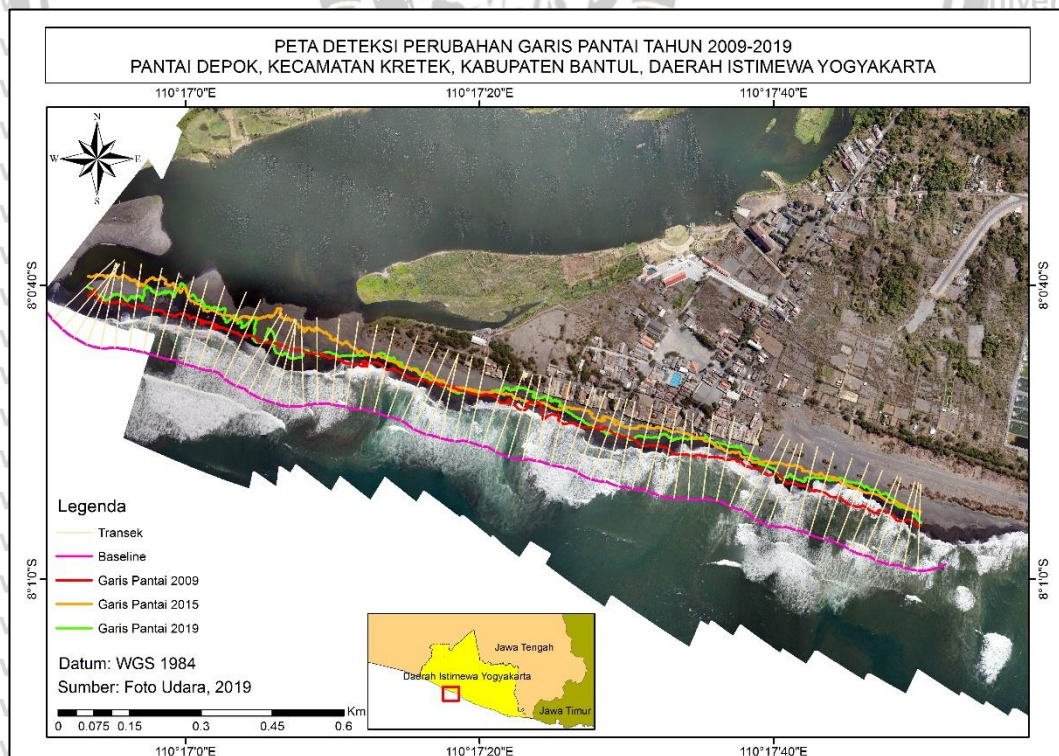
Tumpang susun (*overlay*) ketiga garis pantai hasil digitasi citra dimaksudkan untuk mengetahui laju perubahan garis pantai pada tahun 2009 sampai 2019. Garis pantai tahun 2009 digunakan sebagai garis pantai acuan untuk melihat seberapa besar jarak perubahan yang terjadi selama tahun 2009 sampai 2019. Garis pantai di Pantai Depok, Yogyakarta mengalami abrasi maupun akresi di beberapa titik. Hal ini ditunjukkan oleh perubahan pada garis pantai berwarna merah (2009), orange (2015), dan hijau (2019). Perubahan garis pantai terjadi akibat proses dinamika pesisir yang tinggi di kawasan ini karena faktor hidro-oseanografi seperti arus, gelombang dan pasang surut sangat berkaitan dengan proses dinamika pantai. Kecepatan angin di perairan terbuka mengakibatkan arus dan gelombang menuju daratan tinggi serta tidak seimbanginya transpor sedimen dari satu lokasi ke lokasi lainnya menyebabkan Pantai Depok mengalami abrasi

dan akresi. Hal ini menjadi faktor utama perubahan garis pantai di Pantai Depok, Yogyakarta.

Data foto udara pemotretan 11 Juni 2009 dan 15 Agustus 2019 termasuk musim timur sedangkan pemotretan 01 Oktober 2015 termasuk musim peralihan

II. Perbedaan musim pada data foto udara dapat mempengaruhi garis pantai yang ada. Hal ini dikarenakan setiap musim memiliki kondisi hidro-oseanografi yang bervariasi. Dilihat dari kondisi arus yang ada di perairan Pantai Depok saat musim timur dan peralihan II memiliki arah arus yang sama dan perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar. Kondisi arus pada musim timur dan peralihan II tersebut tergolong arus yang sama yaitu arus lambat dengan kecepatan 0-0,25 m/s.

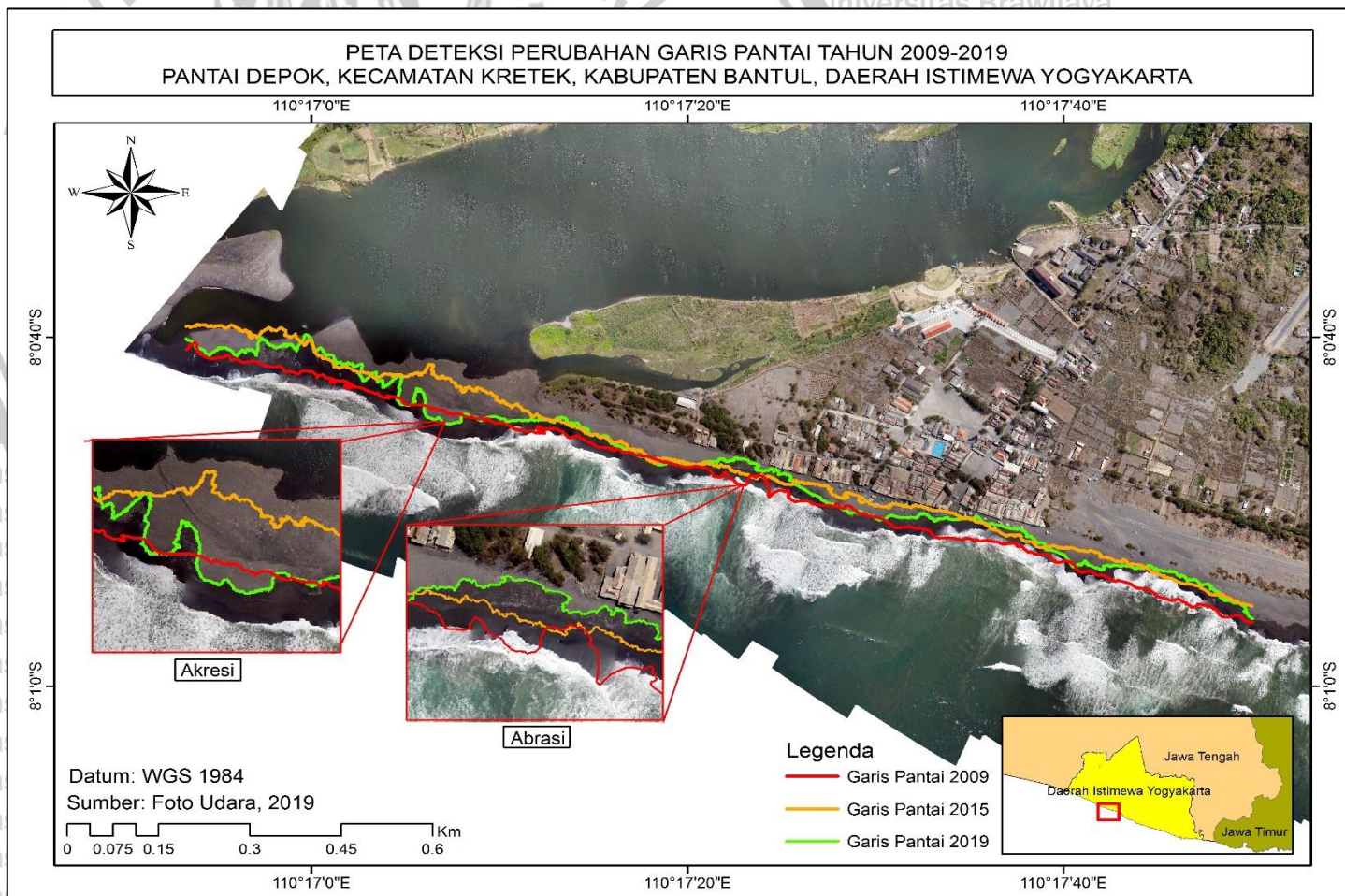
Perubahan garis pantai dihitung menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan acuan titik transek, *baseline* dan *shorelines* yang telah dibuat. Panjang transek yang digunakan yaitu 180 m dengan jarak setiap transek yaitu 30 m. Hasil peta perubahan garis pantai ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta Perubahan Garis Pantai Tahun 2009-2019 dengan Transek

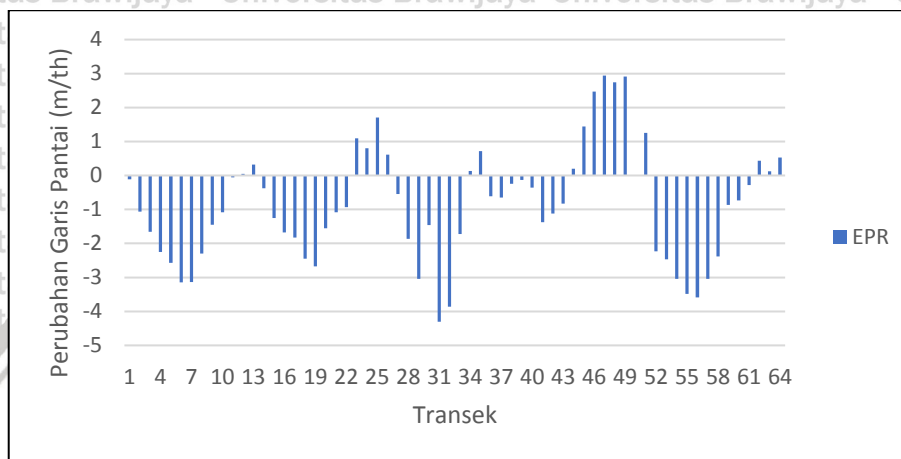
Hasil tumpang susun garis pantai data foto udara diketahui titik lokasi dengan tingkat abrasi dan akresi paling tinggi selama tahun 2009 sampai 2019 (Gambar 11). Peristiwa abrasi paling tinggi berada di dekat pemukiman warga yaitu pada transek ke 31 sedangkan akresi tertinggi berada di dekat Sungai Opak yang berada pada transek ke 47. Peristiwa akresi terjadi akibat transpor sedimen menuju pantai yang berasal dari aliran Sungai Opak.

Gelombang penyebab abrasi di Pantai Depok berlangsung secara dinamis baik waktu maupun titik pembentukannya. Pantai Depok memiliki garis pantai dengan bentuk teluk secara lokal akibat aktivitas gelombang tersebut. Energi gelombang terkonsentrasi di dalam teluk-teluk tersebut dan membentuk turbulensi arus yang meningkatkan daya abrasi. Arus balik (*rip current*) membawa sedimen pasir ke arah laut dalam jumlah besar sehingga di kawasan pemukiman warga tingkat abrasi lebih tinggi. Terbentuknya teluk secara lokal tersebut tidak dapat ditentukan dengan pasti titik terjadinya. Abrasi yang terjadi di Pantai Depok sebagian besar disebabkan oleh faktor hidro-oseanografi pesisir, dikarenakan aktivitas manusia yang tidak terlalu mempengaruhi perubahan garis pantai di Pantai Depok.

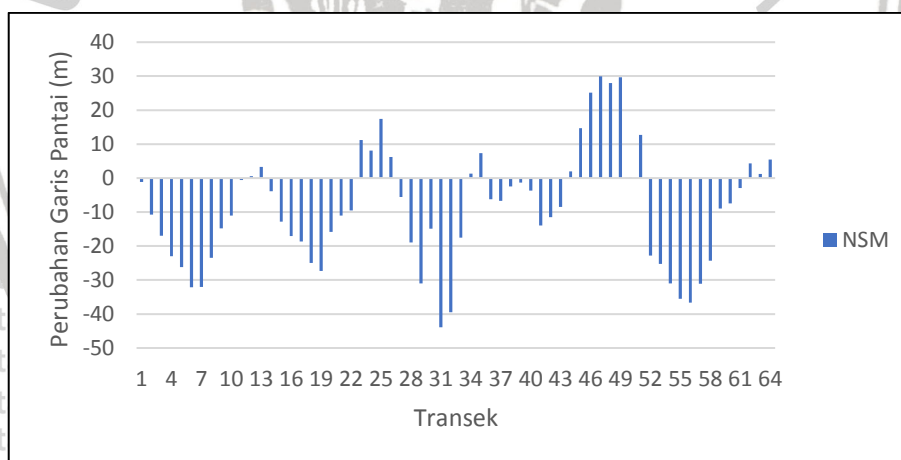


Gambar 11. Peta Perubahan Garis Pantai Tahun 2009-2019

Perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Depok, Yogyakarta pada Tahun 2009 hingga 2019 dipengaruhi proses abrasi dan akresi. Jarak perubahan garis pantai yang mengalami abrasi maupun akresi pada tiap lokasi di Pantai Depok menggunakan perhitungan statistik *End Point Rate* (EPR) (Gambar 12) dan *Net Shoreline Movement* (NSM) (Gambar 13) sebagai berikut.



Gambar 12. Grafik *End Point Rate* (EPR) Tahun 2009-2019



Gambar 13. Grafik *Net Shoreline Movement* (NSM) Tahun 2009-2019

Akresi menunjukkan nilai positif sedangkan abrasi menunjukkan nilai negatif. Berdasarkan perhitungan EPR akresi tertinggi terjadi pada transek ke 47 sebesar 2,94 m pertahun dan abrasi tertinggi terjadi pada transek ke 31 sebesar 4,3 m pertahun. Perhitungan NSM menunjukkan akresi tertinggi terjadi pada transek yang sama yaitu transek ke 47 sebesar 29,99 m dan abrasi tertinggi terjadi

pada transek ke 31 sebesar 43,89 m. Abrasi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan akresi yang terjadi meskipun perbedaan antar abrasi dan akresi tidak terlalu tinggi setiap tahunnya.

Perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Depok di beberapa titik mengalami abrasi dan akresi (Cesar, 2019). Penelitian tersebut membagi lokasi menjadi tiga stasiun yaitu dekat muara Sungai Opak, daerah pemukiman dan jauh dari muara. Selama tahun 2010 sampai 2018 di daerah pemukiman memiliki rata-rata abrasi yaitu 1,72 m pertahun dan akresi yaitu 1,43 m pertahun, sedangkan di lokasi yang jaraknya jauh dari Sungai Opak memiliki rata-rata abrasi 2,49 m pertahun dan rata-rata akresi 2,23 m pertahun. Hal ini sesuai dengan hasil yang menunjukkan bahwa Pantai Depok lebih didominasi mundurnya garis pantai atau abrasi.

4.4 Kondisi Hidro-oseanografi

Perubahan garis pantai dapat dipengaruhi faktor hidro-oseanografi dan aktivitas manusia. Perubahan garis pantai di Pantai Depok disebabkan beberapa faktor diantaranya arus, pasang surut, gelombang dan angin.

4.4.1 Arus

Berdasarkan pengolahan data arus dari OSCAR yang didapatkan dari laman PODAAC di perairan Pantai Depok, Yogyakarta tahun 2019 didapatkan beberapa pola arus yang meliputi pola arus musiman yaitu musim barat (Gambar 14), musim peralihan 1 (Gambar 15), musim timur (Gambar 16) dan musim peralihan 2 (Gambar 17) serta pola arus saat pengambilan foto udara yaitu pada bulan Agustus (Gambar 18) dan pola arus rata-rata tahun 2019 (Gambar 19). Arus di Samudera Hindia sangat dipengaruhi oleh angin muson sehingga angin sangat berpengaruh terhadap arus di perairan Pantai Depok.

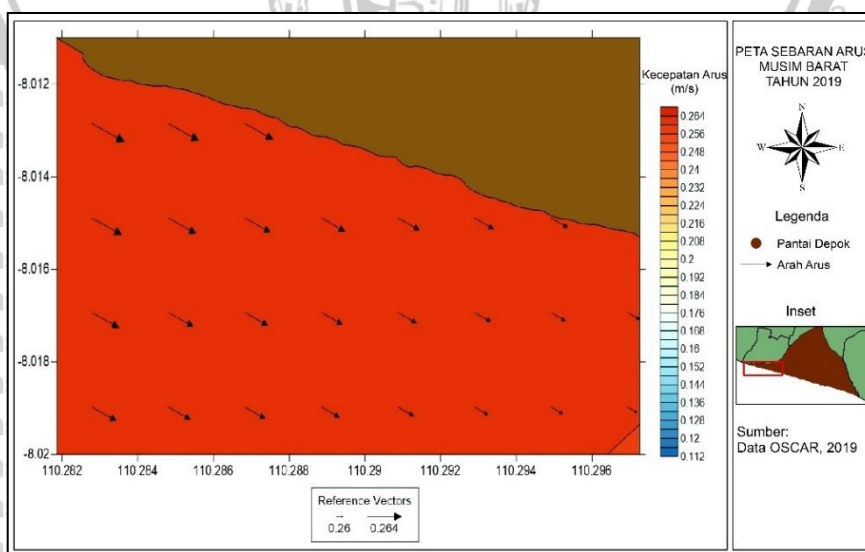
Pola arus musiman tahun 2019 memiliki arah dan kecepatan yang bervariasi. Arus pada musim barat memiliki kecepatan paling rendah 0.260 m/s dan kecepatan tertinggi 0.264 m/s yang termasuk arus sedang dengan arah arus yang bergerak dari barat laut menuju ke tenggara. Arus pada musim peralihan 1 memiliki kecepatan paling rendah 0.112 m/s dan kecepatan tertinggi 0.113 m/s yang termasuk arus lambat dengan arah arus yang bergerak dari timur laut menuju ke barat daya. Arus pada musim timur memiliki kecepatan paling rendah 0.240 m/s dan kecepatan tertinggi 0.243 m/s yang termasuk arus lambat dengan arah arus yang bergerak dari timur laut menuju ke barat daya. Arus pada musim peralihan 2 memiliki kecepatan paling rendah 0.227 m/s dan kecepatan tertinggi 0.231 m/s yang termasuk arus lambat dengan arah arus yang bergerak dari timur laut menuju ke barat daya. Kecepatan arus tertinggi berdasarkan musim terjadi pada musim barat. Hal ini dikarenakan pada musim tersebut terjadi musim penghujan sehingga debit air yang tinggi berpengaruh terhadap kecepatan arus di perairan tersebut. Selama musim barat diketahui kecepatan arus tertinggi berada di bagian barat Pantai Depok yaitu di dekat muara Sungai Opak, hal ini dikarenakan di lokasi tersebut masih mendapat pengaruh arus dari sungai, begitu pula pada musim peralihan I. Sedangkan pada musim timur dan peralihan II kecepatan arus meningkat saat menjauhi pantai menuju laut lepas hal ini dapat disebabkan karena perubahan arah angin yang kerap terjadi dan adanya *rip current* di perairan Pantai Depok.

Pola arus pada bulan Agustus 2019 di perairan Pantai Depok bergerak dari barat laut menuju ke tenggara dengan kecepatan paling rendah 0.353 m/s dan kecepatan tertinggi 0.354 m/s yang termasuk arus sedang. Kecepatan arus yang tergolong sedang pada bulan Agustus terjadi akibat pengaruh angin yang berhembus. Adanya perubahan arah datang angin ini terwujud pada arah datang

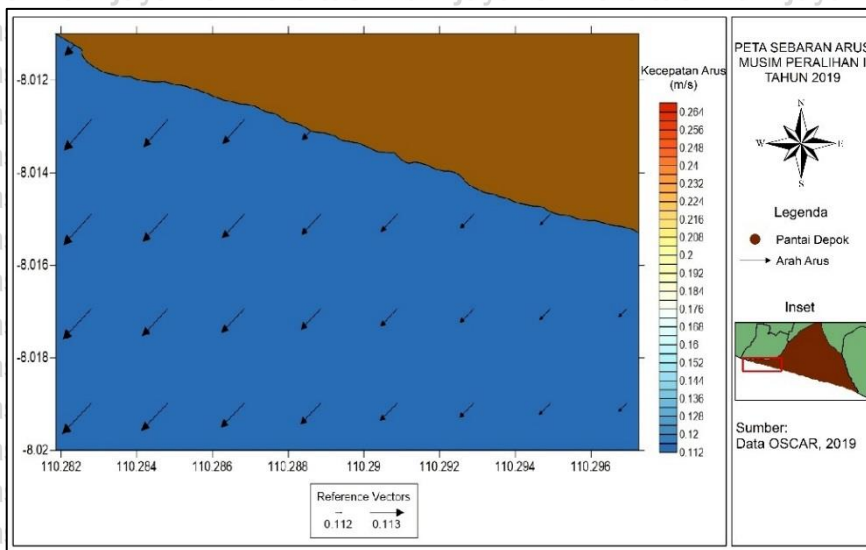
gelombang yang menghantam bibir pantai. Energi gelombang yang dihasilkan menyebabkan kecepatan arus meningkat di dekat pantai.

Pola arus rata-rata tahun 2019 menunjukkan arah arus yang bergerak dari barat ke timur dengan kecepatan paling rendah 0,358 m/s dan kecepatan tertinggi 0,362 m/s yang termasuk arus sedang. Hal ini dapat mempengaruhi sebaran sedimen di kawasan pesisir yang menyebabkan pantai mengalami abrasi maupun sedimentasi di beberapa titik. Pantai Depok dengan kemiringan yang landai menyebabkan terjadinya arus sejajar pantai. Sedimen yang terangkut oleh *longshore current* mengakibatkan terjadinya pendangkalan pada beberapa bagian di Pantai Depok sehingga peristiwa abrasi masih mendominasi di wilayah ini.

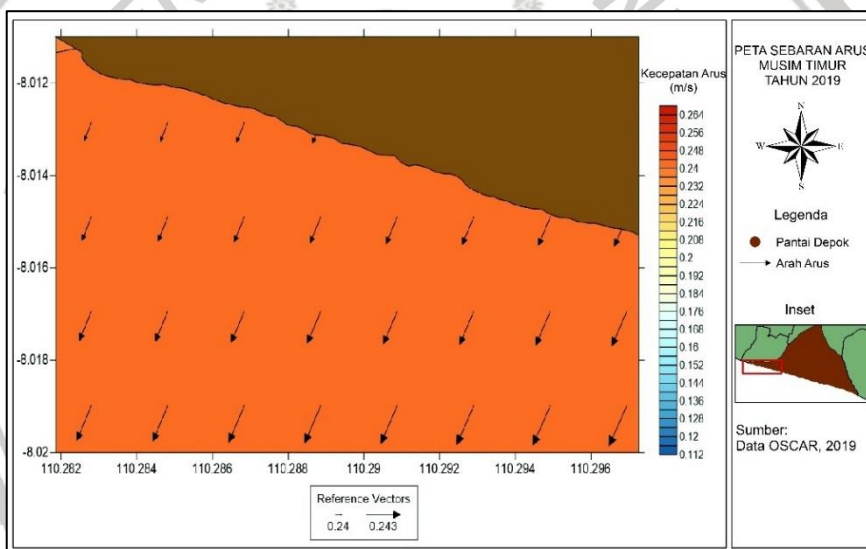
Arus yang berasal dari Sungai Opak dan arus dari laut memiliki kecepatan yang berbeda. Arus laut dipengaruhi banyak faktor diantaranya gelombang, angin dan pasang surut sedangkan arus sungai lebih dipengaruhi debit air yang berasal dari hulu. Saat memasuki musim penghujan, arus sungai dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan garis pantai. Pada musim tersebut curah hujan yang tinggi menyebabkan debit air juga meningkat. Peningkatan debit air dari sungai tersebut dapat mempengaruhi kecepatan arus laut.



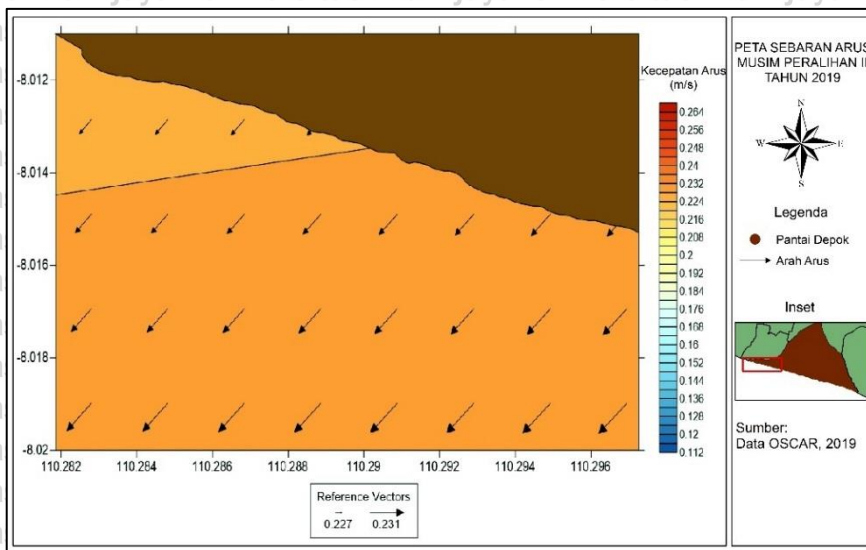
Gambar 14. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Barat Tahun 2019



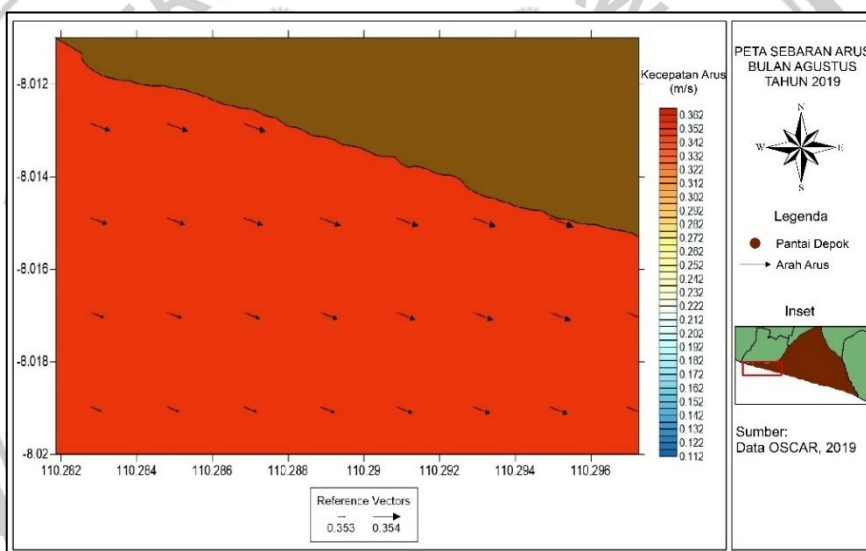
Gambar 15. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Peralihan 1 Tahun 2019



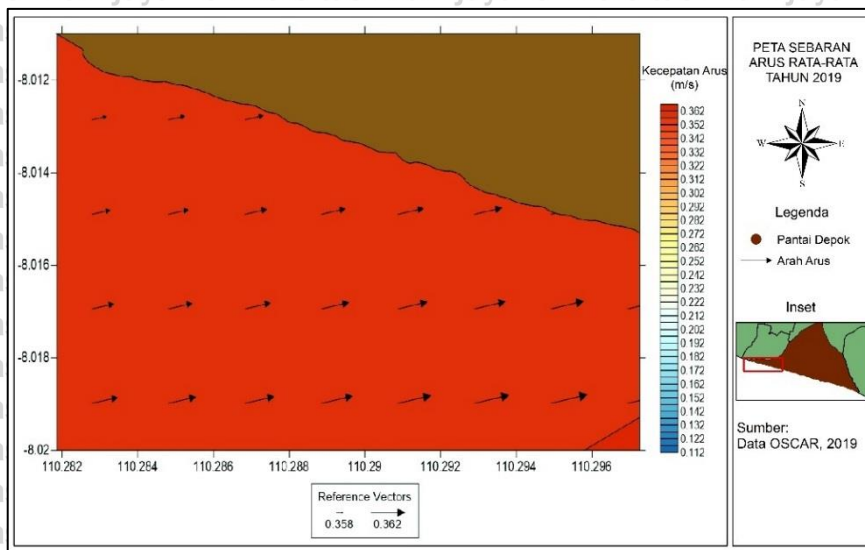
Gambar 16. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Timur Tahun 2019



Gambar 17. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Musim Peralihan 2 Perlahan 2 Tahun 2019



Gambar 18. Peta Pola Sebaran Arus Perairan Pantai Depok Pada Agustus Tahun 2019



Gambar 19. Peta Pola Sebaran Arus Rata-Rata Perairan Pantai Depok Tahun 2019

4.4.2 Pasang Surut

Kedudukan muka air laut saat pasang maupun surut mempengaruhi kedudukan garis pantai. Analisa perubahan garis pantai akan lebih baik jika data yang digunakan pada kondisi kedudukan muka air laut yang sama untuk meminimalisir terdeteksinya perubahan yang diakibatkan oleh pasang surut. Kondisi pasang surut selama akuisisi data (Tabel 8) menunjukkan posisi air dalam keadaan surut. Pada saat kondisi surut muncul endapan yang mengandung air, sehingga penentuan kedudukan garis pantai yang nyata menjadi lebih sulit. Citra yang mengakuisisi data saat surut dikategorikan menjadi dua yaitu terpengaruh pasang surut dan tidak terpengaruh pasang surut (Nafiah *et al.*, 2017). Pada daerah yang mendapat pengaruh pasang surut seperti Pantai Depok, garis pantai mengacu pada garis rata-rata muka air tinggi sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 Pasal 14 (6).

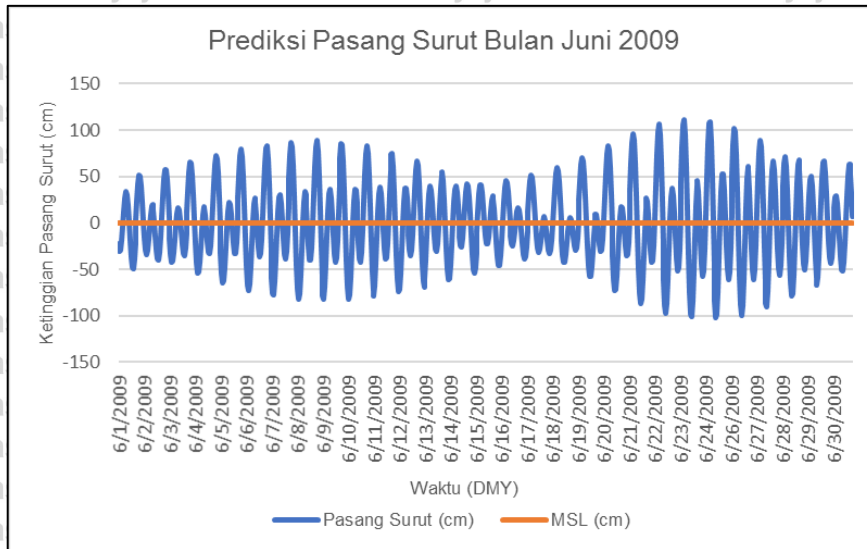
Penentuan kedudukan garis pantai saat pasang tertinggi dilakukan berdasarkan karakteristik pantai. Pantai dengan kemiringan yang landai dan berpasir dipengaruhi pasang surut. Pantai Depok yang termasuk jenis pantai

berpasir, kedudukan garis pantai dilihat dari jejak atau bekas air laut di pantai saat pasang tertinggi (Khomsin dan Simatupang, 2016). Garis pantai juga dapat dilihat pada batas yang jelas sebagai daratan yaitu tanah yang sudah tidak mengandung air. Hal ini dikarenakan saat air pasang objek nampak berwarna biru dan akan berwarna kecoklatan saat air surut, sementara kenampakan daratan yang sebenarnya atau tidak terkena air pasang akan terlihat sama dan jelas sebagai batas air dan daratan (Winarso *et al.*, 2009).

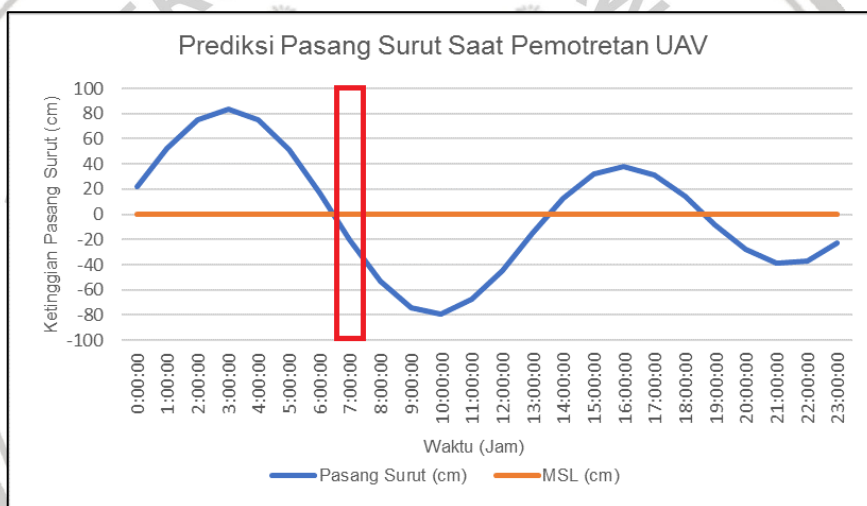
Tabel 8. Kondisi Pasang Surut Saat Pengambilan Data Foto Udara (UAV)

No	Waktu Akuisisi data		Tinggi Relatif (cm)	Kedudukan Muka Air Laut
	(dd/mm/yyyy)	(hh:mm:ss)		
1	11/06/2009	07:00:00	-20,5	Surut
2	01/10/2015	07:00:00	-44,3	Surut
3	15/08/2019	09:00:00	-68,5	Surut

Data pasang surut diperoleh dari perhitungan menggunakan metode *Admiralty* sehingga diketahui nilai *Formzahl* (F) dari komponen harmonik pasang surut. Nilai *Formzahl* bertujuan untuk mengetahui tipe pasang surut di suatu perairan. Perhitungan untuk bulan Juni 2009 didapatkan nilai *Formzahl* 0.602, dimana hal ini menunjukkan bahwa di Pantai Depok memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed tides prevailing semidiurnal*) dan nilai *Mean Sea Level* (MSL) yang diperoleh yaitu 0.053 cm. Pasang surut campuran condong harian ganda ini mengalami dua kali pasang dan dua kali surut selama 24 jam dengan interval yang bervariasi, yaitu pasang surut yang pertama dan kedua memiliki tinggi yang berbeda. Kisaran surut terendah yaitu 102.2 cm sedangkan kisaran pasang tertinggi mencapai 111.2 cm. Hasil prediksi pasang surut selama 30 hari pada bulan Juni 2009 berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG) dapat dilihat pada Gambar 20.



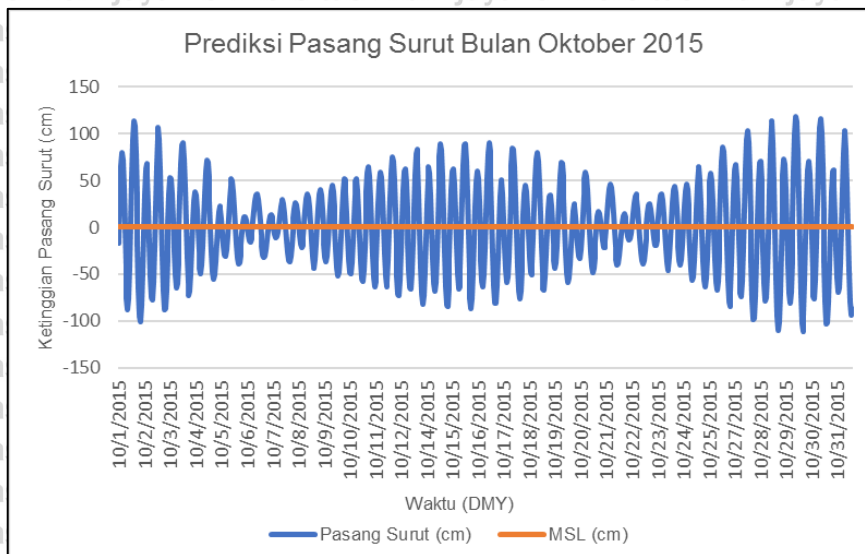
Gambar 20. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Juni 2009
 Sumber: (BIG, 2020)



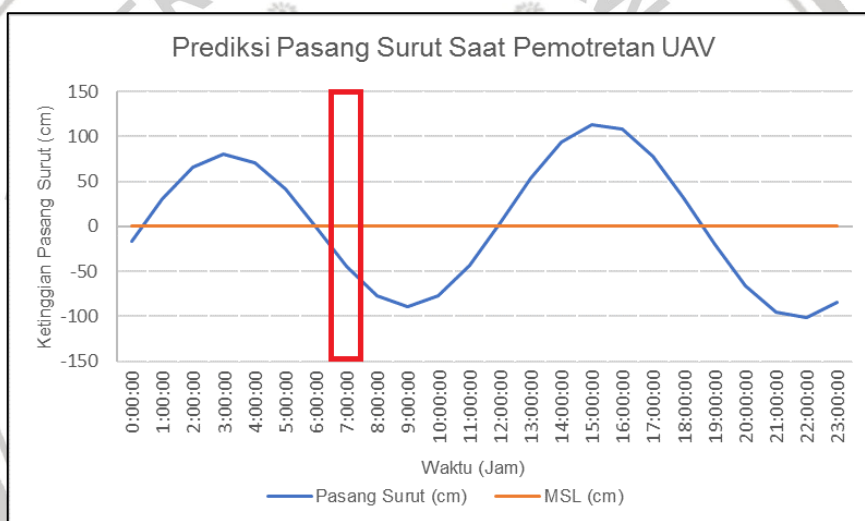
Gambar 21. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 11 Juni 2009
 Sumber: (BIG, 2020)

Perhitungan untuk bulan Oktober 2015 didapatkan nilai *Formzahl* 0.600, yang menunjukkan bahwa di Pantai Depok memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda dan nilai MSL yang diperoleh yaitu 0.070 cm. Kisaran surut terendah yaitu 111.2 cm sedangkan kisaran pasang tertinggi mencapai 118.9 cm. Hasil prediksi pasang surut selama 31 hari pada bulan Oktober 2015 berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG) dapat dilihat pada Gambar 22.





Gambar 22. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Oktober 2015
 Sumber: (BIG, 2020)

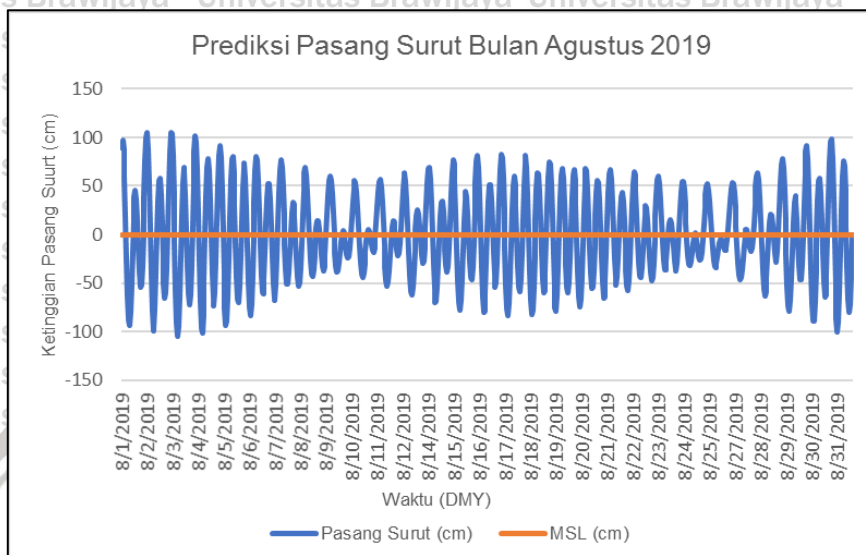


Gambar 23. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 01 Oktober 2015
 Sumber: (BIG, 2020)

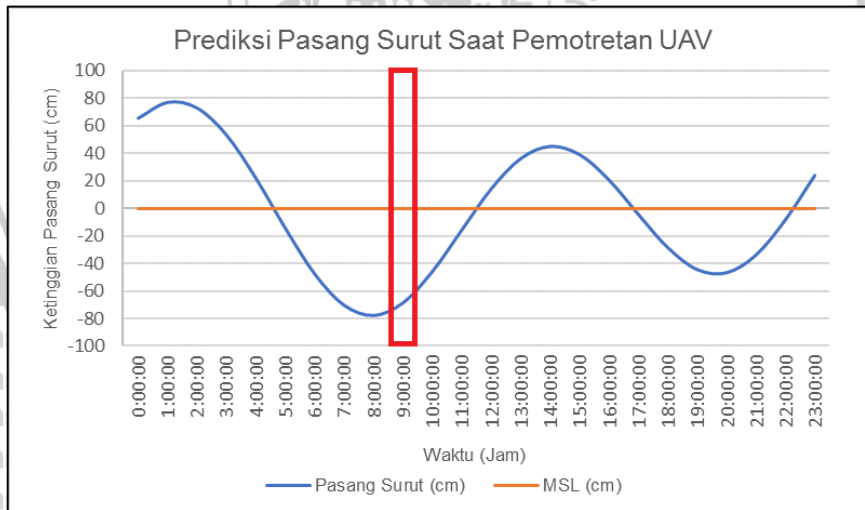
Perhitungan untuk bulan Agustus 2019 didapatkan nilai *Formzahl* 0.599, yang menunjukkan Pantai Depok memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda dan nilai MSL yang diperoleh yaitu -0.113. Kisaran surut terendah selama bulan Agustus 2019 yaitu 104.6 cm sedangkan kisaran pasang tertinggi mencapai 104.8 cm. Hasil prediksi pasang surut selama 31 hari pada bulan Agustus 2019 berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG) dapat dilihat



pada Gambar 24. Tipe pasang surut campuran condong harian ganda membuat perubahan garis pantai sangat dinamis karena tinggi muka air laut yang berubah-ubah.



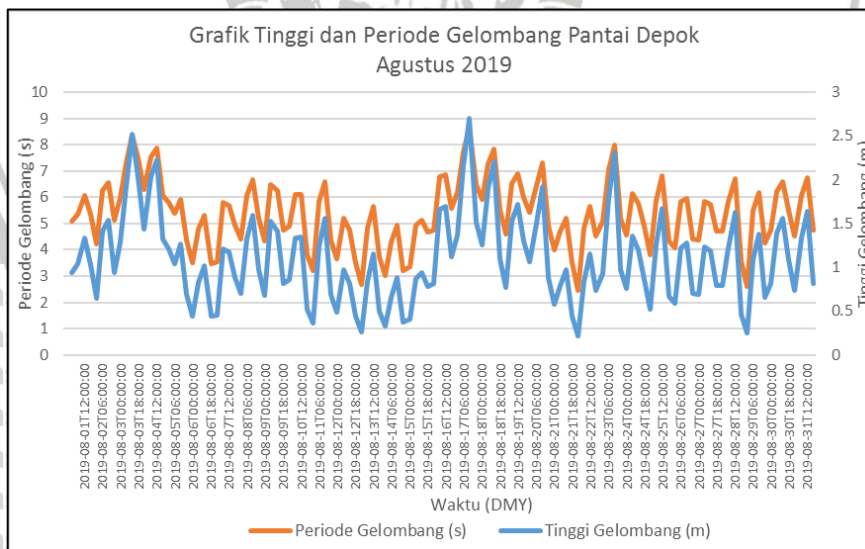
Gambar 24. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Bulan Agustus 2019
Sumber: (BIG, 2020)



Gambar 25. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Depok Tanggal 15 Agustus 2019
Sumber: (BIG, 2020)

4.4.3 Gelombang

Gelombang pada pantai yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia seperti Pantai Depok mempunyai arah datang menyudut terhadap garis pantai. Gelombang ini dipengaruhi oleh arah datang angin dan gelombang dominan sesuai musim yang berlangsung. Berdasarkan pada grafik tinggi dan periode gelombang signifikan di Pantai Depok pada bulan Agustus 2019 (Gambar 26), dapat diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan di Pantai Depok pada Agustus 2019 terjadi pada tanggal 17 Agustus 2019 pukul 12.00 WIB sebesar 2,7 m dan periode gelombang signifikan, terjadi pada tanggal 17 Agustus 2019 pukul 12.00 WIB selama 8,65 detik. Tingginya gelombang dikarenakan area *fetch* yang luas di Samudera Hindia. Gelombang tinggi ini dapat mempengaruhi terjadinya proses abrasi di Pantai Depok. Bertiupnya angin yang persisten pada bulan Juni, Juli dan Agustus mempengaruhi peningkatan tinggi gelombang salah satunya di selatan Jawa dengan tinggi gelombang sebesar 2-3,5 m (Habibie *et al.*, 2018).



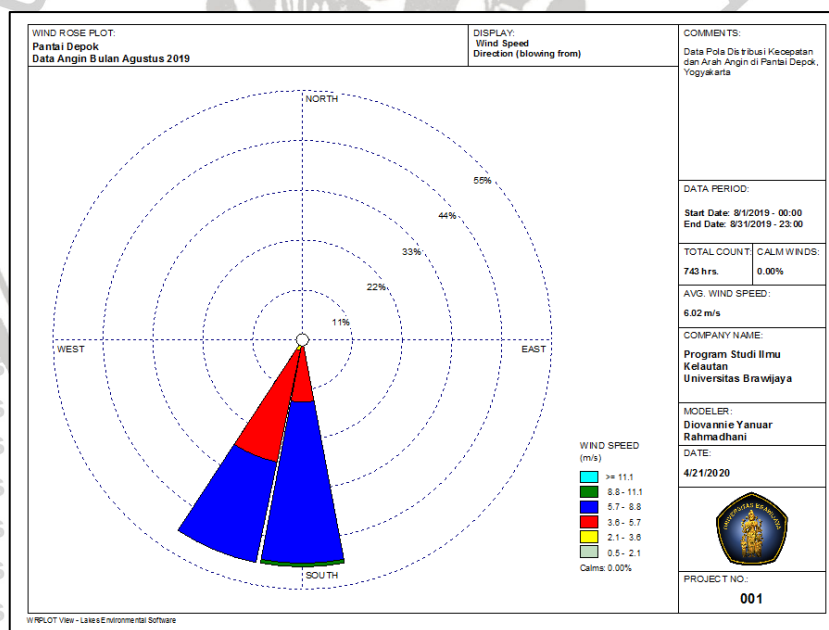
Gambar 26. Grafik Tinggi dan Periode Gelombang di Pantai Depok Agustus 2019

Arah datang gelombang di perairan Pantai Depok pada setiap musim cenderung sama yaitu dari arah selatan dan tenggara menuju ke utara dan barat laut dengan tinggi gelombang pada musim timur berkisar antara 1,91 sampai 3,08



m sesuai dengan tinggi gelombang pada bulan Agustus yang berada pada kisaran tersebut. Pada pantai yang dipengaruhi arus, sedimen dan gelombang mendukung terbentuknya *rip current* sehingga membawa sedimen meninggalkan pantai menuju laut dalam jumlah yang besar (Cesar, 2019).

Kondisi lokasi penelitian yang berbatasan dengan Samudera Hindia menyebabkan angin yang berhembus memiliki kecepatan cukup tinggi. Adanya pegunungan Kars di sebelah timur berpotensi mengubah arah angin pada waktu tertentu. Berdasarkan hasil pengolahan data *WRPLOT*, didapatkan data arah dan kecepatan angin di Pantai Depok pada Agustus 2019 (Gambar 27). Kecepatan dominan pergerakan angin adalah 5,7 – 8,8 m/s dengan frekuensi kecepatan sebesar 58 %. Kecepatan angin tersebut tergolong kecepatan angin dengan hembusan angin sedang. Kecepatan angin rata-rata Pantai Depok sebesar 6,02 m/s yang bergerak dari utara menuju ke selatan.



Gambar 27. Grafik Arah dan Kecepatan Angin di Pantai Depok Agustus 2019

Gelombang di perairan selatan Jawa termasuk Pantai Depok dipengaruhi beberapa faktor diantaranya kecepatan, arah dan durasi tiupan angin yang berhembus. Arah tiupan angin yang hampir sama membuat gelombang semakin

tinggi. Hal ini dikarenakan energi angin dari arah tiupan yang sama atau tidak terlalu bervariasi akan terkumpul dan membentuk gelombang yang semakin kuat.

Tinggi rendahnya gelombang di Perairan Depok juga berkaitan dengan lamanya tiupan angin berhembus. Semakin lama durasi tiupan angin, gelombang yang terbentuk semakin tinggi. Pantai Depok di sebelah selatan memiliki *fetch* dengan panjang tak terbatas, hal ini dikarenakan Pantai Depok sebelah selatan menghadap ke laut lepas yaitu Samudera Hindia sehingga gelombang yang dihasilkan juga tinggi karena tidak adanya penghalang daratan.

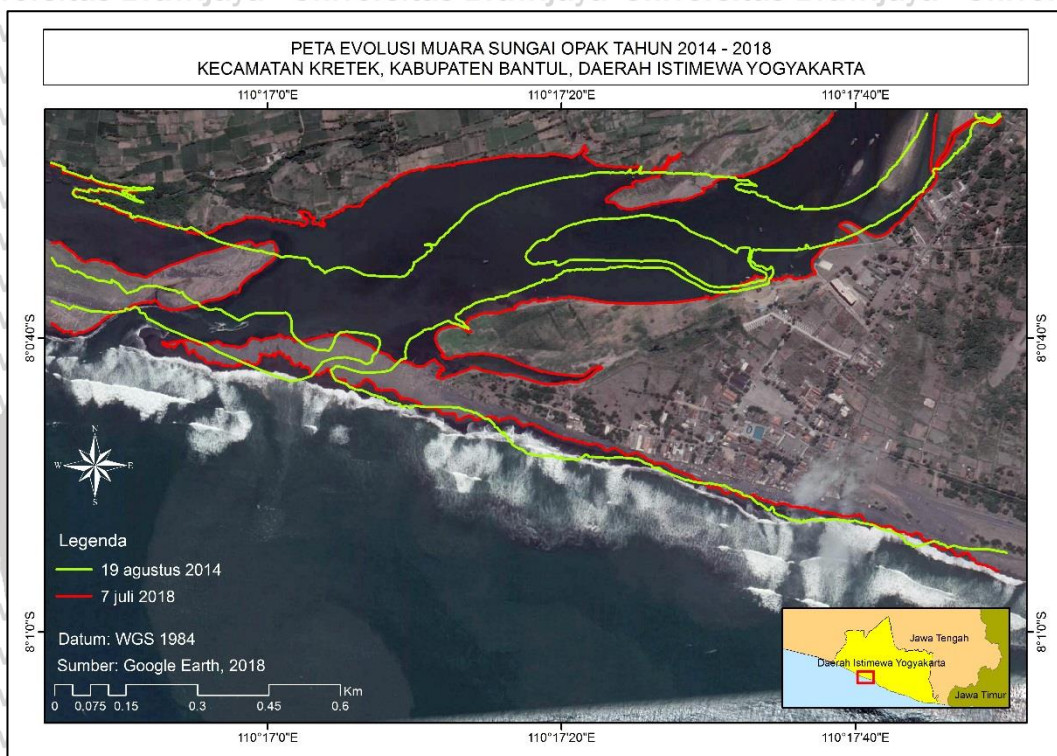
4.5 Evolusi Muara Sungai Opak

Muara Sungai Opak sering mengalami perubahan baik pembukaan maupun penutupan akibat sedimen pasir. Hal ini disebabkan adanya perubahan musim yang terjadi. Perubahan bentuk aliran ditunjukkan dari beberapa data temporal untuk mengetahui perubahan pada Sungai Opak. Hasil tumpang susun perekaman citra bulan Agustus tahun 2014 dan bulan Juli tahun 2018 pada musim yang sama yaitu musim timur menunjukkan evolusi yang terjadi pada muara Sungai Opak (Gambar 28). Pada musim kemarau (musim timur) yaitu bulan Juni, Juli dan Agustus cenderung terjadi penutupan atau penyempitan muara sungai.

Sebaliknya, terjadi pelebaran mulut muara sungai pada musim penghujan (musim barat). Perubahan ini terjadi relatif cepat. Muara sungai Opak yang menuju ke Samudera Hindia dipengaruhi beberapa faktor diantaranya gelombang, pasang surut dan debit air.

Curah hujan yang tinggi pada musim penghujan menyebabkan debit air dan energi aliran besar sehingga membawa material sedimen berbagai ukuran dalam jumlah besar yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi sungai secara signifikan. Kecepatan aliran air mempengaruhi besarnya angkutan sedimen di sungai. Saat memasuki musim kemarau curah hujan yang rendah menyebabkan

debit air rendah dan aliran energi menuju muara semakin kecil sehingga terjadi penyempitan mulut muara. Debit air yang rendah menyebabkan sedimen yang terbawa air sungai tidak mampu menuju ke laut dan terjadi sedimentasi di muara. Pengendapan sedimen yang sebelumnya tertutup air pada saat musim penghujan akibat debit air yang tinggi menjadi terlihat saat memasuki musim kemarau.



Gambar 28. Peta Evolusi Muara Sungai Opak Tahun 2014-2018 pada Musim Timur

Pusat peringatan dini siklon tropik Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) memperingatkan pada tanggal 27 November 2017 pukul 19:00 WIB tentang adanya kemunculan siklon tropik. Fenomena cuaca yang terpantau BMKG sejak awal tersebut diberi nama Siklon Tropik Cempaka yang sangat dekat dengan Pulau Jawa. Kemunculan Siklon Tropik Cempaka berdampak pada perubahan pola cuaca diantaranya adalah potensi kenaikan curah hujan, angin kencang, dan gelombang tinggi di beberapa daerah Indonesia. Salah satu daerah yang melepaskan Siklon Tropik Cempaka adalah Desa Parangtritis. Pada tanggal 26 November 2017 curah hujan harian yang ditampilkan di stasiun cuaca otomatis

Parangtritis Geomaritime Science Park (PGSP) mencapai 2,7 mm / jam. Curah hujan sebesar itu meningkat pada tanggal 27 November 2017 sebesar 92,1 mm / jam dan pada Tanggal 28 November 2017 mencapai 181,2 mm / jam hingga pukul 14:00 WIB.

Terdapat empat titik genangan air akibat meningkatnya curah hujan di Desa Parangtritis. Titik pertama berada di Jalan Parangtritis yaitu di utara Tempat Pemungutan Retribusi (TPR) Wisata Parangtritis. Titik kedua berada di Dusun Grogol IX, di kaki perbukitan sebelah timur Desa Parangtritis. Area pertanian menjadi titik ketiga yang berada di sebelah utara Jalur Jalan Lintas Selatan (JJLS). Genangan ini diperkirakan meningkat dari limpasan tebing di timur Desa Parangtritis dan ditambah kurangnya drainase yang ada disana. Titik keempat berada di Dusun Depok, terletak di sebelah barat Ditpolair Polda DIY yang berada di dekat TPR Wisata Pantai Depok. Luapan air Sungai Opak menutupi teras sungai sehingga tanaman milik warga terendam air. Kawasan Wisata Laguna Depok juga turut terendam.

Berdasarkan hasil digitasi citra tahun 2014 terdapat daratan yang menjorok ke sungai, akan tetapi daratan tersebut hilang dilihat dari digitasi citra tahun 2018. Lokasi ini terdapat di sekitar Laguna Depok. Hilangnya daratan yang ada di Sungai Opak diakibatkan adanya siklon tropik yang menyebabkan banjir. Hal ini dikarenakan saat banjir energi aliran menjadi jauh lebih besar dibandingkan biasanya. Peristiwa siklon tropik tersebut terjadi saat musim peralihan II yaitu pada November 2017. Debit air yang tinggi saat banjir dan kuatnya energi aliran air menyebabkan daratan tersebut tergerus. Sedimen tersebut terbawa arus sungai menuju muara dan mengendap. Banjir akibat siklon tropik tersebut tidak hanya menyebabkan terjadinya perubahan letak mulut muara, tetapi juga menyebabkan pelebaran Sungai Opak. Meningkatnya debit air akibat banjir tersebut juga berpengaruh terhadap mundurnya garis pantai di Pantai Depok.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Perubahan garis pantai di Pantai Depok tahun 2009 sampai 2019 terjadi akibat proses abrasi dan akresi yang didominasi abrasi pada beberapa titik.

Berdasarkan perhitungan EPR pada DSAS akresi tertinggi terjadi di dekat muara Sungai Opak sebesar 2,94 m pertahun dan abrasi tertinggi terjadi di dekat pemukiman sebesar 4,3 m pertahun.

2. Faktor hidro-oseanografi berupa arus menunjukkan arus rata-rata tahun 2019 bergerak dari barat ke timur dengan kecepatan 0,358 m/s - 0,362 m/s yang termasuk arus sedang. Pantai Depok dengan kemiringan yang landai menyebabkan terjadinya pendangkalan pada beberapa bagian akibat arus sejajar pantai sehingga didominasi peristiwa abrasi. Pantai Depok memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda. Kondisi ini dapat mempengaruhi posisi garis pantai. Tinggi gelombang signifikan Pantai Depok sebesar 2,7 m dengan arah tiupan angin yang sama membuat gelombang semakin besar. Tingginya kecepatan angin di Samudera Hindia juga mengakibatkan arus dan gelombang menuju daratan tinggi yang menyebabkan abrasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pengambilan data lapang akan sangat mendukung dikarenakan data yang diperoleh dapat fokus pada lokasi penelitian.

Pengambilan sampel sedimen juga perlu dilakukan untuk mengetahui pola transpor sedimen di pantai tersebut. Pengolahan data foto udara pada *Agisoft*

Photoscan lebih baik menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi untuk

meminimalis terjadinya *error*. Penerapan segmentasi citra pada metode OBIA perlu dilakukan beberapa kali percobaan untuk meminimalisir kesalahan interpretasi dan memudahkan saat klasifikasi. Penggunaan metode OBIA sebaiknya digunakan pada citra resolusi tinggi seperti data foto udara UAV yang memiliki resolusi dibawah 10 cm agar hasil yang diperoleh lebih jelas. Biaya yang dibutuhkan juga lebih sedikit dibandingkan data dari citra satelit. Diperlukannya analisa perubahan garis pantai pada musim barat untuk mengetahui perbandingan perubahan yang terjadi berdasarkan musim.



DAFTAR PUSTAKA

Aji, D.R., Cahyadi, M.N., 2015. Analisa Karakteristik Kecepatan Angin dan Tinggi Gelombang Menggunakan Data Satelit Altimetri (Studi Kasus : Laut Jawa). Geoid 11. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i1.1102>

Astuti, E.H., Ismanto, A., Saputro, S., 2016. Studi Pengaruh Gelombang Terhadap Transport Sedimen di Perairan Timbulsloko Kabupaten Demak Jawa Tengah 5.

Auliya, P., Sasmito, B., Nugraha, A.L., 2017. Efektivitas Penentuan Garis Pantai Menggunakan Citra Resolusi Tinggi dan Resolusi Menengah (Studi Kasus : Kabupaten Pacitan) 6, 10.

Ayunarita, S., Elizal, Galib, M., 2017. Studi Pola Arus, Pasang Surut dan Gelombang di Perairan Pantai Pelawan Desa Pangke Kecamatan Meral Kabupaten Karimun Provinsi Kepulauan Riau.

Bambulu, E., Manengkey, H., Rampengan, R., 2017. Rambatan gelombang di Pantai Malalayang II. J. Pesisir dan Laut Trop. 2. <https://doi.org/10.35800/jplt.5.3.2017.17844>

BIG, 2020. *Online Tide Prediction*. <http://tides.big.go.id/pasut/index.html>

Cesar, S.P., 2019. Analisis Perubahan Garis Pantai di Pantai Depok, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Daruwedho, H., Sasmito, B., Janu A, F., 2016. Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia dengan Menggunakan Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2010-2014. J. Geod. Undip 5.

Fadika, U., Rifai, A., Rochaddi, B., 2014. Arah dan Kecepatan Angin Musiman Serta Kaitannya dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut di Selatan Pangandaran Jawa Barat. J. Oseanografi 3.

Fadilah, Suripin, Sasongko, D.P., 2014. Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. Maspari J. 6, 1–12.

Fuad, M.A.Z., Yunita, N., Kasitowati, R.D., Hidayati, N., Sartimbul, A., 2019. Pemantauan Perubahan Garis Pantai Jangka Panjang dengan Teknologi Geo-Spasial di Pesisir Bagian Barat Kabupaten Tuban, Jawa Timur. J. Geogr. 11. <https://doi.org/10.24114/jg.v11i1.11409>

Gularso, H., Rianasari, H., Silalahi, F.E.S., 2015. Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara Nir-Awak dalam Pemetaan Skala Besar 21, 8.

Habibie, M.N., Fitria, W., Sofian, I., 2018. Kajian Indeks Variabilitas Tinggi Gelombang Signifikan di Indonesia. J. Segara 14. <https://doi.org/10.15578/segara.v14i3.6650>

Halim, Halili, Afu, L.O.A., 2016. Studi Perubahan Garis Pantai Dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Wilayah Pesisir Kecamatan Soropia. Sapa Laut 1, 24–31.

Hidayati, N., 2017. *Dinamika Pantai*. UB Press.

Istiqomah, F., Sasmito, B., Amarrohman, F.J., 2016. Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi *Digital Shoreline Anaysis System* (DSAS) Studi Kasus : Pesisir Kabupaten Demak. J. Geod. Undip 5.

Jin, D., Hoagland, P., Au, D.K., Qiu, J., 2015. *Shoreline Change, Seawalls, and Coastal Property Values*. *Ocean Coast. Manag.* 114, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.025>

Khomsin, Simatupang, R.S., 2016. Penentuan Batas Pengelolaan Wilayah Laut Daerah Antara Provinsi Jawa Timur dan Provinsi Bali Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 12, 6.

Kurniawan, R., Habibie, M.N., Suratno, 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. J. Meteorol. dan Geofis. 12.

Kurniawan, Usman, Isnaniah, 2015. *Study of Characteristics Physical and Chemical Fishing Area Jaring Insang (Gill Net) at Waters Rupert Utara Bengkalis District Riau Province*.

Lubis, D.P., Pinem, M., Simanjuntak, M.A.N., 2017. Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Menggunakan Citra Penginderaan Jauh (Studi Kasus di Kecamatan Talawi Kabupaten Batubara). J. Geogr. 9. <https://doi.org/10.24114/jg.v9i1.6044>

Maulana, E., Wulan, T.R., 2015. Pemotretan Udara dengan UAV untuk Mendukung Kegiatan Konservasi Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13837.13280>

Nafiah, N.F., Nugraha, A.L., Amarrohman, F.J., 2017. Kajian Penentuan Garis Pantai Menggunakan Metode UAV di Pantai Teleng Ria Kabupaten Pacitan. J. Geod. Undip 6, 10.

Nawawi, A., 2013. Partisipasi Masyarakat dalam Pengelolaan Wisata Pantai Depok di Desa Kretek Parangtritis. J. Nas. Pariwisata 5, 103–109.

Ondara, K., Husrin, S., 2017. Karakteristik Gelombang Pecah dan Analisis Transpor Sedimen di Perairan Teluk Kendari. J. Ilmu Dan Teknol. Kelaut. Trop. 9, 585–596. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i2.19293>

Putra, A.S., Maulana, E., Retno, T., Nurhidayah, P., Swastiko, F.A., Sanjaya, M.D.A., 2016. Uji Akuisisi Data dengan UAV untuk Monitoring Kondisi Mangrove dalam Mencegah Abrasi Air Laut (Studi Kasus : Pesisir Baros, Tirtoargo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul). Pros. Semin. Nas. Geogr. UMS.

Putri, K.M., Subiyanto, S., Suprayogi, A., 2017. Pembuatan Peta Wisata Digital 3 Dimensi Obyek Wisata Brown Canyon Secara Interaktif dengan

Menggunakan Wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). J. Geod. Undip 6, 1.

Ramadhani, Y.H., 2015. Pemetaan Pulau Kecil dengan Pendekatan Berbasis Objek Menggunakan Data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Studi Kasus di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu 17.

Saputro, G.B., Marschiavelli, M.I.C., Ibrahim, F., Maulana, E., 2017. *Identification of Typology Telated to the Coastal Line Changes in Bantul*. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 54. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012099>

Setiawati, R.S., 2012. Perubahan Wilayah Pantai dan Penutupan Lahan Pada Muara Sungai Pappa di Kabupaten Takalar.

Setiyowati, S., 2016. Studi Perubahan Garis Pantai Pulau Untung Jawa Kepulauan Seribu DKI Jakarta.

Sihombing, M., Agussalim, A., Affandi, A.K., 2017. Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal di Daerah Pesisir Sungai Bungin Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. Maspari J. 9, 25–32.

Sugiarta, E., 2018. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit di Pulau Lemukutan, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat.

Surya, T.T., 2017. Analisis Perubahan Garis Pantai Pada Kawasan Pesisir Kabupaten Asahan Provinsi Sumatera Utara.

Taukidah, D., Wulan, T.R., Rochim, A.N., Maulana, E., Putra, A.S., 2017. Dampak Abrasi Terhadap Aspek Ekonomi-Sosial Masyarakat di Pantai Depok, DIY. Kepesisiran Dan Kemaritiman Jawa Teng. II.

USGS, 2019. *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) <https://www.usgs.gov/centers/whcmsc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas>

Wardhana, P.N., 2015. Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0. J. Tek. XX.

Wentworth, C.K., 1922. *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*. J. Geol. 30.

Winarso, G., Joko, H., Arifin, S., 2009. Kajian Penggunaan Data Inderaja untuk Pemetaan Garis Pantai (Studi Kasus Pantai Utara Jakarta) 6, 8.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Koordinat *Tracking* Garis Pantai

Titik	Longitude	Latitude	Keterangan
1			Tepat di muara Sungai Opak
2	110.28257	-8.01338	Dekat muara sungai, tidak ada pemukiman, tidak ada vegetasi
3	110.28320	-8.01173	Dekat sungai, tidak ada pemukiman, tidak ada vegetasi
4	110.28420	-8.01188	Dekat sungai, tidak ada pemukiman, tidak ada vegetasi
5	110.28505	-8.01205	Dekat sungai, tidak ada pemukiman, tidak ada vegetasi
6	110.28556	-8.01222	Dekat sungai, tidak ada pemukiman, tidak ada vegetasi
7	110.28693	-8.01279	Tidak ada pemukiman, sedikit vegetasi
8	110.28759	-8.01299	Tidak ada pemukiman, lebih banyak vegetasi
9	110.28860	-8.01325	Terdapat pemukiman dikelilingi banyak vegetasi
10	110.28922	-8.01337	Terdapat pemukiman dikelilingi banyak vegetasi
11	110.28986	-8.01339	Terdapat pemukiman dikelilingi banyak vegetasi
12	110.29064	-8.01360	Padat pemukiman
13	110.29151	-8.01374	Padat pemukiman
14	110.29221	-8.01403	Padat pemukiman
15	110.29302	-8.01443	Padat pemukiman
16	110.29376	-8.01463	Padat pemukiman
17	110.29477	-8.01469	Jauh dari muara, dekat landasan pacu dan tidak ada pemukiman
18	110.29559	-8.01503	Jauh dari muara, dekat landasan pacu dan tidak ada pemukiman
19	110.29646	-8.01535	Jauh dari muara, dekat landasan pacu dan tidak ada pemukiman
20	110.29726	-8.01532	Jauh dari muara, dekat landasan pacu dan tidak ada pemukiman

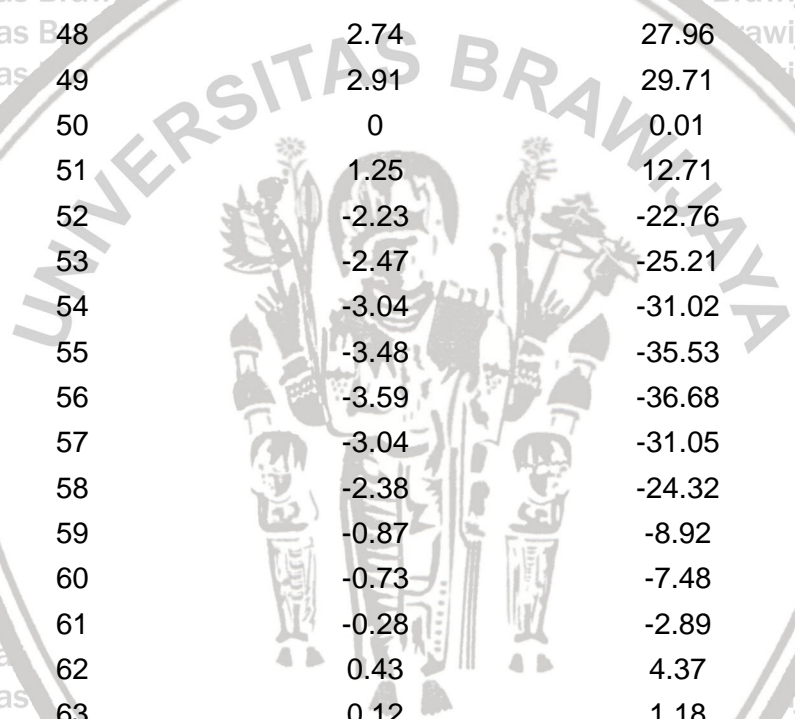


Lampiran 2. Nilai EPR dan NSM Setiap Transek

Transek	EPR (m/th)	NSM (m)
1	-0.11	-1.15
2	-1.06	-10.79
3	-1.66	-16.97
4	-2.25	-23
5	-2.57	-26.2
6	-3.15	-32.17
7	-3.14	-32.02
8	-2.3	-23.47
9	-1.45	-14.81
10	-1.08	-11.07
11	-0.06	-0.61
12	0.05	0.55
13	0.32	3.27
14	-0.38	-3.85
15	-1.25	-12.78
16	-1.68	-17.1
17	-1.83	-18.68
18	-2.45	-25.01
19	-2.67	-27.29
20	-1.55	-15.83
21	-1.08	-11.06
22	-0.93	-9.5
23	1.09	11.16
24	0.8	8.12
25	1.71	17.45
26	0.61	6.18
27	-0.55	-5.59
28	-1.86	-18.94
29	-3.04	-31.03
30	-1.46	-14.91
31	-4.3	-43.89
32	-3.86	-39.43
33	-1.72	-17.56
34	0.13	1.32
35	0.72	7.37
36	-0.61	-6.26



Transek	EPR (m/th)	NSM (m)
37	-0.65	-6.68
38	-0.24	-2.5
39	-0.13	-1.33
40	-0.36	-3.64
41	-1.37	-13.98
42	-1.12	-11.47
43	-0.83	-8.5
44	0.2	2.01
45	1.44	14.65
46	2.47	25.18
47	2.94	29.99
48	2.74	27.96
49	2.91	29.71
50	0	0.01
51	1.25	12.71
52	-2.23	-22.76
53	-2.47	-25.21
54	-3.04	-31.02
55	-3.48	-35.53
56	-3.59	-36.68
57	-3.04	-31.05
58	-2.38	-24.32
59	-0.87	-8.92
60	-0.73	-7.48
61	-0.28	-2.89
62	0.43	4.37
63	0.12	1.18



Lampiran 3. Dokumentasi Lapangan



Muara Sungai Opak



Foto empat arah mata angin untuk mengetahui kondisi sekitar



Bagian Sungai Opak yang sering terendam air



Kenampakan gelombang di Pantai Depok



Kondisi pasang tinggi di titik pariwisata



Kondisi pasang tinggi jauh dari titik pariwisata

