



**DINAMIKA *TOTAL SUSPENDED SOLIDS*
UNTUK PENGELOLAAN DELTA
DI SEGARA ANAKAN CILACAP**

DRAFT DISERTASI

Disusun Oleh:

**TRI NUR CAHYO
NIM. 26010115510022**

**DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2022**

LEMBAR JUDUL



**DINAMIKA *TOTAL SUSPENDED SOLIDS*
UNTUK PENGELOLAAN DELTA
DI SEGARA ANAKAN CILACAP**

DRAFT DISERTASI

Disusun Oleh:

**TRI NUR CAHYO
NIM. 26010115510022**

**DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2022**

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Disertasi dengan Judul “Dinamika *Total Suspended Solids* Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap” disusun dengan arahan promotor dan ko-promotor sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Doktor Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Disertasi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari disertasi ataupun karya ilmiah yang sudah dipublikasikan dan/atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Perguruan Tinggi atau Instansi manapun.

Sumber informasi pada bagian-bagian tertentu dalam penulisan Disertasi yang saya kutip dari hasil karya orang lain, telah disebutkan secara jelas sesuai dengan norma, kaídah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Disertasi ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Semarang, Desember 2022

Tri Nur Cahyo
NIM. 2601011550022

ABSTRAK

Tri Nur Cahyo. NIM. 2601011550022. Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap (**Agus Hartoko, Max R Muskananfolo dan Haeruddin**)

Laguna Segara Anakan (LSA) terletak di bagian barat daya Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Segara Anakan bagian barat telah mengalami tekanan lingkungan berupa beban sedimen terutama dari Sungai Citanduy. Variabilitas beban sedimen dengan beban maksimum pada musim hujan berpengaruh terhadap laguna, yaitu pengendapan sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan garis pantai, luasan badan-air, kedalaman, pembentukan delta secara spasial dan temporal di Segara Anakan bagian barat; Mengetahui sebaran Total Suspended Solids secara spasial dan temporal di Segara Anakan bagian barat dengan citra satelit Sentinel 2A; dan Mengkaji dugaan sebaran TSS melalui pemodelan hidrodinamika. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei, dengan mengolah data garis pantai dari beberapa sumber peta dasar dan citra satelit, data titik kedalaman, sedimen dasar, TSS, data pembentukan delta dari citra satelit, dan variabel pemodelan. Pengolahan data meliputi: ekstraksi garis pantai dari peta dasar dan citra satelit. Data garis pantai digunakan untuk pendugaan laju sedimentasi, luas badan air, data peta batimetri, kondisi batas pemodelan. Data titik kedalaman dan garis pantai untuk pembuatan peta batimetri, dan pembuatan *domain model*. Data sedimen dasar diolah dengan metode pengayakan dan gravimetri. Hasil olahan fraksi sedimen adalah diagram lingkaran, diagram Ternary, persen kumulatif, penentuan ukuran rerata dari sedimen campuran (istilah umum yang dipakai adalah D50), kemampuan sedimen untuk terpilah (sortasi), dan karakter kemencengan (skewness) dari data campuran sedimen. Analisis tumpang tindih beberapa peta garis pantai dan kedalaman menunjukkan hasil nilai atau pola yang berbeda. Kondisi LSA barat telah tertimbun lumpur dan mencapai lebih dari 85% dalam 161 tahun. Muatan sedimen dan akresi secara signifikan berdampak pada garis pantai dengan percepatan besar (177 Ha thn^{-1} pada 1999-2003). Rata-rata penurunan laju sedimentasi di LSA barat adalah 61 Ha thn^{-1} . Analisis batimetri di Perairan Pelawangan Barat dan laguna menunjukkan adanya endapan sedimen yang tinggi dan memberikan indikasi kedalaman yang semakin menurun. Formasi delta terbentuk dan berkembang mengikuti pola pasang surut. Formasi delta digunakan untuk memprediksi morfologi masa depan LSA barat. Proyeksi sedimentasi penuh LSA barat dalam 13,6 tahun setelah 2018, akan terjadi pada tahun 2023. Sebaran TSS di laguna Segara Anakan dipengaruhi oleh perubahan geomorfologi lokal, diantaranya perubahan kedalaman, pembentukan delta, fraksi sedimen pembentuk lapisan dasar, arus, pasang surut.

Kata Kunci : laguna Segara Anakan bagian barat, garis pantai, batimetri, formasi delta, Total Suspended Solids

ABSTRACT

Tri Nur Cahyo. NIM. 2601011550022. Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap (**Agus Hartoko, Max R Muskananfolo dan Haeruddin**)

Segara Anakan Lagoon (SAL) is located southwest of Central Java Province, Indonesia. The western SAL gets the environmental pressure, especially the sediment load from the Citanduy River. The variability of sediment load, including the maximum load during the rainy season, negatively impacts the lagoon, especially in sediment deposition. This research aimed to determine the spatio-temporal pattern of the shoreline, water body area, depth, and delta formation at the western SAL; to determine the spatio-temporal pattern of Total Suspended Solids (TSS) at the western SAL with Sentinel 2A satellite imagery; and assessing the distribution of TSS through hydrodynamic modeling. The research used the survey method, processing shoreline data from several sources of basemap and satellite imagery, depth points data, sediment-bed, TSS, ebb-tidal delta from satellite imagery, and modelling variable. Data processing includes: shoreline extraction from basemaps and satellite imagery. Shoreline data is used for estimating sedimentation rates, the water bodies area, bathymetric map data, modeling boundary conditions. Depth point and shoreline data for making bathymetric maps, and creating domain models. Sediment-bed data is processed by sieving and gravimetric methods. The sediment fractions interpreted as a pie diagram, Ternary diagrams, cumulative percentage, determining the mean size of the mixed sediments (the general term used is D50), the sortation, and the skewness of the mixed sediment data. Overlapping analysis of several shorelines and depth maps showed different results of values or patterns. The western SAL had silted up and reached more than 85% in 161 years. The sediment load and accretion significantly impact the shoreline with massive acceleration (177 Ha yr^{-1} in 1999-2003). The average decrease of sedimentation rate in western SAL was 61 Ha yr^{-1} . Base on the bathymetry analysis in two parts of the region showed that Pelawangan Barat waters and the main lagoon had high deposit sediment and gave an indication that the depth was decreasing. The delta formation was formed and developed following the tidal pattern during flood and ebb. The delta formation was used to predict the future morphology of the western SAL. Projected full sedimentation of western Segara Anakan Lagoon in 13.6 years after 2018, would be in 2023.

Key Word: *Western Segara Anakan Lagoon, shorelines, bathymetry, delta formation, Total Suspended Solids*

RINGKASAN

Tri Nur Cahyo. NIM. 2601011550022. Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap (**Agus Hartoko, Max R Muskananfolo dan Haeruddin**)

Laguna Segara Anakan merupakan laguna semi tertutup berada dalam wilayah Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah, Indonesia, mempunyai dua *outlet*, dengan nama lokal pelawangan. Pelawangan barat merupakan kanal terbuka laguna Segara Anakan dan Samudera Hindia, yang mendapat tekanan berupa masukan sedimen terutama dari Sungai Citanduy. Sedimentasi diduga menjadi perubahan geomorfologi (dinamika garis pantai, pengurangan badan air, pembentukan delta).

Garis pantai, didapatkan dengan dijitasi peta dasar standar (peta Rupa Bumi Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial) dan peta dasar lain dari referensi. Data garis pantai juga dapat di-ekstrak dari citra satelit. NDWI, re-classification, smoothing. Data penelitian meliputi sampel sedimen dasar, kedalaman, dan citra satelit Sentinel 2A dengan memperkirakan kondisi surut dan disesuaikan data pasang surut. Pengolahan lebih lanjut adalah perhitungan luas area perubahan beda waktu yang diduga sebagai jumlah sedimentasi yang terjadi secara spasio-temporal. Analisis tumpang tindih beberapa peta garis pantai dan kedalaman menunjukkan hasil nilai atau pola yang berbeda. Kondisi LSA barat telah tertimbun lumpur dan mencapai lebih dari 85% dalam 161 tahun.

Data titik kedalaman dan garis pantai digunakan untuk membuat peta batimetri. Peta batimetri dengan beda waktu dapat digunakan untuk pendugaan bagian yang mengalami penambahan sedimen dan pengurangan sedimen berdasarkan volume antar tahun. Peta batimetri juga dapat digunakan untuk pendugaan jumlah bersih sedimen per satuan waktu. Penelitian ini menggunakan data batimetri daerah laguna Segara Anakan tahun 2010 dan 2018. Analisis batimetri di Perairan Pelawangan Barat dan laguna menunjukkan adanya endapan sedimen yang tinggi dan memberikan indikasi kedalaman yang semakin menurun.

Sedimen dasar merupakan hasil pengendapan butir sedimen (fraksi sedimen) setelah tertransportasi dan mengendap dengan adanya pengaruh hidrodinamika. Energi dari hidrodinamika berasal dari debit sungai yang bermuara di laguna Segara Anakan dan perubahan elevasi muka air akibat pasang surut. Data sedimen dasar diolah dengan metode pengayakan dan gravimetri. Hasil olahan fraksi sedimen adalah diagram lingkaran, diagram Ternary, persen kumulatif, penentuan ukuran rerata dari sedimen campuran (istilah umum yang dipakai adalah D50), kemampuan sedimen untuk terpilah (sortasi), dan karakter kemencengan (skewness) dari data campuran sedimen. Hasil penelitian analisis diagram Ternary adalah Muara Sungai Citanduy mempunyai fraksi pasir lebih banyak, untuk perairan Pelawangan Barat didominasi pasir, laguna didominasi fraksi halus, yaitu lanau. Hasil dari D50, sortasi, dan kemencengan dari ketiga lokasi tersebut Muara Sungai Citanduy

dominasi pasir, Perairan Pelawangan Barat dominasi pasir, dan laguna fraksi sedimen halus, lanau dan liat; semua fraksi sedimen terpilah sangat bagus; kemencengan didominasi ke arah fraksi halus, kemencengan positif.

Pengolahan data pembentukan delta, menggunakan citra satelit Sentinel 2A saat surut, mengekstrakan data delta dengan Indeks pembeda air. Formasi delta terbentuk dan berkembang mengikuti pola pasang surut. Muatan sedimen dan akresi secara signifikan berdampak pada garis pantai dengan percepatan besar (177 Ha thn^{-1} pada 1999-2003). Rata-rata penurunan laju sedimentasi di LSA bagian barat adalah 61 Ha thn^{-1} . Formasi delta digunakan untuk memprediksi morfologi masa depan LSA barat. Proyeksi sedimentasi penuh LSA barat dalam 13,6 tahun setelah 2018, akan terjadi pada tahun 2023.

Sebaran TSS di laguna Segara Anakan dipengaruhi oleh perubahan geomorfologi lokal, diantaranya perubahan kedalaman, pembentukan delta, fraksi sedimen pembentuk lapisan dasar, arus, pasang surut.

**DINAMIKA *TOTAL SUSPENDED SOLIDS*
UNTUK PENGELOLAAN DELTA
DI SEGARA ANAKAN CILACAP**

DRAFT DISERTASI

Disusun Oleh:

**TRI NUR CAHYO
NIM. 26010115510022**

**DISERTASI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI PERSYARATAN
PROGRAM PENDIDIKAN STRATA TIGA (DOKTOR)
DALAM BIDANG ILMU
MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

**DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **Dinamika *Total Suspended Solids* Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap**

Nama : **Tri Nur Cahyo**

NIM : **2601011550022**

Program Studi : **Doktor Manajemen Sumberdaya Perairan**

Fakultas : **Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro**

telah disetujui

Tanggal :

Promotor

Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc
NIP. 19570816 198403 1 002

Co-Promotor I

Co-Promotor II

Dr. Ir. Max R Muskananfolo, M.Sc
NIP. 19591117 198503 1 020

Dr. Ir. Haeruddin, M.Si
NIP. 19630808 199201 1 001

Ketua Program Studi
Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan

Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si., M.Si
NIP. 19900809 201803 2 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan draft disertasi yang berjudul "**Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap**". Draft disertasi disusun sebagai syarat penyelesaian tugas akhir pada Program Studi Doktor Manajemen Sumberdaya Pantai, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas ini dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, beserta staf pengajar Program Studi Manajemen Sumberdaya Pantai yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalamannya,
2. Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, beserta staf pengajar atas dukungannya,
3. Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko (sebagai Promotor), Dr. Ir. Max R Muskananfolo, M.Sc (sebagai Co-Promotor I), dan Dr. Ir. Haeruddin, M.Si (sebagai Co-Promotor II), untuk waktu, ilmu, dan bimbingannya. Dan para penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan.

Semoga draft disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk penyempurnaan tulisan di masa datang (trinurcahyo@gmail.com).

Semarang, Desember 2022

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Orisinalitas.....	4
1.3.1. Hasil Pelacakan Penelitian Penginderaan Jauh Sedimen Layang	6
1.3.2. Hasil Pelacakan Penelitian Pemodelan Hidrodinamika di Estuari.....	9
1.3.3. Hasil Pelacakan Penelitian Pemodelan Sedimen Layang.....	11
1.3.4. Hasil Pelacakan Penelitian Perubahan Garis Pantai dan Delta pada Laguna.....	14
1.4. Aktualitas.....	16
1.5. Novelties.....	16
1.6. Tujuan.....	17
1.7. Hipotesis.....	17
1.8. Manfaat.....	17
1.8.1. Manfaat Akademik.....	17
1.8.2. Manfaat Praktis.....	18
1.8.3. Manfaat Strategis.....	18
1.9. Penjelasan Arti Judul.....	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	21
3.1. Laguna.....	21
3.1.1. Laguna Terstratifikasi (<i>Highly Stratified Lagoon</i>).....	21
3.1.2. Laguna Tercampur Sebagian (<i>Partially-Mixed Lagoon</i>).....	22
3.1.3. Laguna Tercampur Sempurna (<i>Well-Mixed Lagoon</i>).....	23
3.2. Sedimen.....	23
3.2.1. Karakteristik Sedimen.....	23

3.2.2.	Distribusi Ukuran Butir Sedimen	25
3.2.3.	<i>Total Suspended Solids</i>	25
3.3.	Penginderaan Jauh	28
3.3.1.	Citra Satelit.....	29
3.3.2.	Citra Landsat dan Sentinel 2A	30
3.3.3.	Penginderaan Jauh untuk TSS.....	31
3.4.	Hidrodinamika	34
3.4.1.	Persamaan Hidrodinamika	35
3.4.2.	Diskritisasi dan Solusi Persamaan.....	38
3.4.3.	Tahanan Dasar dan Hambatan Aliran	39
3.4.4.	Turbulensi.....	40
3.5.	Pergerakan Sedimen	41
3.5.1.	Persamaan Transpor Sedimen Tersuspensi	43
3.5.2.	Transpor Sedimen Kohesif.....	44
BAB III KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, DAN KERANGKA PENELITIAN		46
3.1.	Kerangka Teori	46
3.2.	Kerangka Konsep.....	48
3.3.	Kerangka Penelitian	49
3.4.	Fish-bone Penelitian TSS	50
BAB IV METODE PENELITIAN		51
4. 1.	Perubahan Garis Pantai, Luas Badan-Air, Kedalaman, dan Delta di Segara Anakan	51
4.1.1.	Perubahan Garis Pantai dan Luas Badan Air	52
4.1.2.	Perubahan Kedalaman dan Pembentukan Delta	53
4. 2.	Sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan	54
4. 3.	Pemodelan arus dan Sebaran TSS	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1.	Perubahan Geomorfologi	59
4.1.1.	Perubahan Garis Pantai	60
4.1.2.	Perubahan Luas Permukaan Air.....	63
4.1.3.	Perubahan Kedalaman	65
4.1.4.	Pembentukan Delta	66
4.1.5.	Sebaran Sedimen Dasar	68

4.2. Sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan.....	75
4.3. Pemodelan Hidrodinamika dan TSS di Laguna Segara Anakan Bagian Barat	78
4.3.1. Pemodelan Arus	78
4.3.1. Pemodelan Sebaran TSS	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pelacakan Penelitian Penginderaan Jauh Sedimen Layang	6
2. Pelacakan Penelitian Pemodelan Hidrodinamika di Estuari	9
3. Pelacakan Penelitian Pemodelan Sedimen Layang	11
4. Pelacakan Penelitian Perubahan Garis Pantai dan Delta pada Laguna	14
5. Klasifikasi ukuran butir sedimen.....	24
6. Nama dan Panjang Gelombang pada Landsat 7 dan Landsat 8.....	32
7. Spesifikasi Citra Sentinel 2A.....	33
8. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian	55
9. Laju sedimentasi di Laguna Segara Anakan Bagian Barat	63
10. Fraksi sedimen dasar laguna Segara Anakan bagian barat.....	69
11. Sediment Characteristics of Western Segara Anakan Lagoon	71
12. Nilai TSS dan nilai reflektansi tiap band Sentinel 2A.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lokasi Penelitian, laguna Segara Anakan Cilacap	20
2. Tipe laguna. (a) terstratifikasi (b) tercampur sebagian (c) tercampur sempurna	23
3. Proses pengendapan sedimen non-kohefif dan kohefif.....	27
4. Kerangka teori sebaran TSS	47
5. Kerangka konsep sebaran TSS dan pemodelan.....	49
6. Kerangka Penelitian.....	50
7. Fish-bone dari Roadmap Penelitian TSS di Segara Anakan	50
8. Diagram kerja pemodelan.....	58
9. Perubahan area garis pantai di Segara Anakan bagian barat.....	62
10. Perubahan luas badan air secara temporal di Segara Anakan Bagian Barat	65
11. Perubahan batimetri di Laguna Segara Anakan bagian barat.....	67
12. Formasi delta pada bagian laguna Segara Anakan bagian barat	68
13. Proyeksi sedimentasi pada tahun 2032 dengan luas badan air 685,86 Ha	69
14. Stasiun pengambilan sampel sedimen dasar dan kelas fraksi sedimen	70
15. Analisis sedimen dengan diagram Ternary dan D50 di LSA.....	73
16. Sebaran fraksi sedimen dalam persen di LSA.....	74
17. Titik pengambilan TSS dengan latar belakang reflektan band 2 Sentinel.....	76
18. Kondisi pasang surut pada saat akuisisi data citra satelit Sentinel Tanggal 16 Agustus 2018	76
19. Hubungan antar kanal untuk penentuan algoritma dengan polinomial level 2 ...	77
20. Pola Arus di Pelawangan Barat Segara Anakan.....	80
21. Pola sebaran MPT pada saat (a) pasang dan (b) surut (gr/l).....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Segara Anakan merupakan estuari semi tertutup (terlindung oleh pulau Nusakambangan) yang mempunyai dua *inlet-outlet* (disebut pelawangan) di sebelah timur dan barat. Pelawangan sebelah timur merupakan akses pelabuhan perniagaan dan industri kota Cilacap, pelawangan sebelah barat merupakan akses nelayan Kawasan Segara Anakan dan Samudera Hindia. Kondisi pelawangan sebelah timur tidak mengalami perubahan yang nyata, sedangkan Segara Anakan bagian barat mendapat tekanan berupa masukan sedimen terutama dari Sungai Citanduy (masuk wilayah Jawa Barat) sebesar 5 juta m³ per tahun, dan Sungai Cimeneng/Palindukan dan Sungai Cibeureum (masuk wilayah Jawa Tengah) sebesar 770 ribu m³ per tahun, yang akhirnya keluar ke laut.

Segara Anakan dengan *inlet-outlet* bagian barat dan timur menghubungkan Samudera Hindia, sehingga dipengaruhi oleh pasang surut. Segara Anakan juga dipengaruhi sungai-sungai yang bermuara di laguna, sebelah barat diantaranya Sungai Citanduy, Sungai Cibeureum, dan Sungai Cikonde, di bagian timur diantaranya Sungai Sapuregel dan Sungai Donan. Debit sungai-sungai tersebut dan pasang surut akan mempengaruhi kondisi hidrodinamika Segara Anakan. Sungai Citanduy sebagai sungai terbesar dan menyumbang 80% debit air dan sedimen layang masuk ke dalam laguna (Purba dan Sujastani, 1989; Matsuyama *et al.*, 1994; Nugrahadhi dan Tejakusuma, 2007), 20% debit dari sungai-sungai lain.

Isu pengelolaan Kawasan Segara Anakan adalah tingginya laju sedimentasi dengan akibat primer berkurangnya luas area perairan. Hidrodinamika dan sebaran

Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solids* selanjutnya ditulis TSS) merupakan aspek penting dalam pengelolaan Segara Anakan yang erat kaitannya dengan transpor material, kualitas air, dan sedimentasi.

Sedimentasi merupakan material sedimen yang masuk ke dalam perairan baik yang berada di dasar perairan (*bed load*) maupun yang melayang (*suspended load*) (van Rijn, 1993; Lin dan Falconer, 1995). Dalam penelitian ini hanya membahas tentang dinamika sedimen melayang, dimana TSS diduga merupakan salah satu bentuk dari sedimen melayang. *Total suspended solid*, merupakan partikel-partikel yang melayang dalam air, terdiri dari komponen biotik dan komponen abiotik (Hartoko 2010).

Selama bertahun-tahun sedimen yang terbawa oleh aliran sungai-sungai, masuk ke Segara Anakan dan diendapkan, sehingga menjadi dangkal dalam waktu yang cepat (Purba dan Sujastani, 1989; Matsuyama *et al.*, 1994). Ongkosongo *et al.* (1986) menyatakan bahwa sebagian besar sedimen yang membentuk dataran lumpur (delta) berasal dari Sungai Citanduy dan diendapkan sebesar 65% dan sisanya diangkut ke laut khususnya melalui Pelawangan Barat. Sedimentasi diduga akan mempengaruhi morfodinamik laguna Segara Anakan yaitu dinamika dari perubahan garis pantai, berkurangnya luasan badan-air, perubahan kedalaman, pembentukan delta, dinamika sebaran sedimen dasar, yang selanjutnya dapat mempengaruhi kondisi hidrodinamika, selanjutnya diduga mempengaruhi sebaran TSS.

Konsentrasi TSS dapat diketahui melalui data lapang dan TSS secara temporal dapat dilihat dan diketahui melalui citra satelit (Parwati *et al.*, 2006), dengan penggunaan teknologi penginderaan jauh. Penginderaan jauh merupakan ilmu

memperoleh informasi suatu obyek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Prahasta, 2008). Data lapang dan citra satelit TSS dapat dipetakan dan digunakan sebagai validasi dari suatu pemodelan sebaran TSS.

Pemodelan sebaran TSS merupakan gambaran dinamika TSS yang terdistribusi secara adveksi dan dispersi. Pemodelan TSS dibangkitkan oleh model arus. Pemodelan arus dan TSS di Segara Anakan diharapkan dapat diketahui sebaran TSS dan dugaan daerah pengendapannya, sehingga dampak secara ekologis dapat diminimalisir dalam pengelolaan kawasan. Jumlah masukan (*load*) TSS diharapkan dapat digunakan sebagai masukan dalam pengelolaan daerah atas (*up-land*).

1.2. Perumusan Masalah

Perubahan garis pantai, pembentukan delta, pendangkalan, dan berkurangnya luas badan-air merupakan dampak dari masuknya sedimen ke Segara Anakan. Perubahan morfodinamik diduga mempengaruhi sebaran TSS.

Sebaran TSS permukaan dapat diketahui dengan penggunaan teknologi penginderaan jauh. Data TSS yang tersebar secara spasial dikenali dengan nilai hambur balik kanal tertentu setelah citra terkoreksi. Citra satelit mampu menghasilkan pola distribusi TSS.

Distribusi TSS yang berasal dari sungai Citanduy ke laguna Segara Anakan lebih banyak ke arah pusat laguna dan sebagian kecil ke arah laut (Ongkosongo *et al.*, 1986). Sebaran TSS dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika Segara Anakan

dan Samudera Hindia, faktor-faktor yang diduga mempengaruhi adalah arus, pasang-surut, angin, kondisi dasar perairan, salinitas (Holtermann *et al.*, 2009).

Dinamika pergerakan air (arus) di Segara Anakan didominasi oleh pasang surut (Purba dan Sujastani, 1989; Matsuyama *et al.*, 1994; Nugrahadhi dan Tejakusuma, 2007; Holtermann *et al.*, 2009; Cahyo, 2012). Kondisi hidrodinamik, terutama arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dan interaksinya dengan sebaran TSS di Segara Anakan perlu dikaji dengan pendekatan observasi dan pemodelan.

Sebaran TSS di Segara Anakan dan distribusinya sangat penting untuk diketahui dari beberapa aspek, maka disusunlah suatu rumusan permasalahan dalam bentuk pertanyaan ilmiah (*Research Question*) sebagai berikut:

- a. Bagaimana perubahan morfodinamik di Segara Anakan: perubahan garis pantai, berkurangnya luasan badan-air, perubahan kedalaman, pembentukan delta secara spasial dan temporal?
- b. Bagaimana sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan?
- c. Bagaimana dugaan sebaran TSS melalui pemodelan hidrodinamika?

1.3. Orisinalitas

Penelitian yang akan dilakukan memiliki orisinalitas dalam hal penggunaan beberapa data: karakter fisik TSS, sebaran TSS dari citra secara temporal, pemodelan sebaran TSS yang dibangkitkan dengan pemodelan arus. Sebaran dan pengendapan TSS dipengaruhi oleh hidrodinamika Segara Anakan dan sebaliknya.

Hasil penelusuran pustaka yang dapat dijadikan *state of Art* dari penelitian ini (Tabel 1 sampai Tabel 4). Penelitian tentang hidrodinamika dan sebaran TSS di

Segara Anakan yang dikaitkan dengan perubahan garis pantai, perubahan luas area badan air, sedimen dasar, dan pembentukan delta, belum dilakukan.

Hasil pelacakan/penelusuran Pustaka untuk penetapan Orisinalitas, Novelties dan *State of the Art*

1.3.1. Hasil Pelacakan Penelitian Penginderaan Jauh Sedimen Layang

Tabel 1. Pelacakan Penelitian Penginderaan Jauh Sedimen Layang

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Novelty
1	Combined Use of Remote Sensing and Continuous Monitoring to Analyse the Variability of Suspended-Sediment Concentrations in San Francisco Bay, California. Ruhl, C. A., D. H. Schoellhamer, R. P. Stumpf, and C. L. Lindsay. 2001. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 35(2001):801-812.	Mengetahui sebaran sedimen layang dengan menggunakan sensor hambur-balik secara optik dan citra satelit	Kombinasi data konsentrasi sedimen layang secara temporal dan citra satelit adalah berguna dalam analisa sebaran sedimen layang di teluk San Francisco. Sensor hambur-balik optik (<i>Optical backscatterance</i> , OBS) menyediakan data SSC dengan resolusi temporal yang tinggi, sedangkan citra satelit menyediakan resolusi spasial. Kombinasi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui sebaran SSC berkaitan dengan proses fisik: debit air tawar, siklus pasang surut, dan perbedaan transpor pada kanal yang dalam dan dangkal. Selama arus surut, sedimen layang ditranspor oleh air tawar ke dalam estuari, dan membentuk lidah sedimen (<i>plume</i>) di Samudera Pasifik. Novelties Penggunaan kombinasi metode untuk mengukur sedimen layang, yaitu dengan sensor hambur-balik optik sistem kontinyu dan citra satelit.
2	Variation in the projected surface area of suspended particles: Implications for remote sensing assessment of TSM. Mikkelsen, O. A. 2002. Remote Sensing of Environment 79(2002):23– 29.	Mengetahui faktor penentu projected surface area (PSA) dari partikel tersuspensi. Mengetahui analisis regresi antara TSM dan reflektansi citra satelit.	PSA tergantung dari volume konsentrasi (VC) dan insitu distribusi ukuran partikel dari materi tersuspensi. Adanya korelasi antara PSA dan TSM berarti TSM dapat diduga dari data citra satelit. Novelties Penggunaan metode laser difraksi dalam penentuan ukuran partikel, dan densitas sedimen layang untuk menduga nilai TSM, selanjutnya dengan penggunaan PSA untuk menduga nilai TSM dari citra satelit.
3	Analisis Hubungan Penutup/Penggunaan Lahan Dengan <i>Total Suspended Matter</i> (TSM) Kawasan Perairan Segara Anakan Menggunakan Data Inderaja	Menganalisis Hubungan Penutup/Penggunaan Lahan Dengan <i>Total Suspended Matter</i> (TSM) Kawasan Perairan Segara	Hasil analisis perubahan luas tutupan lahan menggunakan data inderaja dengan tanggal perolehan yang berbeda dapat menggambarkan dinamika kondisi perairan Segara Anakan. Perubahan yang terjadi dalam rentang waktu 25 tahun, yaitu dari tahun 1978 sampai dengan tahun 2003 dapat digunakan untuk memprediksi kondisi yang akan terjadi beberapa tahun mendatang.

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
	Parwati, E., Trisakti, B., Carolita, I., Kartika, T., Harini, S. dan Dewanti, K. 2006. Jurnal Penginderaan Jauh. 3(1):87-97.	Anakan Menggunakan Data Inderaja	Kegiatan ini hanya menggunakan satu parameter utama, yaitu parameter fisik kawasan Segara Anakan dan sekitarnya yang diekstrak dari data inderaja Landsat. Hasilnya merupakan output awal bagi para pengambil kebijakan yang masih perlu diintegrasikan dengan data-data pendukung lainnya, sehingga hasil analisis selanjutnya lebih menjawab permasalahan yang ada. Novelties Dibangunnya model numerik untuk menghitung penyusutan laguna, dilihat dari perubahan luas laguna, dengan prediksi 34 tahun dari 1978 (2012), dimana luas laguna akan mendekati nol.
4	Optical Algorithms at Satellite Wavelengths for Total Suspended Matter in Tropical Coastal Waters. Ouillion, S., P. Douillet, A. Petrenko, J. Neveux, C. Dupouy, J-M Froidefond, S. Andréfouët, and A. Muñoz-Caravaca. 2008. Sensors. DOI: 10.3390/s8074165. 4165-4185	Membandingkan beberapa algoritma TSM, yang berkaitan dengan kekeruhan, pada 3 area pantai tropis. Penggunaan algoritma bersifat lokal untuk lokasi yang bersesuaian.	Algoritma empiris diuji dengan kanal satelit yang digunakan untuk aplikasi di pantai. Algoritma umum juga dihasilkan untuk penggabungan semua data. Algoritma satu-kanal terbaik dari semua pengukuran dicapai oleh 681 nm dengan model polinomial atau kuadratik. Algoritma dua-kanal terbaik dicapai dengan R412/R620, R443/R670 dan R510/R681. Algoritma tiga-kanal terbaik berdasarkan Rrs620.Rrs681/Rrs412 dan Rrs620.Rrs681/Rrs510 dengan regresi cukup. Novelties Penggunaan algoritma umum untuk menduga konsentrasi TSM, dengan penggunaan algoritma untuk satu, dua, dan tiga kanal.
5	Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Melalui Pendekatan Penginderaan Jauh di Perairan Pesisir Semenanjung Muria-Jepara Susiaty, H., E. Kusratmoko, & A. Poniman. 2010. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah 13(1):72-79	Menentukan pola distribusi TSS di Semenanjung Muria, Jepara	Secara spasial pola sebaran TSS dari tahun 1989 sampai 2008 tidak menunjukkan adanya perbedaan, namun demikian ada kecenderungan wilayah dengan konsentrasi TSS antara > 36 mg/liter meningkat, khususnya di sisi timur perairan Semenanjung Muria. Arus laut dan morfologi pantai daerah penelitian mempengaruhi pola sebaran konsentrasi yang terjadi. Dari sisi proses sedimentasi yang terjadi di Semenanjung Muria, lokasi sebelah timur laut dari lokasi penelitian menunjukkan lokasi perairan kurang memenuhi syarat sebagai sumber air pendingin karena proses sedimentasi yang lebih besar dibandingkan daerah sisi barat.
6	Pemantauan Konsentrasi Total Padatan Tersuspensi di Perairan Delta Cimanuk, Jawa Barat, Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal.	Mengetahui perubahan konsentrasi TSS di perairan Delta Cimanuk berdasarkan data citra	Berdasarkan data citra Landsat 5 TM tahun 1991, Landsat 7 ETM+ tahun 2001 dan 2003, distribusi konsentrasi TSS di perairan Delta Cimanuk pada rentang waktu tersebut (1991 – 2007) cenderung menurun. Hal tersebut dapat dilihat dari perbandingan luas sebaran TSS dan distribusi konsentrasinya.

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
	Solihuddin, Tb. 2010. Ilmu Kelautan. 1(edisi khusus):110-118.	landsat akuisisi tahun 1991, 2001 dan 2007.	<p>Penurunan distribusi konsentrasi TSS di perairan Delta Cimanuk disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: pembuatan sudetan-sudetan baru pada badan S. Cimanuk, menyebabkan debit aliran sungai dan material sedimen yang dibawa oleh S. Cimanuk berkurang, pembuatan bendungan pada badan S. Cimanuk untuk keperluan pengairan sawah dan irigasi, serta penyempitan badan sungai, debit aliran sungai mengecil, dan musim kemarau yang lebih lama dibandingkan dengan musim hujan.</p> <p>Faktor iklim (cuaca) sangat berpengaruh terhadap konsentrasi TSS di perairan, karena pada saat musim hujan debit air sungai yang masuk ke perairan laut akan lebih tinggi dibandingkan dengan debit air sungai pada saat musim kemarau. Selain itu arus laut juga berperan di dalam mengontrol dinamika distribusi TSS di perairan, karena pola dan kecepatan arus berbeda saat pasang dan surut terjadi, sehingga akan berpengaruh terhadap konsentrasi TSS yang dibawanya.</p>
7	<p>Simple Statistical Formulas for Estimating Biogeochemical Properties of Suspended Particulate Matter in The Southern Baltic Sea Potentially Useful for Optical Remote Sensing Applications.</p> <p>Wozniak, S. B. 2014. Oceanologia. 56(1):8-39.</p>	<p>Mengembangkan formula statistik sederhana untuk mengestimasi sifat biogeokimia dari materi partikel tersuspensi (<i>suspended particulate matter</i>, SPM) di laut Baltik sebelah selatan pada sifat optik berbeda dari air laut, dengan menggunakan teknik penginderaan jauh.</p>	<p>Penyederhanaan secara statistik dari hubungan kompleks antara properti biogeokimia dari SPM di air laut, dan sifat optiknya. Kesalahan statistik terkecil dari formula estimasi dicapai pada hubungan antara SPM dan POM dengan koefisien hambur-balik pada panjang gelombang biru (443 nm).</p>

1.3.2. Hasil Pelacakan Penelitian Pemodelan Hidrodinamika di Estuari

Tabel 2. Pelacakan Penelitian Pemodelan Hidrodinamika di Estuari

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
1	<p>Hydrodynamics of Segara Anakan Lagoon.</p> <p>Holtermann, P., H. Burchard, and T. Jennerjahn. 2009. <i>Reg Environ Change</i>. 9(4):245-258.</p>	<p>Membangun model 3D arus dan salinitas di Laugna Segara Anakan Cilacap</p>	<p>Salinitas pengukuran di desa Klaces menunjukkan disiram lengkap laguna barat selama pasang surut di musim hujan, yang diasumsikan untuk meningkatkan sedimentasi. Salinitas berarti bagian barat berada di urutan 10 dan 21 g / kg, sedangkan bagian timur memiliki salinitas berarti lebih besar dari 27 dan 32 g / kg untuk hujan dan kering musim, masing-masing. Sebuah studi sensitivitas numerik menunjukkan hubungan antara pelepasan dan Citanduy netto volume air transportasi antara timur dan barat bagian dari Segara Anakan. Sebuah nett transportasi ke barat, yang berbeda dari pasang surut ke musim semi, berubah menjadi nol ketika Citanduy pelepasan adalah antara 300 dan 400 m³ / s. Itu waktu pembilasan dari laguna tergantung pada musim monsun dan adalah sekitar 1-3 hari di outlet barat dan meningkat menjadi 12 hari di bagian tengah.</p>
2	<p>Analisis model sebaran bahan pencemar di Perairan Selat Nguan, Batam.</p> <p>Sachoemar SI, Purwandani A. 2009. <i>J. Tek. Ling.</i> 10(1):90-103.</p>	<p>Menganalisis model sebaran bahan pencemar di Perairan Selat Nguan, Batam</p>	<p>Pola sebaran bahan pencemar perairan Nguan dipengaruhi oleh musim, pasang surut, arah dan kecepatan arus, ukuran volume bahan pencemar, asal bahan pencemar. Bahan pencemar yang dominan di Nguan adalah partikel tersuspensi yang berasal dari pesisir dan tambang pasir. Perairan Nguan memiliki kemampuan untuk membersihkan diri cukup tinggi.</p>
3	<p>Model Dispersi Bahang Hasil Buangan Air Proses Pendinginan PLTGU Cilegon CCPP Ke Perairan Pantai Margasari Di Sisi Barat Teluk Banten.</p> <p>Nurjaya, I. W. dan H. Surbakti. 2010. <i>E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis</i>, 2(1):31-49.</p>	<p>Mengetahui seberapa jauh pengaruh kegiatan reklamasi terhadap lingkungan sekitar, khususnya <i>disperse</i> bahang hasil buangan proses cooling water.</p>	<p>Hasil model simulasi arus mempunyai pola yang sama yakni bergerak dengan sumbu utama barat laut dan tenggara, namun besaran kecepatan arus dari model lebih kecil bila dibandingkan dengan hasil pengukuran arus di lapangan. Pola dispersi bahang hasil buangan dari proses pendinginan turbin PLTGU yang di-running selama 15 hari baik pada saat musim timur dan musim barat hampir sama, yaitu 600-750 ke arah selatan dengan beda suhu 0,5 °C. Data pasut dari NAO tide kurang baik digunakan di perairan pantai yang dangkal dan memiliki konfigurasi yang kompleks, seperti di perairan sisi barat Teluk Banten.</p>

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
			Untuk verifikasi model, data arus dan suhu hasil pengukuran di lapangan sebaiknya diukur pada setiap lapisan kedalaman, kemudian dirata-ratakan berdasarkan kedalaman.
4	<p>Hidrodinamika dan Sebaran Materi Padatan Tersuspensi Di Perairan Pelawangan Barat, Segara Anakan Cilacap</p> <p>Cahyo, T. N., I W. Nurjaya, dan N. M. N. Natih. 2012. Tidak dipublikasikan</p>	<p>Mengkaji dinamika arus dan sebaran Muatan Padatan Tersuspensi di Perairan Pelawangan Barat dengan pendekatan observasi dan model. Mengetahui beban Muatan Padatan Tersuspensi yang keluar dari Perairan Pelawangan Barat.</p>	<p>dominasi pasang surut dalam mempengaruhi pola arus di PPB, arus mengarah ke Laguna Segara Anakan pada saat pasang dengan adanya turbulensi akibat tahanan dasar perairan. Pemodelan hidrodinamika memberikan gambaran arus. Besarnya beban (load) MPT ke laut sebesar 20.87 kg/detik dengan fluks 0.0139 kg/m²/detik</p>
5	<p>Numerical modeling of circulation in high-energy estuaries: A Columbia River estuary benchmark.</p> <p>Kärnä, T., A. M. Baptista, J. E. Lopez, P. J. Turner, C. McNeil, and T. B. Sanford. 2015. <i>Ocean Modelling</i>. 88(2015):54-71.</p>	<p>Penggunaan model detail resolusi tinggi, berdasarkan observasi resolusi tinggi yang didapatkan di estuari sungai Columbia. Penggunaan dua alat AUV dan <i>profiler</i> dengan <i>winch</i>. Memodelkan salinitas dengan model SELFE (<i>semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite element model</i>).</p>	<p>Data AUV menggambarkan dinamika salinitas detail di kanal utara. Hasil dari model SELFE dapat mensimulasikan dinamika salinitas pada estuari Sungai Columbia. Model secara spasial dan temporal, gesekan dasar yang disesuaikan tiap aplikasi. Model dapat memperlihatkan intrusi salinitas dengan akurasi tinggi baik pada kondisi debit tinggi dan rendah.</p>

1.3.3. Hasil Pelacakan Penelitian Pemodelan Sedimen Layang

Tabel 3. Pelacakan Penelitian Pemodelan Sedimen Layang

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Novelty
1	Modeling transportation of suspended solids in Zhujiang River estuary, South China. Xiaohong, C., Yongqin, C., & Guoyou, L. 2005. Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 23(1):2-10.	Pembuatan model dengan 3 faktor, yaitu arus pasang surut, lumpur di dasar perairan, dan deposisi dengan flokulasi atau resuspensi. Model 3 dimensi tersebut dibangun dan di-kopel dengan model 3 dimensi hidrodinamika arus densitas.	Transpor padatan tersuspensi di estuari Sungai Zhujiang dipengaruhi oleh debit sungai, arus pasang surut, dan tahanan dasar vertikal dekat dasar. Model 3D mensimulasi transpor padatan tersuspensi sebagai mekanisme dari adveksi, difusi, pengendapan partikel flokulasi, penggosokan (<i>scouring</i>) dan pelumpuran (<i>silting</i>) dasar perairan, dan pengaruh gelombang dan pasang surut. Model dijalankan 10 hari dan divalidasi dengan 4 data lapangan. Hasil pemodelan padatan tersuspensi adalah sesuai dengan pengukuran lapangan. Novelties Pembuatan model hidrodinamika 3 dimensi dengan melibatkan arus pasang surut, lumpur di dasar perairan, flokulasi atau resuspensi, dan arus densitas.
2	Study on Seasonal Variation of Cohesive Suspended Sediment Transport in Estuary of Mahakam Delta by using A Numerical Model. Hadi, S., Ningsih, N. S., dan Tarya, A. 2006. Jurnal Teknik Sipil. 13(1):11-22.	Pembuatan model 3D untuk mengetahui transpor sedimen kohesif di estuari Delta Mahakam	Aplikasi model estuari Mahakam memperlihatkan bahwa pasang surut dan variasi musiman dari debit sungai adalah penyebab utama variasi dari sedimen tersuspensi. Saat pasang tinggi (<i>spring tide</i>), berarus kuat dan sedimen tersuspensi lebih besar daripada saat pasang rendah (<i>neap tide</i>). Secara umum, model kopel 3D hidrodinamik dan transpor sedimen dapat mensimulasi transpor sedimen tersuspensi di perairan delta Mahakam. Aplikasi model dapat dikembangkan menjadi penelitian untuk memprediksi proses morfologi, yaitu perubahan tingkat dasar perairan dan erosi pantai. Novelties Penggunaan model sirkulasi dan transpor sedimen layang model 3D ECOMSED, yang dikembangkan oleh HydroQual, Inc, USA tahun 2002.
3	Pola arus dan sebaran sedimen di teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur. Akhwady R, dan Sufyan A. 2008. JurnalitbangdaNTT. 4(3):229-242	Penelitian ini menitikberatkan pada prediksi perilaku hidrodinamika yang terjadi di sepanjang pesisir teluk	Kecepatan arus model RMA2 daerah pantai yang agak ke tengah kurang signifikan karena letaknya jauh dari muara, sehingga nilainya lebih kecil dari kecepatan arus pengukuran.

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
		dengan melakukan simulasi pemodelan numerik (dengan parameter yang berpengaruh seperti: arus, transport sediment dan perubahan bathimetri).	Sebaran sedimen dari pemodelan dengan SED2D menunjukkan bahwa sebaran sedimen yang lebih banyak dipengaruhi oleh debit sungai dan arus pasang surut, menyebabkan pendangkalan di daerah muara sungai yang ada. Suplai sedimen di muara sungai Manikin banyak dipengaruhi terjadinya sedimentasi yang besar, terutama di muasim hujan. Untuk itu perlu dilakukan penataan kawasan alur sungai untuk mengurangi suplai material sungai dari hulu hingga muara. Dinamika garis pantai perlu ditanggulangi dengan reboisasi mangrove atau dengan pembuatan struktur pengendalian. Noveltis Penggunaan model numerik untuk mengetahui pola arus dan sebaran sedimen di teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur.
4	Simulasi Model Transpor Sedimen Tersuspensi Untuk Mendukung Perencanaan Pelabuhan Teluk Bayur, Sumatera Barat. Sugianto, D. N. 2009. Jurnal Teknologi Lingkungan. 5(2):46-54.	mengetahui pola transpor sediment tersuspensi di lokasi rencana pengerukan (dredging) dan dumping site dalam perencanaan pengembangan pembangunan pelabuhan di Teluk Bayur Propinsi Sumatera Barat.	Sedimen dasar perairan teluk Bayur didominasi oleh pasir, lanau, dan sedikit gravel. Konsentrasi TSS sebelum dilakukan pengerukan memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut (6,0 – 10,0 mg/L). Simulasi model yang dilakukan untuk mendukung kegiatan pengerukan dan penimbunan di lokasi dumping site menunjukkan bahwa pola sebaran sedimen tersuspensi (TSS) sangat dipengaruhi oleh pola arus pada musim tertentu, dimana ketika musim barat pola dan konsentrasi sedimen tersuspensi cenderung kearah timur-selatan begitu juga sebaliknya pada musim timur. Hasil simulasi yang dilakukan jika hanya ada aktivitas pengerukan pada musim barat, konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu (80 mg/L) berada pada jarak 0,47 – 1,78 km sedangkan pada musim timur 1,01 – 2,03 km. Sedangkan jika dilakukan simulasi secara bersamaan antara pengerukan dan penimbunan di dumping site, maka pada musim barat berada pada jarak 1,19 – 5,40 km dan pada musim timur 1,2 – 6,04 km
5	Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Pemangkat, Sambas Kalimantan Barat Menggunakan Metode Pemodelan. Solihuddin, Tb, E. M. Sari, G. Kusumah. 2011. Buletin Geologi Tata Lingkungan. 21(3):117 – 126.	Mengetahui pergerakan sedimen dan muatan sedimen yang dibawa oleh aliran Sungai Sambas ke perairan Pemangkat	Berdasarkan distribusi konsentrasi TSS dan prediksi laju sedimentasi, maka dapat disimpulkan bahwa perairan Pemangkat termasuk perairan dengan proses sedimentasi cukup tinggi. Hal tersebut berdampak pada proses pendangkalan di sekitar muara sungai dan beresiko tinggi terhadap kehidupan biota dalam air. Hasil prediksi menunjukkan bahwa pada bulan Januari 2011, muatan sedimen yang dibawa oleh aliran Sungai Sambas ke muara sebesar ± 21.347,076 Kg. Bentang alam di sekitar daerah penelitian yang sebagian besar merupakan dataran alluvial (lempung, pasir dan kerakal) turut memberikan kontribusi besar terhadap tingginya pasokan sedimen

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
6	<p>Modeling investigation of suspended sediment transport in a tidal estuary using a three-dimensional model.</p> <p>Chen, W-B., W-C. Liu, M-H. Hsu, and C-C. Hwang. 2015. Applied Mathematical Modelling. 39(2015):2570 – 2586.</p>	<p>Pembuatan model hidrodinamika 3D transpor dengan grid tidak terstruktur, resuspensi, dan deposisi SSC di estuari sungai Danshui dan laut terdekat</p>	<p>Model 3D SELFE dengan modul transpor SSC, terkalibrasi dan tervalidasi, menunjukkan hasil bagus dan sesuai dengan data observasi. Hasil pemodelan membuktikan bahwa sedimen tersuspensi terjebak di bagian dalam kanal. Difusi vertikal yang tinggi meningkatkan SSC sebab tahanan dasar yang besar selama arus surut. Saat kondisi debit sungai yang ekstrem, SSC di kolom air meningkat baik di dasar ataupun permukaan.</p>

1.3.4. Hasil Pelacakan Penelitian Perubahan Garis Pantai dan Delta pada Laguna

Tabel 4. Pelacakan Penelitian Perubahan Garis Pantai dan Delta pada Laguna

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
1	<p>Analisis Perubahan Garis Pantai Dan Penutupan Lahan Antara Way Penet Dan Way Sekampung, Kabupaten Lampung Timur.</p> <p>Purba, M., dan I. Jaya. 2004. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia. 11(2):109-121.</p>	<p>Menelaah dinamika gerak air yang mengakibatkan perubahan garis pantai melalui proses erosi ataupun sedimentasi. Akibat maju-mundurnya garis pantai, terjadi juga perubahan luas penutupan lahan, sehingga perlu menetapkan berbagai pilihan untuk mengatasi perubahan garis pantai.</p>	<p>Analisis data citra satelit ditemukan bahwa garis pantai mengalami proses erosi dan sedimentasi yang cukup nyata pada bagian-bagian pantai tertentu. Erosi yang terjadi di bagian selatan di Desa Purworedjo, misalnya, bervariasi antara 90 - 600 m dalam kurun waktu 12 tahun (1991 - 2003). Sementara itu, ke arah utara dari desa ini proses sedimentasi bervariasi antara 90 - 550 m. Ke arah utaranya lagi, garis pantai mengalami erosi, kemudian sedimentasi. Bentuk morfologi garis pantai, variasi arah angin dan karakteristik gelombang ditelaah sebagai faktor yang berperan dalam perubahan garis pantai tersebut. Intensitas perubahan dan uraian dinamika pantai yang terjadi dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan tindakan mitigasi ekologi yang efektif untuk melindungi daerah tersebut</p>
2	<p>A Shoreline Analysis using DSAS in Narn Dinh Coastal Area.</p> <p>To D. V. dan P. T. P. Thao. 2008. International Journal of Geoinformatics. 4(1):37-42</p>	<p>Menganalisa garis pantai menggunakan DSAS data 87 tahun dari tahun 1905 – 1992 di area pantai Nam Dinh.</p>	<p>Berdasarkan analisis DSAS pada perubahan garis pantai selama 87 tahun, kecepatan perubahan garis pantai secara kuantitatif dengan 4 metode (EPR, AOR, LRR, dan JKR). Perubahan garis pantai 25-29m terjadi di Hai Hau dan 12-23m and 37-39m di Nghia Hung dan Xuan Thuy. DSAS sangat berguna dalam manajemen pantai.</p>
3	<p>Kajian Penggunaan Data Inderaja Untuk Pemetaan Garis Pantai (Studi Kasus Pantai Utara Jakarta).</p> <p>Winarso, G., H. Joko, dan D. S. Arifin. 2009. Jurnal Penginderaan Jauh. 6(2009):65-72</p>	<p>Mengetahui kedudukan garis pantai yang diperoleh dari data Landsat 7 pada waktu data diakuisisi, dan bagaimana melakukan penyesuaian (<i>adjustment</i>) terhadap referensi kedudukan garis pantai tertentu</p>	<p>Garis pantai yang dihasilkan dari citra bersesuaian dengan garis pantai dari Peta Laut dan navigasi pada daerah-daerah yang relatif tidak berubah dan tidak bersesuaian pada daerah-daerah yang mengalami perubahan karena dinamika laut seperti abrasi dan akresi karena disebabkan kedudukan pasang surut pada saat akuisisi data yang digunakan adalah pada kondisi air tinggi seperti yang didefinisikan sebagai garis pantai oleh peta hidrografi. Terdapat dua kategori wilayah apabila citra satelit diakuisisi pada kondisi pasang surut yang berbeda, yaitu daerah tanpa surutan 0 m tidak akan mengalami perubahan dan daerah dengan garis surutan 0 akan mengalami perubahan, sehingga adjustment harus dilakukan pada kriteria kawasan ini.</p>

No.	Judul Penelitian Sumber Penelitian	Tujuan	Simpulan Saran Noveltis
4	<p>Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal.</p> <p>Arief, M., G. Winarso, dan T. Prayogo 2011. Jurnal Penginderaan Jauh. 8(2011):71-80.</p>	<p>Mengkaji Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal</p>	<p>Penggunaan data satelit Landsat secara temporal dapat membantu untuk menganalisis perubahan penutup lahan dan perubahan garis pantai. Hasil dijitasi garis pantai menunjukkan bahwa panjang garis pantai pada tahun 1972 adalah 43.172 meter, pada tahun 1991 adalah 52.646 meter, pada tahun 2001 adalah 50.171 meter, pada tahun 2008 adalah 53.627 meter. Perubahan garis pantai yang paling dominan terjadi di wilayah teluk/cekungan dan tanjung, sedangkan di luar wilayah itu, perubahannya hampir tidak signifikan. Berdasarkan analisis dari data satelit seri Landsat, pada periode tahun 1972 sampai dengan 1991 terjadi abrasi dan akresi sebesar 765,14 ha dan 356,00 ha, Pada periode tahun 1991 sampai dengan 2001 terjadi abrasi dan akresi sebesar 90,64 ha dan 261,89 ha, sedangkan priode tahun 2001 sampai dengan 2008 terjadi abrasi dan akresi sebesar 111,67 ha dan 80,37 ha. Perubahan maju mundurnya garis pantai di Kabupaten Kendal diperkirakan akibat proses penambahan areal tambak dan proses sedimentasi dari material yang dibawa oleh air sungai maupun oleh ombak laut, sedangkan abrasi diperkirakan akibat oleh gempuran ombak atau erosi.</p>
5	<p>Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia.</p> <p>Ardli, E. R., and M. Wolff. 2009. Reg Environ Change. 9(2009):235-243</p>	<p>Penggunaan sistem informasi geografis (SIG) untuk melihat penggunaan lahan dan tutupan lahan di Segara Anakan.</p>	<p>Penggunaan analisis citra satelit dan data lapang dapat meberikan gambaran tentang beberapa aspek perubahan penggunaan lahan dan utupan lahan di Segara Anakan. Lebih dari 50% area mangrove terganggu di bagian barat Segara Anakan, konversi mangrove menjadi tambak dan penggunaan lain.</p>

1.4. Aktualitas

Data monitoring TSS secara temporal dengan penggunaan teknologi penginderaan jauh di Segara Anakan belum banyak diteliti. Penelitian Parwati *et al* (2009) tentang TSS di Segara Anakan yang dikaitkan dengan penggunaan lahan, tetapi belum mempertimbangkan data pasang surut.

Sebaran TSS dan kontribusinya dalam pendangkalan Segara Anakan dengan penggunaan pemetaan sebaran sedimen dasar fraksi sangat halus secara spasial dan temporal. Penelitian Matsuyama *et al*, 1994 dengan pendekatan pemodelan dalam mengetahui sebaran dan dugaan pengendapan dari TSS. Penelitian tentang sebaran sedimen layang di Segara Anakan dengan kondisi terkini sangat perlu dilakukan.

Peran pemodelan hidrodinamika (arus) dalam penyebaran dan transpor TSS dilakukan oleh beberapa peneliti (Matsuyama *et al*, 1994; ECI, 1994; Holtermann *et al*, 2009; Cahyo, 2012). Sebaran TSS data observasi digunakan sebagai validasi keluaran (*output*) dari pemodelan.

1.5. Novelties

Penelitian ini memiliki harapan akan dihasilkannya suatu novelties:

- a. Gambaran terkini perubahan garis pantai, pembentukan delta, luas badan-air, dan morfodinamik di Laguna Segara Anakan
- b. Konsep Baru tentang analisis sebaran TSS di Segara Anakan dengan penginderaan jauh dengan mempertimbangkan kondisi pasang surut.
- c. Pemodelan sebaran TSS di Segara Anakan

1.6. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji perubahan garis pantai, luasan badan-air, kedalaman, pembentukan delta secara spasial dan temporal di Segara Anakan
2. Mengkaji sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan dengan citra satelit Sentinel 2A
3. Mengkaji dugaan sebaran TSS melalui pemodelan hidrodinamika

1.7. Hipotesis

Dalam penelitian ini, penulis memformulasikan hipotesis:

1. Dinamika perubahan garis pantai, luasan badan-air, kedalaman, pembentukan delta dan morfodinamik di Segara Anakan diduga mempengaruhi hidrodinamika dan sebaran TSS
2. Konsentrasi TSS dapat diketahui dari dengan menggunakan penginderaan jauh
3. Pemodelan hidrodinamika dapat menduga dinamika arus dan sebaran TSS di Segara Anakan

1.8. Manfaat

Penelitian tentang pemodelan TSS di Segara Anakan diharapkan akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1.8.1. Manfaat Akademik

1. Diperoleh konsep sebaran spasial dan peran TSS dalam perubahan morfodinamik laguna Segara Anakan,

2. Diperoleh suatu gambaran perkiraan transpor TSS yang disebabkan arus di Segara Anakan.

1.8.2. Manfaat Praktis

1. Penggunaan teknologi penginderaan jauh dalam mengetahui sebaran TSS di Segara Anakan,
2. Penggunaan pemodelan hidrodinamika dalam mengetahui sebaran TSS di Segara Anakan,
3. Penggunaan metode dalam menganalisis perubahan garis pantai, pembentukan delta, pengurangan kedalaman badan air, dan perubahan morfodinamik.

1.8.3. Manfaat Strategis

Diharapkan dalam pengembangan lebih lanjut hasil penelitian berupa pola arus dan sebaran TSS dapat digunakan sebagai masukan dalam pengelolaan Kawasan Segara Anakan. Pengetahuan tentang sebaran TSS dan dinamikanya diharapkan dapat digunakan untuk memberi masukan pada pengelolaan upland (DAS Sungai Citanduy dan Sungai Cibeureum), pendugaan perubahan garis pantai, delta, dan pendangkalan serta tutupan lahan Segara Anakan.

1.9. Penjelasan Arti Judul

"Sebaran Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap"

Sebaran : perpindahan suatu materi secara ruang (spasial) dan waktu

Total Suspended Solids : atau TSS merupakan partikel-partikel yang melayang dalam air, terdiri dari komponen biotik dan komponen abiotik. Komponen biotik terdiri dari fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, sedangkan komponen abiotik terdiri dari cangkang plankton (partikel silika), detritus, dan partikel-partikel anorganik seperti Radiolaria dan coccolithophore. (Hartoko 2010).
Ukuran TSS adalah < 0.002 mm.

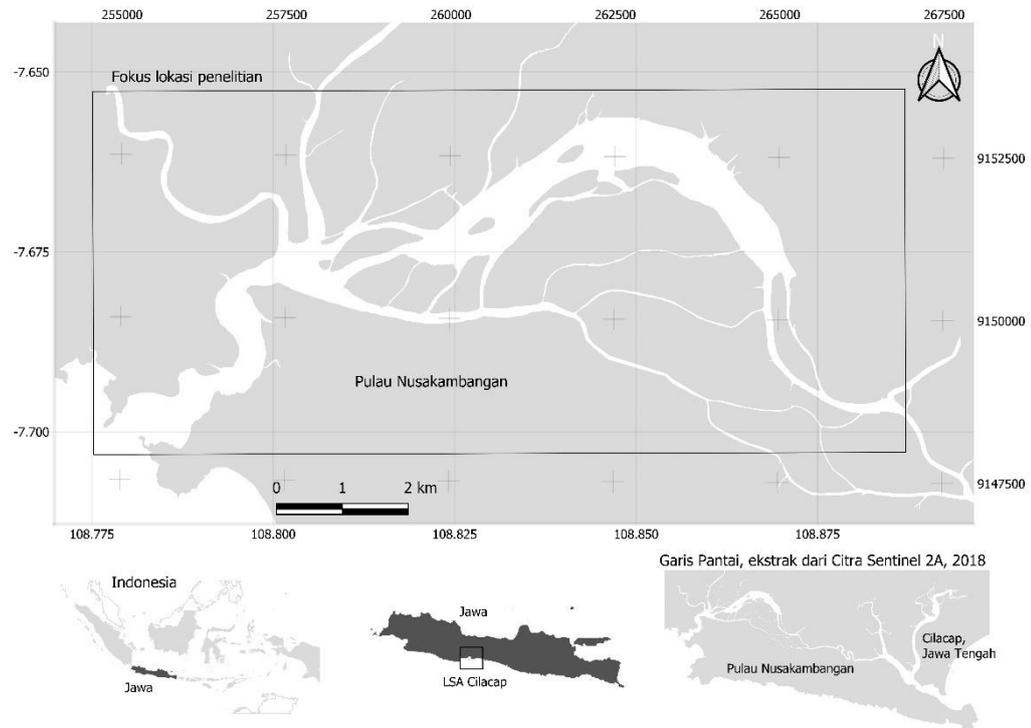
Pengelolaan : usaha untuk membuat suatu keadaan dengan tujuan tertentu

Delta : timbunan materi padat (sedimen) yang membentuk daratan (pulau) di suatu badan perairan

Segara Anakan : merupakan perairan laguna semi-tertutup di daerah Cilacap, Jawa Tengah (Gambar 1), dengan beberapa sungai yang bermuara di laguna, dimana sungai paling besar debitnya adalah sungai Citanduy.

Sebaran TSS di Segara Anakan dapat diduga dengan teknologi penginderaan jauh, dimana proses sebarannya dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika. Faktor hidrodinamika yang dimaksud adalah pasang surut dari Samudera Hindia yang masuk dari kedua *inlet-outlet* barat dan timur laguna Segara Anakan, debit dari beberapa sungai yang bermuara di laguna Segara Anakan, dimana Sungai Citanduy berperan penting dalam sedimentasi karena debit yang besar. Sedimentasi tersebut diduga mempengaruhi perubahan garis pantai dan pembentukan delta di Segara

Anakan. Peran dan kontribusi TSS dalam perubahan susunan sedimen dasar perlu dikaji.



Gambar 1. Lokasi Penelitian, laguna Segara Anakan Cilacap

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Laguna

Laguna atau estuari adalah daerah pertemuan antara air tawar dan air laut dengan adanya pengaruh pasang surut, gelombang (Dyer 1986). Berdasarkan struktur salinitasnya estuari diklasifikasikan menjadi tiga tipe, yaitu terstratifikasi (*highly stratified*), tercampur sebagian (*partially mixed*), dan tercampur sempurna (*well mixed*) (Dyer 1986; Open University Course Team 1989; Triatmojo 1999; Ji 2008). Tipe dari laguna dapat dilihat pada Gambar 2.

3.1.1. Laguna Terstratifikasi (*Highly Stratified Lagoon*)

Ketika debit sungai yang besar memasuki daerah dengan pasang surut yang lemah, dimana air tawar dengan densitas lebih ringan daripada air laut, cenderung mengalir ke arah laut melintasi permukaan dan air dengan densitas tinggi berada di bawah dan baji garam hampir tidak bergerak. Air laut berada di bawah dan dekat dengan mulut estuari, hanya sebagian kecil terjadi pencampuran. Antara dua massa air ada zona sempit pada bagian permukaan dimana terdapat perbedaan salinitas tajam yang disebut haloklin. Gradien densitas membuat haloklin cenderung stabil dan dua massa air tersebut tidak bercampur dengan cepat. Karena kecilnya kisaran pasang surut yang kecil, maka massa air dekat dasar yang bersalinitas tinggi menjadi relatif stasioner, tetapi air tawar di permukaan mempunyai kecepatan yang tinggi. Beda kecepatan tersebut membuat tidak ada air tawar yang tercampur ke dasar dan hanya terjadi pencampuran di bagian atas.

3.1.2. Laguna Tercampur Sebagian (*Partially-Mixed Lagoon*)

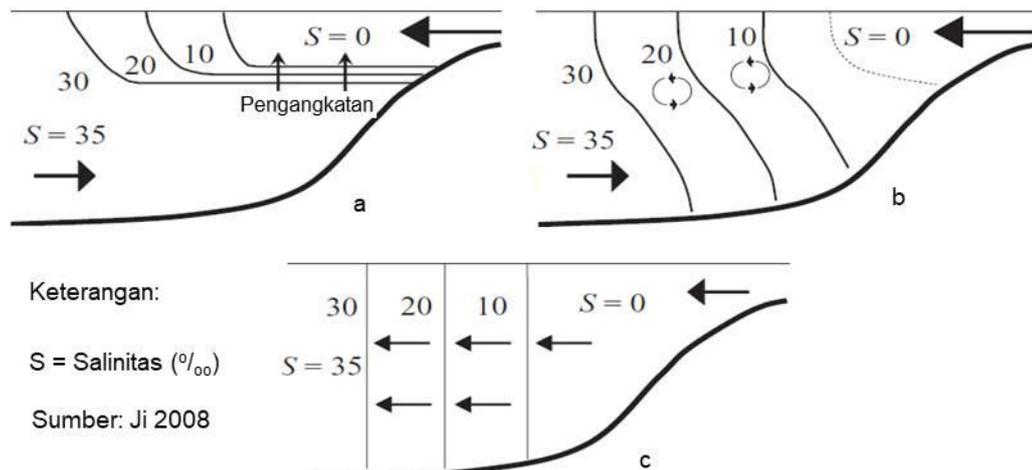
Laguna dengan pasang surut, dimana sebagian besar massa air bergerak ke arah darat saat pasang dan arah sebaliknya ketika surut, adanya gesekan pada dasar menyebabkan tahanan kecepatan dan menimbulkan turbulensi. Turbulensi membuat proses pencampuran massa air efektif, dimana terjadi proses pencampuran air bersalinitas tinggi ke arah permukaan dan air bersalinitas rendah bercampur ke bawah. Proses penurunan salinitas mencapai dekat dasar sehingga menghasilkan gradien salinitas ke arah hulu estuari.

Di permukaan dengan lapisan densitas lebih rendah mengalir ke laut dengan membawa air bersalinitas hasil dari pencampuran. Garam tersebut merupakan proses pergantian dari lapisan di bawahnya sebagai akibat masuknya air laut ke arah daratan yang menimbulkan turbulensi. Arus residu secara vertikal disebabkan perbedaan densitas secara vertikal dan proses pencampuran yang disebut sirkulasi vertikal gravitasi. Tetapi arus ini hanya sepersepuluh dari arus yang disebabkan pasang surut.

Arus dari estuari tipe ini dalam irisan melintang menunjukkan fenomena di lapisan atas mengarah ke laut sedangkan dekat dasar arah aliran mengarah ke daratan, dengan profil salinitas semakin ke dalam semakin tinggi sebagai akibat proses pencampuran turbulensi. Arus residu di permukaan lebih tinggi saat surut dari pada saat pasang, berkebalikan dengan arus dekat dasar, di daerah lapisan tengah mempunyai kondisi haloklin yang merupakan daerah tidak ada aliran. Distribusi horisontal salinitas merupakan isohaline dengan kemiringan yang tidak terlalu berbeda antar lapisan. Stratifikasi umumnya cenderung meningkat ke arah laut.

3.1.3. Laguna Tercampur Sempurna (*Well-Mixed Lagoon*)

Laguna dengan debit dari sungai tidak besar dan kisaran pasang surut cukup besar, saat arus pasang surut meningkat maka intensitas pencampuran terjadi sampai pada kondisi bercampurnya kolom air dengan sempurna dengan menghasilkan variasi lateral salinitas. Arus residu dari sungai cenderung bercampur pada kolom air, sehingga terjadi variasi horisontal, dengan salinitas semakin tinggi ke arah laut. Kondisi tersebut menghasilkan arus residu horisontal dan tidak terjadinya arus vertikal atau pengangkatan (*entrainment*) vertikal. Perbedaan salinitas secara vertikal sangat kecil.



Gambar 2. Tipe laguna. (a) terstratifikasi (b) tercampur sebagian (c) tercampur sempurna

3.2. Sedimen

3.2.1. Karakteristik Sedimen

Sedimen dikelompokkan berdasarkan ukuran butirnya dalam Skala Wentworth (Tabel 5). Skala tersebut merupakan ukuran standar kelas sedimen dari fraksi berukuran mikron sampai beberapa mm (Dyer 1986). Dalam Skala Wentworth menggunakan unit phi (φ), untuk mempermudah pengklasifikasian

apabila sampel sedimen mengandung partikel yang berukuran kecil dalam jumlah yang besar. Bentuk konversi phi (φ) dari diameter sedimen dan sebaliknya, dengan persamaan berikut (Dyer 1986):

$$\varphi = -\log_2 d$$

$$d = 2^{-\varphi}$$

keterangan:

d = diameter partikel (mm)

Tabel 5. Klasifikasi ukuran butir sedimen

Skala Wentworth		Diameter partikel		
		phi (φ)	mm	μm
Batu besar	Sangat besar	- 11	2048	
	Besar	- 10	1024	
	Medium	- 9	512	
	Kecil	- 8	256	
Batu bulat	Besar	- 7	128	
	Kecil	- 6	64	
Batu kerikil	Sangat kasar	- 5	32	
	Kasar	- 4	16	
	Medium	- 3	8	
	Halus	- 2	4	
Granula	Sangat halus	- 1	2	
	Sangat kasar	+ 0	1	1000
Pasir (Sand)	Kasar	+ 1	1/2	500
	Medium	+ 2	1/4	250
	Halus	+ 3	1/8	125
	Sangat halus	+ 4	1/16	62,5
Lanau (Silt)	Kasar	+ 5	1/32	31,3
	Medium	+ 6	1/64	15,6
	Halus	+ 7	1/128	7,8
	Sangat halus	+ 8	1/256	3,9
Lempung (Clay)	Kasar	+ 9	1/256	1,95
	Medium	+ 10	1/1024	0,98
	Halus	+ 11		0,49
	Sangat halus	+ 12	1/4096	0,24
	Koloid			

Sumber: Dyer 1986; Blott dan Pye 2001

3.2.2. Distribusi Ukuran Butir Sedimen

Sedimen dasar dapat diolah dengan metode pengayakan, berat total yang tertinggal di ayakan dan ukuran butir dinyatakan dalam prosen. Distribusi asimetris dengan prosentase yang besar adalah sedimen dengan ukuran butir halus, dari diameter rata-rata. Diameter rata-rata adalah ukuran yang berhubungan dengan nilai tengah dari area di bawah kurva distribusi frekuensi ukuran butir sedimen. Kurva tersebut sangat berguna untuk mengetahui keberadaan dari beberapa jenis dalam campuran sedimen. Kurva kumulatif menampilkan kumulatif dari persentase dari partikel halus (Dyer 1986; Blott dan Pye 2001). Nilai yang diberikan pada persentil ke-50 (D_{50}) adalah median dari ukuran butir.

Sifat-sifat sedimen berupa ukuran partikel distribusi butir sedimen, rapat massa, bentuk, kecepatan endap, dan tahanan terhadap resuspensi merupakan sifat yang sangat penting diketahui dalam mempelajari proses resuspensi dan sedimentasi. Diantara berbagai sifat tersebut, distribusi butir partikel yang paling penting (Triatmojo, 1999; Ji, 2008).

3.2.3. *Total Suspended Solids*

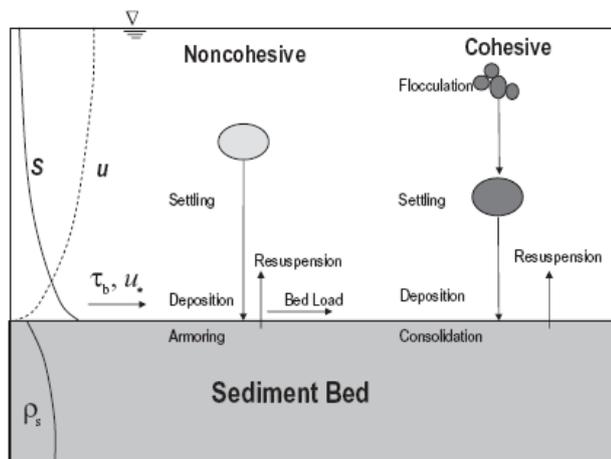
Total Suspended Solids (TSS) berperan dalam kualitas perairan, karena mempengaruhi densitas, penetrasi cahaya, dan ketersediaan nutrien. Menurut Shabari *et al.* (2019) TSS dapat diklasifikasikan menjadi zat padat terapung bersifat organik dan zat padat terendap yang bersifat organik dan anorganik. Komponen organik terdiri dari fitoplankton, bakteri, jamur, dan lain-lain, sedangkan komponen anorganik terdiri dari pasir sangat halus, lumpur, tanah liat, detritus. Meningkatnya konsentrasi TSS mengurangi masuknya sinar matahari di kolom air, yang akhirnya

berpengaruh pada suhu perairan, faktor biologis dan reaksi kimia. Ketersediaan nutrien berkaitan erat dengan konsentrasi TSS, dimana terjadi hubungan yang kuat dengan mekanisme adsorpsi-desorpsi, yang akhirnya berpengaruh terhadap kecepatan endap TSS ketika terjadi proses flokulasi (agregasi) (Ji 2008). Material sangat halus di bawah 0,063 mm merupakan sedimen kohesif.

Total Suspended Solid (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter lebih dari 1 μ m) terdiri dari lumpur dan pasir sangat halus serta jasad-jasad renik yang tertahan pada saringan *milipore* dengan diameter pori 0.45 μ m. Penyebab TSS yang utama adalah erosi tanah yang terbawa ke badan air. Secara umum masukan (*load*) sedimen dibagi menjadi dua komponen, yaitu masukan sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen tersuspensi (*suspended load*). Pembagian tersebut berdasarkan ukuran partikel sedimen, partikel lebih besar dari 150 μ m (pasir) masuk kategori sedimen dasar, sedimen tersuspensi lebih kecil dari 63 μ m (0,063 mm; *silt* dan *clay*) (Ji 2008; Sachoemar dan Purwandani 2009).

Perairan jernih kisaran nilainya berada di bawah 10 mg/l dan untuk perairan keruh nilainya di atas 100 mg/l. Proses dinamika TSS sangat dipengaruhi oleh kedalaman perairan dan komposisinya. Pada umumnya sedimen yang berada di daerah pantai (perairan pantai, muara sungai atau estuari, teluk) adalah sedimen kohesif. Sedimen kohesif adalah partikel yang sangat halus dan sifat sedimen lebih tergantung pada gaya-gaya permukaan daripada gaya berat (Ji, 2008), dengan ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3. Gaya-gaya permukaan tersebut adalah gaya tarik dan gaya tolak. Apabila resultannya merupakan gaya tarik, partikel akan berkumpul dan membentuk flokon dengan dimensi yang lebih besar daripada dimensi partikel individu, fenomena ini sering disebut dengan flokulasi. Sebagian

besar sedimentasi yang terjadi di daerah pantai merupakan hasil flokulasi sedimen kohesif (Triatmojo, 1999).



Sumber: Ji (2008)

Gambar 3. Proses pengendapan sedimen non-kohesif dan kohesif

Menurut van Rijn (1993), proses flokulasi menyebabkan ukuran dan kecepatan endap partikel sedimen menjadi lebih besar. Proses ini sangat penting dalam mempelajari mekanisme transpor sedimen kohesif. Kecepatan endap butir sedimen juga penting dalam mempelajari mekanisme transpor sedimen, terutama untuk sedimen tersuspensi. Untuk sedimen kohesif, kecepatan endap (*settling*) dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi sedimen tersuspensi, salinitas, dan diameter partikel. Konsentrasi tersuspensi merupakan parameter yang paling penting dalam proses flokulasi, yang berarti pada kecepatan endap. Salinitas juga berpengaruh pada kecepatan endap, dimana kecepatan endap meningkat cepat sampai pada salinitas 2 ppt, lalu konstan. Diameter butir partikel berpengaruh terhadap flokulasi, dimana flokulasi berkurang dengan bertambahnya dimensi partikel karena kohesi berkurang (Triatmojo 1999).

Kedalaman perairan dan kecepatan aliran juga berpengaruh pada kecepatan endap, kedalaman minimum 2 m untuk terjadinya flokulasi minimum dan perbedaan kecepatan endap (van Rijn 1993). Kecepatan arus yang besar menyebabkan kecepatan endap dekat lapisan dasar akan menurun karena adanya gaya gesekan (gradien tekanan) pada lapisan dasar (van Rijn, 1993).

Penambahan sedimen dalam suspensi karena adanya suplai dari perairan dalam arus turbulen dan transpor advectif, serta resuspensi sedimen karena adanya gesekan arus pada lapisan dasar, juga karena adanya gesekan arus pada lapisan dasar. Penurunan konsentrasi padatan tersuspensi pada lapisan permukaan karena adanya proses penenggelaman (*sink*) atau digerakkan oleh proses adveksi.

3.3. Penginderaan Jauh

Sistem informasi geografis adalah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografi. Sistem informasi geografis dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisa obyek-obyek dan fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting untuk dianalisis. Sistem informasi geografis merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan berikut dalam menangani data yang bereferensi geografi yaitu masukan, manajemen data (penyimpanan dan pengambilan data), analisis dan manipulasi data, keluaran (Prahasta, 2008). Sistem informasi geografis membutuhkan data penginderaan jauh.

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand

dan Kieffer, 1993). Proses utama dalam sistem penginderaan jauh ada dua yaitu pengumpulan data dan analisis data. Elemen proses pengumpulan data meliputi sumber energi, penjalaran energi melalui atmosfer, interaksi antara energi dengan kenampakan di muka bumi, sensor wahana berupa satelit, dan hasil pembentukan data dalam bentuk piktorial dan/atau numerik. Proses analisis data meliputi pengujian data, dengan menggunakan alat interpretasi dan alat pengamatan untuk menganalisis data dalam bentuk piktorial dan komputer untuk menganalisis data dalam bentuk numerik (Lillesand dan Kieffer, 1993).

3.3.1. Citra Satelit

Citra satelit merupakan citra yang dihasilkan dari pemotretan menggunakan wahana satelit. Kini sudah banyak satelit mengorbit di luar angkasa dengan fungsinya yang beragam misalnya satelit militer, satelit komunikasi, dan satelit inderaja sumber daya bumi.

Teknologi penginderaan jauh satelit dipelopori oleh NASA Amerika Serikat dengan diluncurkannya satelit sumberdaya alam yang pertama, yang disebut ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) pada tanggal 23 Juli 1972, menyusul ERTS-2 pada tahun 1975, satelit ini membawa sensor RBV (*Retore Beam Vidcin*) dan MSS (*Multi Spectral Scanner*) yang mempunyai resolusi spasial 80 x 80 m. Satelit ERTS-1, ERTS-2 yang kemudian setelah diluncurkan berganti nama menjadi Landsat 1, Landsat 2, diteruskan dengan seri-seri berikutnya, yaitu Landsat 3, 4, 5, 6 dan terakhir adalah Landsat 7 yang diorbitkan bulan Maret 1998.

3.3.2. Citra Landsat dan Sentinel 2A

Citra Landsat 7 ETM+ adalah satelit diluncurkan pada tanggal 15 April 1999. Program dikelola oleh NASA, data dari Landsat 7 dikumpulkan dan didistribusikan oleh USGS. Proyek NASA World Wind memungkinkan gambar tiga dimensi dari Landsat 7 dan sumber-sumber lainnya untuk dapat dengan mudah dinavigasi dan dilihat dari berbagai sudut. Spesifikasi citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 dapat dilihat pada tabel 6.

Citra Satelit Sentinel-2A diluncurkan oleh Copernicus dari Komisi Eropa pada Juni 2015. Citra satelit ini memiliki nilai spasial tinggi yaitu 10 m hingga 60 m. Sentinel-2 memberikan peningkatan kontinuitas untuk layanan pemantauan permukaan terestrial global dan perairan pesisir. Citra satelit ini menawarkan kombinasi yang belum pernah terjadi sebelumnya dari cakupan global sistematis daratan dan pesisir, melakukan putaran kembali lima hari di bawah kondisi pengamatan yang sama, memiliki nilai spasial tinggi dan bidang pandang yang luas yaitu 295 km (Drusch et al., 2012).

Sentinel 2A memiliki 13 kanal spektrum dengan nilai panjang gelombang mulai dari 0,433 μm hingga 2,19 μm yang terdiri dari saluran cahaya tampak, inframerah dekat dan gelombang pendek inframerah. Satelit ini mempunyai resolusi spasial 10 meter (untuk kanal cahaya tampak dan inframerah dekat), 20 meter dan 60 meter (untuk kanal gelombang inframerah dekat dan gelombang pendek inframerah). Sentinel 2A sangat relevan untuk digunakan dalam pemetaan vegetasi hal ini karena keberadaan dua kanal baru dalam spektrum red edge dengan panjang gelombang 0,705 dan 0,740 μm .

3.3.3. Penginderaan Jauh untuk TSS

Pemetaan sebaran TSS melalui pendekatan pengambilan sampel dan penggunaan teknik penginderaan jauh telah banyak dilakukan. Data penginderaan jauh tidak hanya dipakai untuk data atau inventarisasi, tetapi berfungsi sebagai pemantauan. Hal tersebut dimungkinkan karena data penginderaan jauh dapat diperoleh secara multitemporal (Susiati *et al.*, 2010). Analisis sebaran TSS menggunakan penginderaan jauh dengan beberapa tahap, dimana tahap penentuan algoritma adalah sangat penting (Ruhl *et al.*, 2001; Mikkelsen, 2002; Parwati *et al.*, 2006; Ouillion *et al.*, 2008; Solihuddin, 2010; Susiati *et al.*, 2010; Wozniak, 2014). Pengolahan data citra dapat dilakukan dengan perangkat lunak dengan *platform* komputer kita ataupun *platform* jaringan internet.

Tahun 2010, *Google* meluncurkan *Google Earth Engine* (GEE) merupakan *platform* pengolah data penginderaan jauh berbasis pengolahan di jaringan internet (*cloud computing*). *Platform* GEE mempunyai akses data penginderaan jauh dengan jumlah besar dan terbaru (*update*). Menurut Amani *et al.*, (2020) bahwa pengguna dapat mengakses GEE melalui internet berbasis *Application Programming Interface* (API) dengan bahasa pemrograman *Java Script* dan *Python*, dengan keunggulan pengolahan data kompleks dan cepat. Pengguna tidak harus memiliki keahlian dalam penulisan sintaks bahasa pemrograman, karena *GEE* berisi algoritma bawaan. Pengolahan data penginderaan jauh juga ditunjang dengan ketersediaan jenis data penginderaan jauh beberapa tingkatan, dari tingkatan awal (*raw level*), *Top of Atmospheric* (ToA), dan *surface reflectance*, sehingga pengguna dapat memilih tingkatan data yang diinginkan untuk mempercepat pengolahan data

penginderaan jauh. Pengolahan pemetaan data penginderaan jauh skala spasial yang luas dan kontinyu menjadi lebih efisien dan efektif.

Tabel 6. Nama dan Panjang Gelombang pada Landsat 7 dan Landsat 8

Landsat 7		Resolusi	Landsat 8	
Kanal	Panjang Gelombang (Mikrometer)		Kanal	Panjang Gelombang (Mikrometer)
		30	Band 1 (Coastal Aerosol)	0.43-0.45
Band 1 (Biru)	0.45-0.51	30	Band 2 (Biru)	0.45-0.51
Band 2 (Hijau)	0.52-0.60	30	Band 3 (Hijau)	0.53-0.59
Band 3 (Merah)	0.63-0.69	30	Band 4 (Merah)	0.64-0.67
Band 4 (Inframerah Dekat)	0.75-0.90	30	Band 5 (Inframerah Dekat)	0.85-0.88
Band 5 (Inframerah Tengah I)	1.55-1.75	30	Band 6 (SWIR 1)	1.57-1.65
Band 6 (Infra-merah Thermal)	10.4-12.5	30		
Band 7 (Infra-merah Tengah II)	2.09-2.35	30	Band 7 (SWIR 2)	2.11-2.29
Band 8 (Pankromatik)	0.52-0.90	15	Band 8 (Pankromatik)	0.50-0.68
		30	Band 9 (Cirrus)	1.36-1.38
		100	Band 10 (TIRS 1)	10.60-11.19
		100	Band 11 (TIRS 2)	11.50-12.51

Tabel 7. Spesifikasi Citra Sentinel 2A.

Band	Panjang Gelombang (dalam mikrometer)	Resolusi spasial (dalam meter)
Band 1 - <i>Coastal Aerosol</i>	0,443	60
Band 2 - <i>Blue</i>	0,490	10
Band 3 - <i>Green</i>	0,560	10
Band 4 - <i>Red</i>	0,665	10
Band 5 - <i>Vegetation Red Edge</i>	0,705	20
Band 6 - <i>Vegetation Red Edge</i>	0,740	20
Band 7- <i>Vegetation Red Edge</i>	0,783	20
Band 8 - <i>NIR</i>	0,824	10
Band 8A- <i>Vegetation Red Edge</i>	0,865	20
Band 9 - <i>Water Vapour</i>	0,945	60
Band 10 - <i>SWIR - Cirrus</i>	1,375	60
Band 11- <i>SWIR</i>	1,610	20
Band 12- <i>SWIR</i>	2,190	20

Platform sistem informasi geografis yang dapat digunakan dalam pengolahan citra adalah QGIS (www.qgis.org), merupakan aplikasi SIG profesional yang dibangun dengan berdasarkan Perangkat Lunak Bebas dan Sumber Terbuka. QGIS adalah perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG) *Open Source* yang *user friendly* dengan lisensi di bawah GNU *General Public License*. QGIS merupakan proyek tidak resmi dari Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). QGIS dapat dijalankan pada Linux, Unix, Mac OSX, Windows dan Android, serta mendukung banyak format dan fungsionalitas data vektor, raster, dan basisdata. Kedua platform tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi TSS dengan pemanfaatan algoritma terhadap kanal tertentu.

Pendeteksian sebaran nilai TSS di perairan setelah dikonversi menjadi *surface reflectan*, maka perhitungan dengan algoritma tertentu. Algoritma yang dikembangkan oleh Budiman 2004 (Budianto dan Teguh, 2017) adalah menggunakan kanal (*band*) 4, yaitu: $TSS \text{ (mg/L)} = ((8.1429 \times (\exp (23.704 \times 0.94 \times \text{Band } 4)))$. Algoritma TSS lain dikembangkan oleh Parwati et al (2006), yaitu: $TSS \text{ (mg/l)} = 3.3238 \times (\exp (34.099 \times \text{Band } 4))$. Algoritma tersebut memiliki nilai akurasi yang tinggi dan *error* yang rendah terhadap hasil uji lapang. Panjang gelombang (*band*) merah mampu menginterpretasikan *TSS* lebih baik daripada panjang gelombang lain. Penggunaan data lapang *TSS* dapat digunakan untuk membangun algoritma berdasarkan data citra satelit.

3.4. Hidrodinamika

Sistem perairan pantai dan estuari adalah suatu sistem yang sangat kompleks dan sangat bergantung pada ruang dan waktu. Untuk mengetahui hubungan antar sejumlah variabel dan parameter, maka cara terbaik untuk mengkajinya adalah melalui pendekatan model (Holtermann *et al*, 2009; Sachoemar dan Purwandani. 2009; Sugianto, 2009; Nurjaya, dan Surbakti. 2010; Karna et al, 2015), salah satunya dengan model matematik. Persamaan yang digunakan dalam model matematik yaitu persamaan hidrodinamika untuk pola arus, sedangkan untuk sedimen layang digunakan persamaan transpor sedimen.

Hidrodinamika mempelajari pergerakan air dan gaya-gaya yang bekerja pada air. Model hidrodinamika dapat menyediakan informasi tentang transpor sedimen termasuk kecepatan air, pola percampuran, dan dispersi (Ji 2008). Dalam mempelajari hidrodinamika dinyatakan dalam persamaan-persamaan. Persamaan

hidrodinamika dalam pemodelan dua dimensi yaitu persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum dengan berbagai asumsi untuk penyederhanaan. Persamaan konservasi massa (kontinuitas) dan momentum yang diintegrasikan terhadap kedalaman. Persamaan hidrodinamika dan transpor mengacu pada Donnell (2008), Sachoemar dan Purwandani (2009), Sugianto (2009).

3.4.1. Persamaan Hidrodinamika

Persamaan dasar aliran yang digunakan merupakan persamaan aliran rerata kedalaman (*depth average*). Kondisi aliran yang terjadi pada kanal sangat lebar, sehingga variasi kecepatan terhadap kedalaman relatif kecil. Percepatan gravitasi lebih dominan dibandingkan dengan percepatan aliran vertikal. Sehingga persamaan aliran dapat didekati dengan persamaan aliran dangkal (*shallow water equation*). Komponen kecepatan rata-rata kedalaman dalam koordinat horizontal x dan y (U dan V) didefinisikan sebagai berikut (Donnell, 2008):

$$U = \frac{1}{H} \int_{Z_b}^{Z_b+H} u \, dz \qquad V = \frac{1}{H} \int_{Z_b}^{Z_b+H} v \, dz$$

keterangan:

H = kedalaman air

Z_b = elevasi

$Z_b + H$ = muka air

u = kecepatan horizontal arah x

v = kecepatan horizontal arah y

Persamaan kontinuitas untuk aliran dua dimensi rata-rata kedalaman (*averaged continuity equation*) dapat dituliskan sebagai berikut (Donnell, 2008):

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0$$

Substitusi dua persamaan, maka persamaan konservasi massa menjadi:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

Persamaan konservasi momentum pada arah x dan y untuk aliran 2 dimensi rata-rata kedalaman dapat ditulis sebagai berikut (Donnell, 2008):

pada arah sumbu x:

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t} (HU) + \frac{\delta}{\delta x} (\beta_{xx} HUU) + \frac{\delta}{\delta y} (\beta_{xy} HUV) + gH \frac{\delta z_b}{\delta x} + \frac{1}{2} g \frac{\delta H^2}{\delta x} \\ + \frac{1}{\rho} \left(\tau_{bx} - \tau_{sx} - \frac{\delta}{\delta x} (H\tau_{xx}) - \frac{\delta}{\delta y} (H\tau_{xy}) \right) = 0 \end{aligned}$$

pada arah sumbu y:

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t} (HV) + \frac{\delta}{\delta x} (\beta_{yx} HUV) + \frac{\delta}{\delta y} (\beta_{yy} HVV) + gH \frac{\delta z_b}{\delta y} + \frac{1}{2} g \frac{\delta H^2}{\delta y} \\ + \frac{1}{\rho} \left(\tau_{by} - \tau_{sy} - \frac{\delta}{\delta x} (H\tau_{yx}) - \frac{\delta}{\delta y} (H\tau_{yy}) \right) = 0 \end{aligned}$$

Keterangan:

$\beta_{xx}, \beta_{xy}, \beta_{yx}, \beta_{yy}$ = koefisien koreksi momentum

g = percepatan gravitasi

ρ = rapat massa air

τ_{bx}, τ_{by} = tegangan geser dasar

τ_{sx}, τ_{sy} = tegangan geser permukaan

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ = tegangan geser akibat turbulensi

(misal τ_{xy} adalah tegangan geser ke arah sumbu x yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y).

Tegangan geser dasar dalam arah sumbu x dan y dapat dihitung sebagai berikut

(Donnell, 2008):

pada arah sumbu x:

$$\tau_{bx} = \rho c_f U \sqrt{U^2 + V^2} \left(1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

pada arah sumbu y:

$$\tau_{by} = \rho c_f V \sqrt{U^2 + V^2} \left(1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dengan c_f adalah koefisien gesek dasar yang dapat dihitung sebagai berikut

(Donnell, 2008):

$$c_f = \frac{g}{C^2} = \frac{gn^2}{\lambda^2 H^{\frac{1}{3}}}$$

keterangan:

C = koefisien Chezy

n = koefisien kekasaran Manning

λ = 1,486 jika menggunakan satuan Inggris dan 1,0 jika menggunakan satuan Internasional (SI)

Untuk penyederhanaan perhitungan, maka nilai viskositas *eddy* kinematik rerata kedalaman diasumsikan isotropik yaitu nilai $\tau_{xx} = \tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau_{yy}$, dan viskositas *eddy* isotropik dinotasikan dengan ν yang nilainya $(0,3 \pm 0,6 U^*H)$. Dalam Donnell (2008) persamaan konservasi momentum menjadi:

pada arah sumbu x:

$$H \frac{\partial u}{\partial t} + Hu \frac{\partial u}{\partial x} + Hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{H}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{gn^2}{\left(1.486 H^{\frac{1}{6}} \right)^2} + (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2H\omega v \sin \phi = 0$$

pada arah sumbu y:

$$H \frac{\partial v}{\partial t} + Hu \frac{\partial v}{\partial x} + Hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{H}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{\left(1.486H^{\frac{1}{6}}\right)^2} + (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2H\omega v \sin \phi = 0$$

keterangan:

H = kedalaman perairan

t = waktu

u, v = komponen kecepatan dalam arah x dan y

ρ = kerapatan fluida

g = percepatan gravitasi

E = koefisien kekentalan turbulen,

E_{xx} , dalam arah normal terhadap bidang x

E_{yy} , dalam arah normal terhadap bidang y

E_{xy} dan E_{yx} , masing-masing berhimpit dengan bidang x dan y

a = elevasi dasar perairan

n = koefisien kekasaran Manning

ζ = koefisien tegangan geser angin empiris

V_a = kecepatan angin

ψ = arah angin

ω = kecepatan rotasi bumi

ϕ = posisi lintang geografis

3.4.2. Diskritisasi dan Solusi Persamaan

Diskritisasi menggunakan variasi kontinu kecepatan aliran dan muka air (*water level*) yang merupakan gambaran dari model matematik hidrodinamik.

Diskritisasi dan solusi persamaan dibuat dalam bidang pembentuk hasil model disebut elemen. Persamaan konservasi massa dan momentum diselesaikan dengan

metode elemen hingga dengan menggunakan metode sisa berbobot (*weighted residuals*)-Galerkin (Donnell, 2008; Sachoemar dan Purwandani, 2009). Fungsi yang digunakan dalam interpolasi kecepatan arus dan kedalaman air yaitu fungsi kuadrat untuk kecepatan arus dan fungsi linier untuk kedalaman. Integrasi Galerkin digunakan dalam pengintegralan, lalu derivatif terhadap waktu didekati dengan beda hingga non-linier. Arus dan muka air diasumsikan bervariasi pada tiap interval waktu dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$f(t) = f(t_0) + at + bt^c \quad t_0 \leq t < t_0 + \Delta t$$

dimana a , b , dan c adalah konstanta

3.4.3. Tahanan Dasar dan Hambatan Aliran

Energi gaya gesek dasar atau kekasaran dasar perairan adalah hal utama dalam perhitungan kecepatan arus. Untuk mengetahui besarnya tegangan gesek dasar (τ) dengan persamaan:

$$\tau = \rho gRS$$

keterangan:

R = rerata radius hidrolis (irisan melintang area dibagi perimeter basah)

S = kemiringan dasar

Tahanan dasar dihitung dengan persamaan Manning jika masukan nilai kekasaran $<3,0$, selain nilai tersebut menggunakan persamaan Chezy. Persamaan Manning untuk aliran seragam (*uniform*) adalah (Donnell, 2008):

$$V = 1.486 \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

dimana:

V = kecepatan

n = koefisien kekasaran Manning

Untuk menyelesaikan persamaan Manning untuk nilai S maka substitusikan pada persamaan tegangan gesek dasar (τ), didapatkan persamaan:

$$\tau = \rho g \left(\frac{n}{1.486} \right)^2 \frac{V^2}{R^{1/3}}$$

Sehingga bentuk akhir dari komponen tegangan gesek dasar dengan menggunakan persamaan Manning adalah (Donnell, 2008):

$$\tau_x = \rho g \left(\frac{n}{1.486} \right)^2 \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \tau_y = \rho g \left(\frac{n}{1.486} \right)^2 \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

3.4.4. Turbulensi

Turbulensi secara umum dapat didefinisikan sebagai efek variasi temporal dari kecepatan dan pertukaran momentum dimana ada gradien secara spasial. Pada kasus khusus, misal dalam model, turbulensi sebagai efek temporal yang terjadi dalam skala waktu yang lebih kecil dari langkah waktu (*time step*) model. Persamaan turbulen diformulasikan menjadi (Donnell, 2008; Sachoemar dan Purwandani, 2009):

$$\begin{aligned} E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\overline{\delta u'^2}}{\partial x} & E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} &= \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\overline{\delta u'v'}}{\partial y} \\ E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} &= \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\overline{\delta v'u'}}{\partial x} & E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} &= \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\overline{\delta v'^2}}{\partial y} \end{aligned}$$

keterangan:

μ = viskositas molekuler

u' = fluktuasi kecepatan turbulen pada sumbu x

v' = fluktuasi kecepatan turbulen pada sumbu y

$\overline{u'^2}$, $\overline{u'v'}$, $\overline{v'u'}$, $\overline{v'^2}$ = Nilai rata-rata waktu

Hasil pemodelan hidrodinamika perlu untuk divalidasi dengan data lapang. Pemodelan yang baik mempunyai tingkat kesalahan atau penyimpangan (*error*) kecil (Hsu *et al.*, 1999; Holtermann *et al.*, 2009; Sachoemar dan Purwandani, 2009; Sugianto, 2009; Nurjaya, dan Surbakti, 2010; Karna *et al.*, 2015). Penentuan besarnya penyimpangan data dengan *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)* (Hsu *et al.*, 1999; Ji, 2008; Nurjaya dan Surbakti, 2010).

3.5. Pergerakan Sedimen

Pergerakan sedimen meliputi pengangkatan (*entrainment*), transpor dan pengendapan (*settling*). Ketiga proses ini bekerja pada waktu yang bersamaan dan dapat saling berinteraksi dengan sesama lain. Laju pergerakan sedimen dapat didefinisikan sebagai konsentrasi sedimen per-unit waktu yang melewati sebuah bidang vertikal dengan unit lebar yang tegak lurus dengan arah aliran (van Rijn, 1993).

Laju bersih pengendapan atau erosi dari suatu daerah pada dasar laut bergantung pada perbedaan laju masuk dan keluarnya sedimen di daerah tersebut. Jika sedimen yang memasuki suatu daerah lebih banyak daripada yang terbawa keluar, maka di dasar lautnya akan terjadi pengendapan, dan jika sebaliknya maka akan terjadi erosi (van Rijn, 1993). Walaupun laju pergerakan sedimen sangat besar, batimetri dasar tidak akan berubah jika pergerakan masuk dan keluar sama untuk seluruh daerah.

Efek dari unsur hidrodinamika pada dinamika sedimen terjadi terutama melewati gesekan pada dasar dinyatakan dalam istilah tegangan geser dasar, yang

merupakan gaya gesekan yang bekerja akibat aliran per unit luasan dasar. Tegangan geser dasar yang terbentuk tergantung bukan hanya pada kecepatan aliran, tapi juga pada kekasaran dasar. Tegangan geser dasar dapat disebabkan oleh arus, gelombang atau gabungan dari arus dan gelombang.

Tegangan geser dasar kritis pergerakan sedimen adalah tegangan geser yang bekerja pada dasar pada tahap aliran dimana pergerakan sedimen dapat dianggap sudah mulai. Tegangan kritis pergerakan sedimen pada dasar adalah faktor penting dalam perhitungan bersangkutan dengan respon sedimen pada arus. Terutama diperlukan dalam aplikasi menyangkut pergerakan sedimen dasar yaitu untuk sedimen yang lebih kasar dan pengangkatan sedimen halus ke keadaan melayang (van Rijn, 1993).

Pada dasarnya pergerakan sedimen dibagi menjadi pergerakan sedimen dasar dan sedimen layang (van Rijn 1993; Triatmojo 1999). Pergerakan sedimen dasar terjadi jika kecepatan aliran fluida melebihi tegangan kritis pergerakan sedimen, tetapi tidak cukup kuat untuk mengangkat butiran ke keadaan melayang. Sedangkan pergerakan sedimen tersuspensi terjadi jika arus cukup cepat dan butiran cukup halus, butiran akan diangkat ke keadaan melayang bahkan sampai ketinggian beberapa meter di atas dasar, dan dibawa oleh arus.

Pengendapan sedimen terjadi jika butiran berhenti di dasar pada pergerakan sedimen dasar, atau dengan mengendapnya butiran dari keadaan melayang. Biasanya pengangkatan dari beberapa butiran ke atas ke keadaan melayang dan pengendapan dari butiran lainnya ke bawah akibat berat sendiri terjadi bersamaan. Kadang ada butiran sedimen yang terus menerus melayang, walaupun fluida

mengalir pada kecepatan rendah untuk waktu yang cukup lama. Butiran yang tidak pernah mengendap ini disebut *wash load*.

3.5.1. Persamaan Transpor Sedimen Tersuspensi

Persamaan model transpor dari sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi merupakan persamaan transpor (adveksi-difusi) dan ditambah dengan masukan sedimen kohesif dari Laguna Segara Anakan. Dasar persamaan tersebut menurut Xiaohong *et al.* (2005) dan Donnel (2006):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2$$

Keterangan:

C	= konsentrasi (kg/m ³)	y	= arah tegak lurus terhadap x (m)
t	= waktu (detik)	D_x	= koefisien difusi efektif dalam arah x (m ² /detik)
u	= kecepatan aliran dalam arah-x	D_y	= koefisien difusi efektif dalam arah y (m ² /detik)
x	= arah aliran utama (m)	α_1	= koefisien untuk suku sumber (erosi – deposisi, 1/detik)
v	= kecepatan aliran dalam arah-y	α_2	= konsentrasi seimbang dari suku sumber (kg/m ² /detik)

Perhitungan Tegangan Geser Dasar

Tegangan geser dasar dibutuhkan dalam mengetahui adanya sumber masukan sedimen, dinyatakan dengan persamaan Donnel (2006):

$$\tau_b = \rho(u^*)^2$$

Keterangan:

ρ	= densitas air	u^*	= kecepatan geser
--------	----------------	-------	-------------------

Profil Kecepatan Logaritma Dinding Halus

Dinyatakan dengan persamaan Donnel (2006):

$$\frac{\bar{u}}{u^*} = 5,75 \log \left(3,32 \frac{u^* D}{\nu} \right) \quad \text{syarat: } \frac{u^* D}{\nu} > 30$$

Keterangan:

D = kedalaman ν = kekentalan kinematik air

Persamaan Tegangan Geser Manning

$$u^* = \frac{\sqrt{g \bar{u} n}}{CME D^{1/6}}$$

Keterangan:

g = kecepatan gravitasi

n = koefisien kekasaran Manning

CME = koefisien, 1 untuk SI, 1.486 untuk unit Inggris

3.5.2. Transpor Sedimen Kohesif

Kecepatan endap sedimen kohesif dihitung dengan persamaan Krone 1962 dalam Donnell (2006), yaitu:

$$S = \begin{cases} -\frac{V_s}{D} C \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right) & \text{untuk } C < C_c, \tau < \tau_d \\ -\frac{V_k}{D} C^{7/3} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right) & \text{untuk } C > C_c, \tau < \tau_d \end{cases}$$

Keterangan:

τ = tahanan geser dasar

τ_d = tahanan geser kritis deposisi

C_c = konsentrasi kritis

Kecepatan erosi dihitung dengan persamaan:

$$S = \frac{M}{D} \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right), \tau > \tau_e$$

Keterangan:

M = kecepatan erosi τ_e = tahanan geser kritis erosi

Sumber erosi dinyatakan bahwa:

$$S = \frac{T_L \rho_L}{D \Delta t}, \text{ untuk } \tau > \tau_s$$

Keterangan:

T_L = ketebalan lapisan Δt = interval waktu

ρ_L = densitas lapisan τ_s = kekuatan tahanan geser lapisan

Pemodelan sedimen layang di estuari dapat menggambarkan sebarannya untuk tujuan tertentu (Xiaohong *et al*, 2005; Hadi *et al*, 2006; Akhwady, 2008; Sugianto, 2009; Solihuddin *et al*, 2011; Chen *et al*, 2011). Tahap validasi model dengan data pengamatan adalah sangat penting.

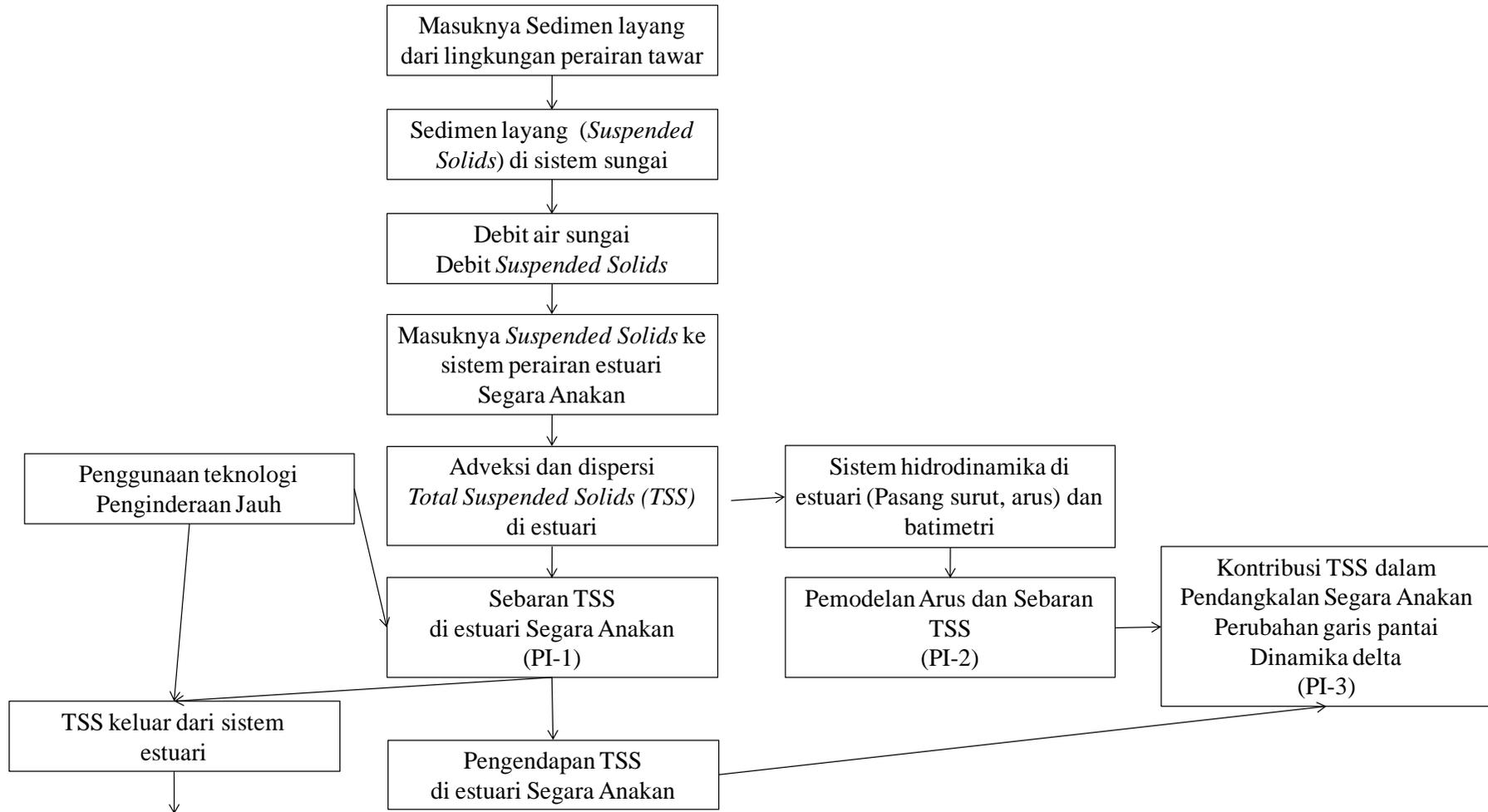
BAB III

KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, DAN KERANGKA PENELITIAN

Pembuatan kerangka teori, kerangka konsep, dan kerangka penelitian didasarkan pada pertanyaan ilmiah (*Research Question*). Ada 3 pertanyaan ilmiah pada tulisan ini, dimana masing-masing pertanyaan ilmiah diberi kode. Pemberian kode tersebut untuk menyederhanakan keterangan gambar. Kode tersebut adalah PI-1 untuk pertanyaan ilmiah pertama, PI-2 untuk pertanyaan ilmiah kedua, dan PI-3 untuk pertanyaan ilmiah ketiga. Kode PI-1 (Bagaimana sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan?); Kode PI-2 (Apakah pemodelan arus dapat memberikan gambaran sebaran TSS yang divalidasi dengan data sebaran TSS dengan penginderaan jauh?); dan kode PI-3 (Bagaimana perubahan garis pantai dan delta di Segara Anakan secara spasial dan temporal?)

3.1. Kerangka Teori

Konsentrasi dan sebaran TSS dipengaruhi oleh karakter fisik dari TSS dan faktor hidrodinamika. Karakter fisik TSS dalam hal ini ukuran butir, densitas, bentuk butir, menentukan sebaran TSS. Masuknya TSS dari sistem perairan dengan salinitas rendah ke dalam sistem perairan estuari yang bersalinitas tinggi mempunyai kondisi perubahan kelistrikan, akibat beda potensial air bersalinitas tinggi. Kondisi tersebut membuat lapisan luar sedimen layang saling menempel (flokulasi), akibat lanjutan adalah bertambahnya ukuran butir dan densitas. Hal tersebut membuat sedimen layang flokulasi lebih berat, lalu mengendap. Kondisi selanjutnya, sebaran dan pengendapan TSS tergantung kondisi hidrodinamika (pasang surut, debit sungai, debit sedimen layang, dan arus). Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka teori sebaran TSS

3.2. Kerangka Konsep

Sebaran TSS di perairan dipengaruhi oleh faktor kompleks. Sebaran TSS dari lingkungan perairan tawar ke estuari mempunyai perubahan kondisi, apakah tetap tertransportasi ataukah terendapkan. Faktor hidrodinamika juga memegang peranan penting, ketika pasang, arus pasang, membawa massa air dengan salinitas tinggi dan berarus membuat TSS terdistribusi ke estuari bagian dalam, ketika surut TSS akan terdistribusi mengikuti arus surut yang kuat ke luar sistem (Samudera Hindia). Dinamika Pasang surut yang tergantung gaya tarik bumi-bulan, membuat arus juga bervariasi. Konsentrasi TSS tergantung debit sungai yang membawa TSS, tergantung musim. Hal tersebut membuat proses kompleks, sehingga perlu disederhanakan dalam bentuk pemodelan (arus dan sebaran TSS)(Gambar 5).

Konsentrasi TSS dari data observasi (data lapangan) dan pengolahan data citra satelit dapat memberikan gambaran sebaran TSS dengan pemetaan, dan dapat digunakan dalam validasi data pemodelan. Pemetaan sebaran konsentrasi TSS dan hasil pemodelan akan di uji RMSE (*Root Mean Square Error*). Uji RMSE merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar error yang terjadi pada hasil perhitungan model jika dibandingkan dengan nilai aktual. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin kecil pula kesalahan yang terjadi pada penggunaan model. Perhitungan RMSE (Jaelani et al., 2016) menggunakan rumus:

$$RMSE = \frac{\sum(P_i - A_i)^2}{n} \times 100\%$$

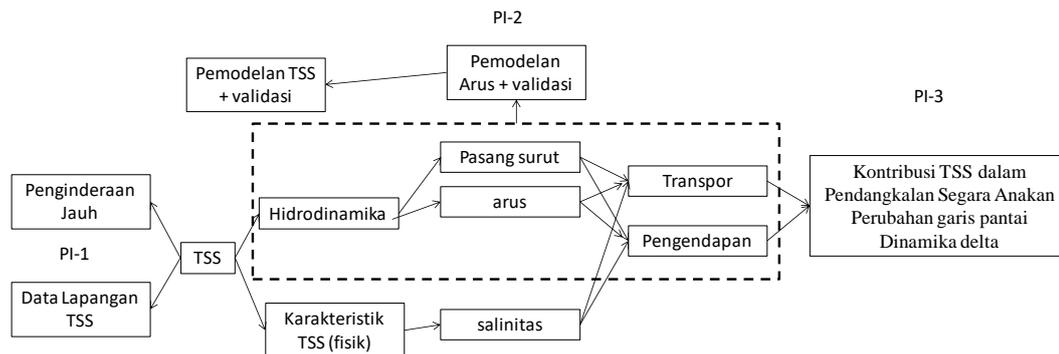
Keterangan :

P = nilai hasil pemodelan

A = nilai aktual

n = jumlah pengamatan validasi

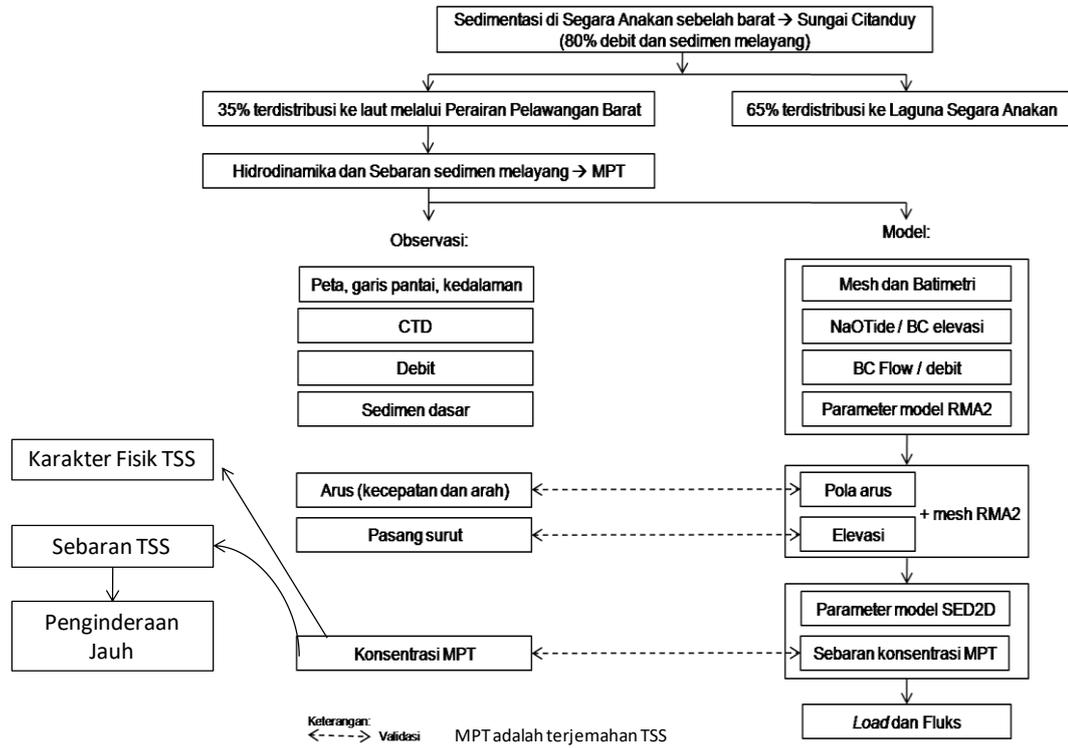
Pemodelan TSS dibangun dari pemodelan arus. Gaya yang bekerja dari model tersebut adalah pasang surut (*elevation input/output boundary*), debit dari sungai (*flow boundary condition*), masukan TSS (*input*). Kondisi hidrodinamika Segara Anakan dipengaruhi oleh Samudera Hindia (*elevation*), dan sungai-sungai yang bermuara di dalamnya (*flow*), dan *input* TSS.



Gambar 5. Kerangka konsep sebaran TSS dan pemodelan

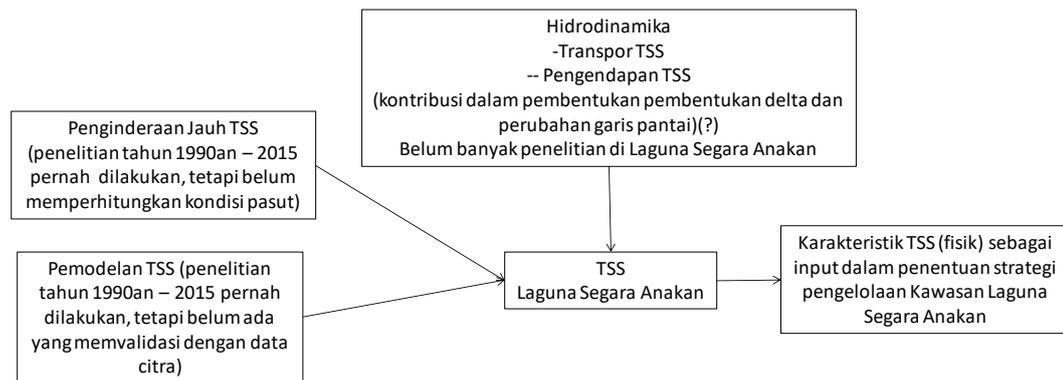
3.3. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka Penelitian

3.4. Fish-bone Penelitian TSS



Gambar 7. Fish-bone dari Roadmap Penelitian TSS di Segara Anakan

BAB IV

METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang: waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, perolehan data, pengolahan data, dan pembuatan model hidrodinamika dan sebaran TSS.

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, analisis citra satelit untuk TSS, pembuatan model hidrodinamika dan sebaran TSS di Laguna Segara Anakan. Penelitian dilaksanakan di Laguna Segara Anakan, data penelitian berupa: data citra satelit, data lapangan untuk pemodelan, analisis data, dan pemodelan arus dan sebaran TSS. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

4. 1. Perubahan Garis Pantai, Luas Badan-Air, Kedalaman, dan Delta di Segara Anakan

Perubahan morfodinamik yang meliputi garis pantai, luas badan-air, kedalaman, dan delta di Segara Anakan dianalisis dari data lapang dan data citra satelit, dengan dugaan pembentukan garis pantai (dan delta) dari proses erosi dan sedimentasi pada bagian-bagian pantai tertentu. Pembuatan garis pantai, dan delta berdasarkan digitasi citra satelit dengan mempertimbangkan kaidah tertentu (Purba dan Jaya, 2004; Ardli dan Wolff, 2009; Winarso *et al*, 2009; Arief *et al*, 2011). Pembuatan peta perubahan garis pantai dan delta dilakukan pada citra satelit beberapa tahun untuk mengetahui perubahan secara temporal. Pendugaan akresi (penambahan sedimen), dengan mempertimbangkan hidrodinamika dan sebaran sedimen dasar.

Perubahan kedalaman dan luas badan air didapatkan dari data lapang, data dari referensi, dan data pengolahan citra. Perubahan morfodinamik dan faktor hidrodinamika diduga mempengaruhi sebaran TSS.

4.1.1. Perubahan Garis Pantai dan Luas Badan Air

Basemap untuk membangun garis pantai dari peta standar adalah peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) tahun 1999 dari Badan Informasi Geospasial. Peta dasar lainnya diadaptasi dari Lukas, (2014, 2017), peta wilayah SAL tahun 1857, 1897, 1924, dan 1962. Sumber peta dasar lainnya diambil dari citra satelit. Data citra Landsat level 1 atau data Tier 1 dengan tingkat akurasi geometris terbaik dan hasil pengolahan kualitas terbaik diunduh dari <https://earthexplorer.usgs.gov/> dan citra satelit Sentinel dari <https://resources.marine.copernicus.eu/>. Akuisisi data tahun 1978, 1990, 2003, 2010, pada Landsat (halaman 121, baris 65) dan citra tahun 2018 dari citra Sentinel 2A di kawasan Laguna Segara Anakan Cilacap. Data kedalaman diolah dari data lapangan tahun 2010 dan 2018.

Pengolahan data penginderaan jauh digunakan dalam analisis spasial dan temporal, khususnya dalam mengekstraksi data garis pantai. Pengukuran data kedalaman menggunakan data garis pantai sebagai input peta batimetri yang dibangun. Analisis overlay dari waktu ke waktu dari beberapa peta garis pantai dan batimetri dengan menghitung perbedaan nilai atau pola dalam perubahan morfodinamik. Perubahan morfologi yang meliputi garis pantai, luas badan air (permukaan air), kedalaman, dan delta di Segara Anakan dianalisis dari data lapangan dan data citra satelit, dengan asumsi bahwa pembentukan garis pantai (dan delta) dari erosi dan proses sedimentasi pada bagian tertentu hingga ke pantai.

Metode ekstraksi garis pantai tergantung dari jenis datanya, untuk mengekstrak garis pantai dari suatu basemap dapat dilakukan dengan digitasi on-screen dengan cara yang hati-hati. Ekstraksi garis pantai dari peta sejarah dari Lukas, (2014, 2017). Pembuatan peta perubahan garis pantai dan delta digunakan citra satelit selama beberapa tahun untuk menentukan perubahan temporal. Langkah awal untuk membangun garis pantai dari citra satelit menggunakan interpretasi visual dari kombinasi band dalam False Color Composite (FCC), yang merupakan kombinasi dari NIR, Red dan Green yang masing-masing terletak di R, G, B kemudian menggunakan rasio band antara merah dan NIR Salghuna and Bharathvaj, (2015). Pita yang diperlukan untuk FCC ditambahkan dan FCC dibuat di QGIS (<http://www.qgis.org>). Cara alternatif untuk mengunduh dan memproses citra satelit dapat digunakan oleh Google Earth Engine Gorelick et al., (2017), dan menghasilkan data pantulan di Landsat atau Sentinel Claverie et al., (2018). Langkah selanjutnya mengekstrak garis pantai dari citra satelit menggunakan Normalized Difference Water Index (NDWI), indeks tersebut dibangun dengan algoritma dengan dua band (hijau dan Near Infrared, NIR), $NDWI = (Hijau - NIR)/(Hijau + NIR)$ (McFeeters, 1996; Xu, 2006; Guo et al., 2017; Prayogo, 2021). Badan perairan (permukaan) dibangun dari data garis pantai periode 1857 (diadaptasi dari Lukas, (2014)) – 2018.

4.1.2. Perubahan Kedalaman dan Pembentukan Delta

Pemrosesan batimetri menggunakan perangkat lunak pemetaan dengan menginterpolasi titik-titik kedalaman ke dalam kisi-kisi batimetri Siregar and Selamat, (2009). Garis pantai dan titik kedalaman untuk diinterpolasi dalam

perangkat lunak QGIS. Titik garis pantai dan titik kedalaman menghasilkan kontur dan ditutupi oleh garis pantai (shapefile), diinterpolasi dengan Triangulation Irregular Network (TIN). Analisis batimetri SAL dengan membandingkan data tahun 2010 dan data tahun 2018.

4. 2. Sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan

Kegiatan perolehan data citra satelit, penulis berencana menggunakan citra Landsat dan Sentinel 2A berbagai tahun dalam penentuan sebaran TSS, analisis perubahan luas laguna, perubahan garis pantai. Citra satelit Landsat yang akan digunakan dari situs USGS dengan kode daerah *path 121 row 65*, dengan resolusi spasial 30 m, sedangkan citra Sentinel 2A mempunyai resolusi spasial 10 m.

Kegiatan perolehan data meliputi: survei batimetri, data pasang surut, data arus, data salinitas dan temperatur, data sedimen dasar, dan pengambilan sampel air untuk TSS. Peta batimetri dapat digunakan: analisis perubahan area dan volume laguna Segara Anakan, pendukung dalam analisis tumpang-tindih (*overlays*) peta, sebagai input model. Data pasang surut digunakan untuk mengoreksi sebaran TSS dari citra satelit, input model. Data arus digunakan sebagai input model dan validasi model. Data salinitas dan temperatur digunakan sebagai input model, analisis tipe pencampuran estuari. Data sedimen dasar digunakan untuk mengetahui komposisi sedimen dasar, input model. Data TSS digunakan sebagai input model dan validasi model.

Pengolahan dan analisis data meliputi: analisis citra satelit untuk mengetahui sebaran TSS pada beberapa tahun (sangat tergantung ketersediaan citra di situs USGS), analisis citra satelit untuk mengetahui perubahan garis pantai (akresi, abrasi, pembentukan delta). Pengolahan dan analisis citra satelit untuk mengetahui

sebaran TSS menggunakan algoritma (Ouillion *et al*, 2008) dari peneliti sebelumnya (Parwati *et al*, 2009; dan Solihuddin, 2010). Pengolahan data citra juga dapat digunakan dalam memvalidasi hasil pemodelan dengan beberapa syarat yang harus dipenuhi.

Tabel 8. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian

No	Alat dan Bahan	Satuan	Keterangan
Observasi			
1.	<i>Global Positioning System</i> (GPS)	°lat-lon	Untuk mengetahui posisi koordinat
2.	Perahu	-	Alat transportasi pengambilan sampel
3.	Pengambil sampel air Van Dorn	-	Pengambilan sampel air
4.	Botol sampel	-	Penyimpanan sampel air.
5.	Kotak pendingin (<i>cool box</i>)	-	Penyimpanan sampel
6.	Grab Sampler	-	Pengambilan sampel sedimen dasar
7.	Kantong plastik	-	Tempat penyimpanan sampel sedimen
8.	GPS-Echo-Sounder	-	Pengukuran kedalaman dan posisi
9.	Tongkat berskala	cm	Pengukuran pasang surut, ditambah data dari prediksi pasang surut <i>NaOTide</i>
10.	<i>Valeport Current meter</i>	m/dtk	Pengukuran kecepatan dan arah arus
11.	CTD (salinitas, suhu, kedalaman)	‰ °C m	Pengukuran sebaran salinitas, suhu, dan kedalaman
Laboratorium			
1.	Pompa vacum dan filter	-	Menyaring sampel air
2.	Oven	-	Memanaskan sampel untuk menguapkan air dan bahan organik pada sampel
3.	Kertas saring Whatman	µm	Kertas Whatman tipe 0,45 µm 47 mm <i>fine crystalline</i> (CN Membrane WP)
4.	Desikator	-	Pendingin sampel setelah dari proses pengovenan, untuk mempertahankan suhu
5.	Timbangan	mg	Menimbang sampel dari desikator
6.	Analisa sedimen dasar	-	Mengetahui fraksi sedimen dasar
Analisa Data			
1.	Peta lingkungan laut, data dari GoogleEarth, gambar satelit, perangkat lunak pengolah gambar	-	Pembuatan peta dasar, mengkonversi sistem koordinat (dari Latitude-Longitude menjadi Northing-Easting, UTM). Analisis sebaran TSS
2.	Perangkat lunak pengolahan peta dan batimetri	-	Pembuatan peta batimetri, mencari luas penampang, mengetahui luas area, mengetahui volume, profil melintang dan horisontal
3.	Perangkat lunak ODV (Ocean Data View) versi 5.4.0 (<i>open source</i>) dan perangkat lunak pengolah data <i>spread-sheet</i>	-	Mengolah data-data sebaran secara horisontal dan vertikal (salinitas, suhu, TSS, densitas). Mengolah data yang bersifat data baris-kolom dengan fungsi-fungsi matematis. <i>Lay-out</i> (tampilan) data secara grafis (diagram <i>Ternary</i> , <i>stick plot</i>)
4.	Perangkat lunak pemodelan	-	Pembuatan model hidrodinamika dan sebaran sedimen melayang, analisa data model

4.3. Pemodelan arus dan Sebaran TSS

Pembuatan model dengan bantuan komputer, perangkat lunak yang digunakan antara lain pengolah data *spread-sheet*, pengolah data citra satelit, dan pengolah data pemodelan (MIKE-21). Pemodelan arus dan sebaran TSS mempunyai tingkat kerumitan saat validasi model konseptual (penyusunan mesh atau grid), running model awal, validasi, dan running akhir. Pemodelan arus dan TSS dengan model menurut Donnell (2008) dengan persamaan konservasi momentum. Diagram kerja dapat dilihat pada Gambar 8.

Arah sumbu x:

$$H \frac{\partial u}{\partial t} + Hu \frac{\partial u}{\partial x} + Hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{H}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486H^{\frac{1}{6}}\right)^2} + (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2H\omega v \sin \phi = 0$$

Arah sumbu y:

$$H \frac{\partial v}{\partial t} + Hv \frac{\partial v}{\partial x} + Hu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{H}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{\left(1.486H^{\frac{1}{6}}\right)^2} + (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2H\omega v \sin \phi = 0$$

keterangan:

H = kedalaman perairan

t = waktu

u, v = komponen kecepatan dalam arah x dan y

ρ = kerapatan fluida

g = percepatan gravitasi

E = koefisien kekentalan turbulen,

E_{xx} , dalam arah normal terhadap bidang x

E_{yy} , dalam arah normal terhadap bidang y

E_{xy} dan E_{yx} , masing-masing berhimpit dengan bidang x dan y

a = elevasi dasar perairan

n = koefisien kekasaran Manning

ζ = koefisien tegangan geser angin empiris

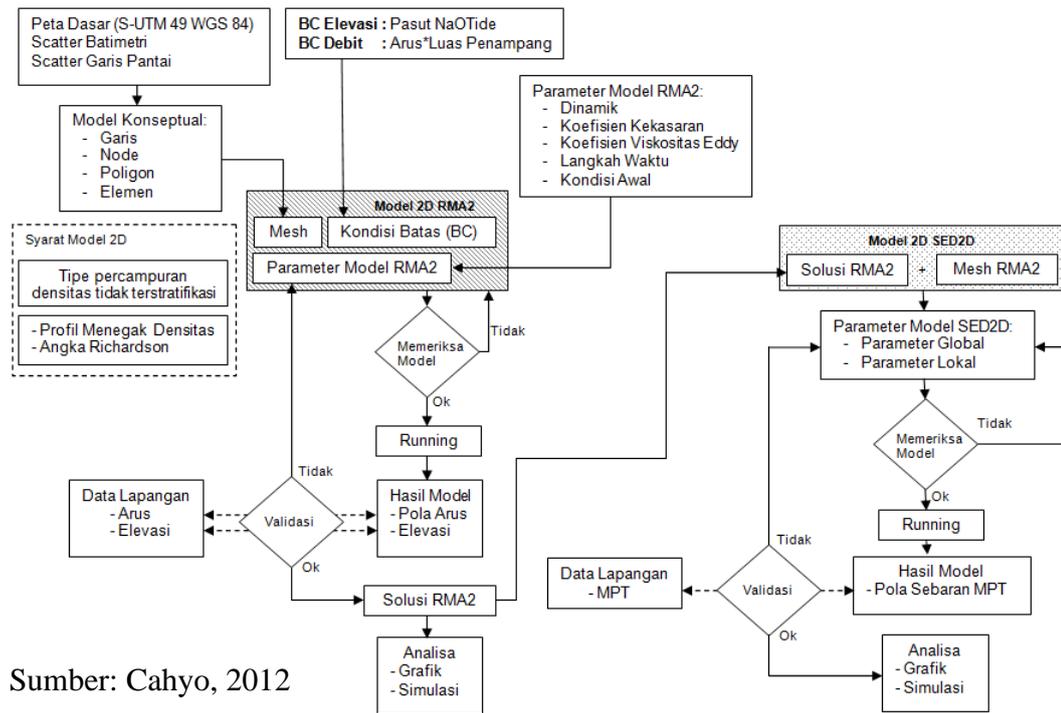
V_a = kecepatan angin

ψ = arah angin

ω = kecepatan rotasi bumi

ϕ = posisi lintang geografis

Pemodelan hidrodinamika di Segara Anakan dibangun dengan *input* data lapangan, dengan mempertimbangkan ketentuan dari peneliti-peneliti sebelumnya (Holtermann *et al*, 2009; Sachoemar dan Purwandani, 2009; Nurjaya dan Surbakti, 2010), dan pemodelan sebaran TSS (Hadi *et al*, 2006; Akhwady dan Sufyan, 2008; Sugianto, 2009; dan Solihuddin, 2011).



Sumber: Cahyo, 2012

Gambar 8. Diagram kerja pemodelan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perubahan Geomorfologi

Laguna Segara Anakan (SAL) terletak di pantai tenggara Jawa Tengah di Indonesia. Pulau Nusakambangan melindungi SAL dari Samudra Hindia, dan terhubung ke laut melalui dua outlet pembukaan, sudut barat daya SAL (nama lokal Pelawangan Barat) dan timur (nama lokal Pelawangan Timur). Hidrodinamika SAL dipengaruhi oleh gaya pasang surut Samudera Hindia melalui saluran dan inflow air tawar yang terutama disuplai oleh sungai Citanduy (White et al., 1989; Holtermann et al., 2009). Outlet barat pada tahun 1982, lebih penting untuk gerakan pasang surut karena karakteristiknya (lebih pendek, lebih dalam, dan lebih luas dari outlet timur), tetapi sedimentasi membuat outlet barat lebih sempit dan dangkal.

Sedimentasi di bagian barat SAL menyebabkan perubahan geomorfologi dan lingkungan perairan. Perubahan luasan laguna sebagian besar disebabkan oleh sedimentasi dari sungai Citanduy, dan sebagian lagi oleh sungai Cibereum dan Cikonde (White et al., 1989; Máñez et al., 2009; Máñez, 2010). Luas SAL pada tahun 1850-an adalah 8.000 Ha, menurut White et al., (1989) tahun 1900 menjadi 6.675 Ha, sedangkan pada tahun 1984 menyusut menjadi 2.761 Ha, tiga perempat laguna telah tertimbun lumpur sejak tahun 1857/60 Lukas, (2015).

Pasokan sedimen ke SAL berasal dari sungai Citanduy. Masukan sedimen yang terdiri dari pasir dan lumpur yang sangat halus, terangkut dan terendapkan di SAL kemudian menyebabkan terjadinya akresi sedimen. Pertambahan sedimen disebabkan oleh sedimentasi dari dataran tinggi yang secara bertahap mengurangi

luas dan volume SAL, perubahan garis pantai, luas badan air, dan perubahan kedalaman. Perubahan garis pantai dikaitkan dengan pasang surut, proses geomorfik erosi dan akresi Salghuna and Bharathvaj, (2015).. Ekstraksi garis pantai dari data lama peta dasar di SAL dilakukan oleh Lukas, (2014, 2015). Ekstraksi garis pantai dari citra satelit dengan Normalized Difference Water Index (NDWI) menghasilkan edge dan akurasi yang lebih baik (McFeeters, 1996; Guo et al., 2017; Özelkan, 2020; Prayogo, 2021). Cara alternatifnya adalah Automated Water Extraction Index (AWEI) Feyisa et al., (2014), namun dalam penelitian ini menggunakan NDWI untuk membuat area masking untuk mengekstrak garis pantai. Pertambahan sedimen membangun formasi delta, dan beberapa pulau telah berkembang dan ukurannya bertambah. Garis pantai, delta Ford and Dickson, (2018), dan formasi pulau baru dapat dipantau dengan penginderaan jauh. Citra satelit dapat diunduh oleh Google Earth Engine Gorelick et al., (2017), dan menghasilkan data pantulan di Landsat atau Sentinel Claverie et al., (2018). Pemantauan spatio-temporal dengan citra satelit mempelajari perubahan garis pantai dan perubahan luas permukaan air.

4.1.1. Perubahan Garis Pantai

Tekanan lingkungan akibat tingginya tingkat sedimentasi menyebabkan tumbuhnya daratan baru dan menyebabkan perubahan garis pantai serta berkurangnya luas perairan tersebut. Luas LSA menurun secara temporal, salah satu penyebab terbesar adalah letusan Gunung Galunggung pada tahun 1822, 1983 dan 1984, penyebab lainnya adalah erosi DAS Citanduy (Máñez, 2010; Lukas, 2014, 2015). Pada tahun 1903 dilaporkan luas laguna mencapai lebih dari 6.000 ha

(Máñez, 2010), sedangkan dari penelitian oleh Lukas, (2014), bagian barat laguna Segara Anakan seluas 8.010 ha pada tahun 1850-an.

Sedimentasi menyebabkan penyusutan laguna bervariasi setiap tahunnya. Bentuk lahan berupa persawahan seluas 2.557 Ha. Luas Segara Anakan pada tahun 1986 adalah 3225 Ha White et al., (1989), berkurang menjadi 2.270 Ha pada tahun 1984 Ardli and Wolff, (2009), perkiraan perubahan luas LSA berkurang 100-130 Ha/tahun. Pembentukan garis pantai dari waktu ke waktu dan penambahan sedimen yang menyebabkan penurunan luas LSA bagian barat disajikan pada **Gambar 9** dan **Tabel 9**. Berdasarkan Lukas, (2017) bahwa tiga perempat bagian barat SAL telah tertimbun lumpur sejak tahun 1857/60 (data sampai tahun 2013), namun perhitungan tahun 2018 mencapai lebih dari 85%. Hal ini menunjukkan bahwa akresi mengubah garis pantai dengan cepat. Muatan sedimen dan akresi yang mengubah garis pantai dengan percepatan yang sangat besar (legenda pada Gambar 9). Dua agradasi garis pantai terbesar terjadi pada tahun 1978-1990 (144,23 Ha/tahun) dan tahun 1999-2003 (177 Ha/tahun). Hal ini diakibatkan oleh banyak faktor, Lukas, (2017) sebut saja yang berkaitan dengan pertanian tadah hujan (khususnya pada tahun 1970-1990an), budidaya kopi, penebangan kayu, pengembangan perkebunan, dan migrasi masuk, erosi, pemotongan lereng untuk memperbesar lahan pertanian, pertanian di zona riparian, saluran sungai dan modifikasi dataran banjir, dan letusan gunung berapi. Dinamika garis pantai dipengaruhi oleh pasang surut, beban sedimen, dan aktivitas sungai Salghuna and Bharathvaj, (2015).

Tabel 9. Laju sedimentasi di Laguna Segara Anakan Bagian Barat

No	Tahun	Periode	Lama Waktu	Luas Badan Air (Ha)	Laju Sedimentasi per tahun (Ha/year)
1	2	3	4	5	6
1	1857		1	8329.84	-
2	1897	1857 - 1897	40	7729.39	15.01
3	1924	1897 - 1924	27	6886.33	31.22
4	1962	1924 - 1962	38	5456.79	37.61
5	1978	1962 - 1978	16	4149.53	81.7
6	1990	1978 - 1990	12	2474.67	139.57
7	1999	1990 - 1999	9	2089.32	42.81
8	2003	1999 - 2003	4	1449.87	159.86
9	2010	2003 - 2010	7	1270.46	25.63
10	2018	2010 - 2018	8	1136.55	16.73

4.1.2. Perubahan Luas Permukaan Air

Daerah perubahan badan air yang diekstraksi dari data garis pantai, tidak menggambarkan beban sedimen secara langsung, tetapi membutuhkan batimetri historis. Deret waktu data batimetri bagian barat SAL dari White et al., (1989) dan Holtermann et al., (2009), tetapi data lainnya tidak dilaporkan sebagai artikel yang tidak dipublikasikan. Sedimen yang dimuat dan diendapkan di laguna dan yang terangkut ke Samudera Hindia memiliki variasi spasio-temporal. Gambaran dinamika temporal input sedimen di bagian barat SAL dapat diasumsikan dengan adanya perubahan luasan badan air laguna, bahkan tidak dengan proporsionalitas langsung.

Sedimentasi di laguna Segara Anakan mempengaruhi perubahan garis pantai dan luas laguna dari waktu ke waktu. Penurunan temporal badan air di bagian barat LSA disajikan pada **Gambar 10**. Perubahan garis pantai yang paling terlihat dari waktu ke waktu adalah inlet-outlet Pelawangan Barat pada tahun 1980, bagian barat ditutup, kawasan Plataran Agung menjorok ke timur, muara sungai Citanduy

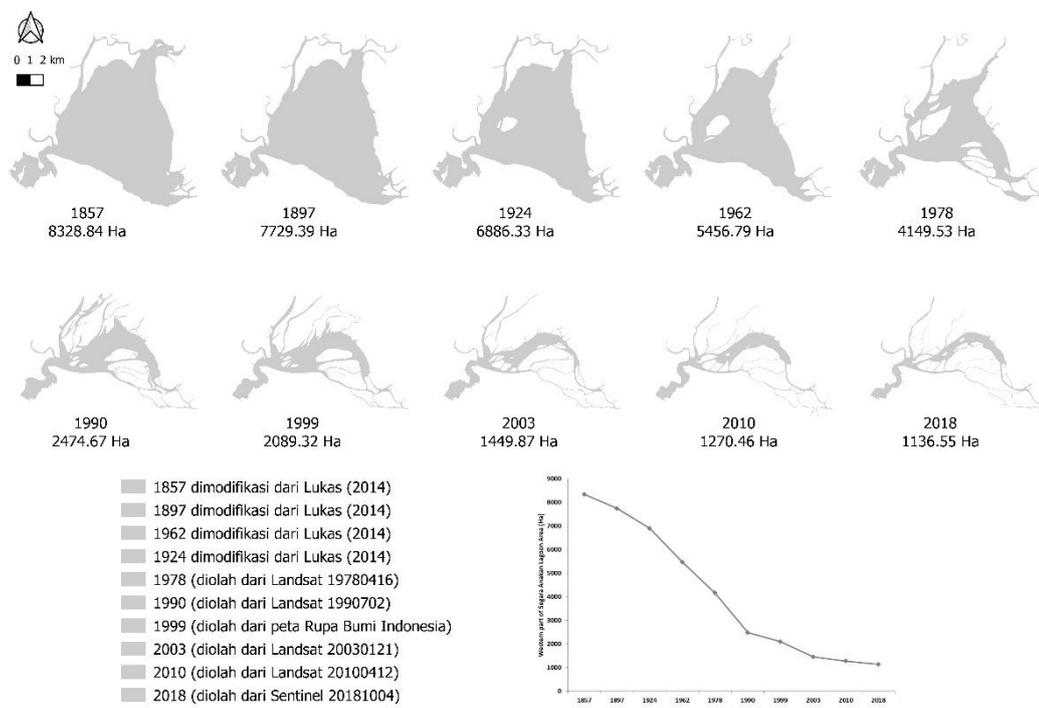
menunjukkan pertumbuhan delta, laguna menyempit. Rata-rata penurunan kecepatan perubahan badan air adalah 61 Ha/tahun.

Penurunan luas badan air dalam Ha/tahun dengan kecepatan tinggi terjadi pada periode 1978-1990 dan 1999-2003, mengikuti perubahan garis pantai. Menurut Lukas, (2017), pada kurun waktu 1978-2003 faktor yang diduga menyebabkan sedimentasi tinggi adalah pertanian tadah hujan, erosi, pertanian di daerah sempadan sungai, erupsi Gunung Galunggung, saluran sungai. Pengaruh sedimentasi, menunjukkan bahwa 2 bagian SAL, PBW dan laguna utama, dapat diasumsikan memberikan gambaran dinamika temporal muatan sedimen terhadap SAL.

Perubahan yang paling terlihat pada garis pantai dan badan air dari waktu ke waktu adalah PBW pada tahun 1980, bagian barat ditutup, dimana pada tahun 1978 masih menunjukkan inlet-outlet yang memiliki 2 bagian (istilah lokal untuk saluran bagian barat adalah Pelawangan Wadon). , bagian timur yaitu Pelawangan Lanang) dan laguna utama. Sungai Citanduy melewati sudut barat daya os SAL, sungai ini cenderung mengalir ke tengah laguna dan menyimpan banyak beban sedimen di sana saat air pasang. Menurut White et al., (1989), outlet barat lebih penting untuk aksi pasang surut karena lebih pendek, lebih dalam, dan lebih luas. Kondisi tersebut (berdasarkan Gambar 3), hanya bertahan hingga tahun 1990, namun menurut peta di Lukas, (2014), ditutup pada tahun 1983. Kondisi PBW diubah menjadi pendek, dangkal, dan sempit. Kondisi itu berdampak pada laguna utama, menjadi dangkal, dan sempit.

4.1.3. Perubahan Kedalaman

Analisis batimetri digambarkan dengan dua wilayah yang memberikan kondisi yang berbeda, yaitu PBW dan bagian tengah laguna (**Gambar 11**). Kondisi batimetri di PBW : 1. di bagian selatan PBW menjadi dangkal dan sempit, serta ambang di depan outlet, 2. di bagian tengah PBW, bagian dalam, tempat yaitu Plataran Agung menjorok ke timur mulai dari 1970-an. 3. Di bagian utara PPB, penurunan kedalaman hampir terjadi di semua wilayah, terutama wilayah timur laut.



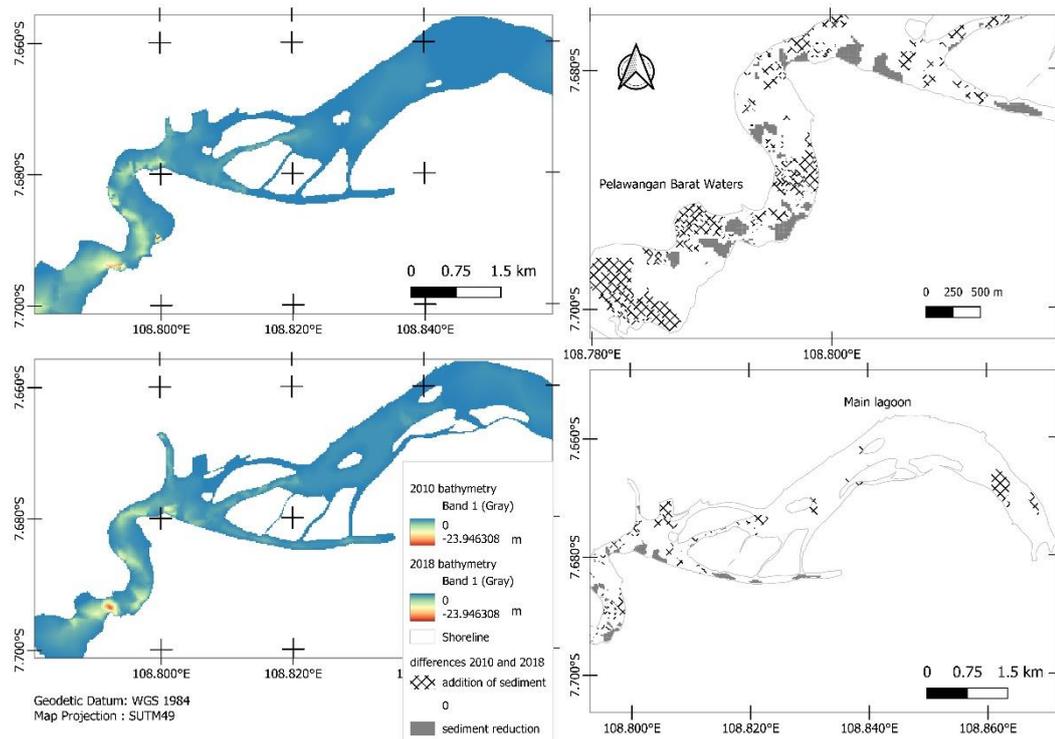
Gambar 10. Perubahan luas badan air secara temporal di Segara Anakan Bagian Barat

Kondisi batimetri laguna utama: 1. di muara sungai Citanduy terlihat formasi delta yang diduga menutup akses menuju desa Karanganyar, dan jalur menuju

laguna utama, 2. laguna utama tertimbun lumpur hampir di setiap bagiannya. Lapisan sedimen tersingkap saat pasang surut, di banyak area di bagian ini. Sedimentasi tersebut membuat laguna utama menjadi kanal-kanal sempit. Hasil overlay batimetri tahun 2010 dan 2018 pada kedua wilayah SAL ini menunjukkan adanya endapan sedimen dan menunjukkan penurunan kedalaman.

4.1.4. Pembentukan Delta

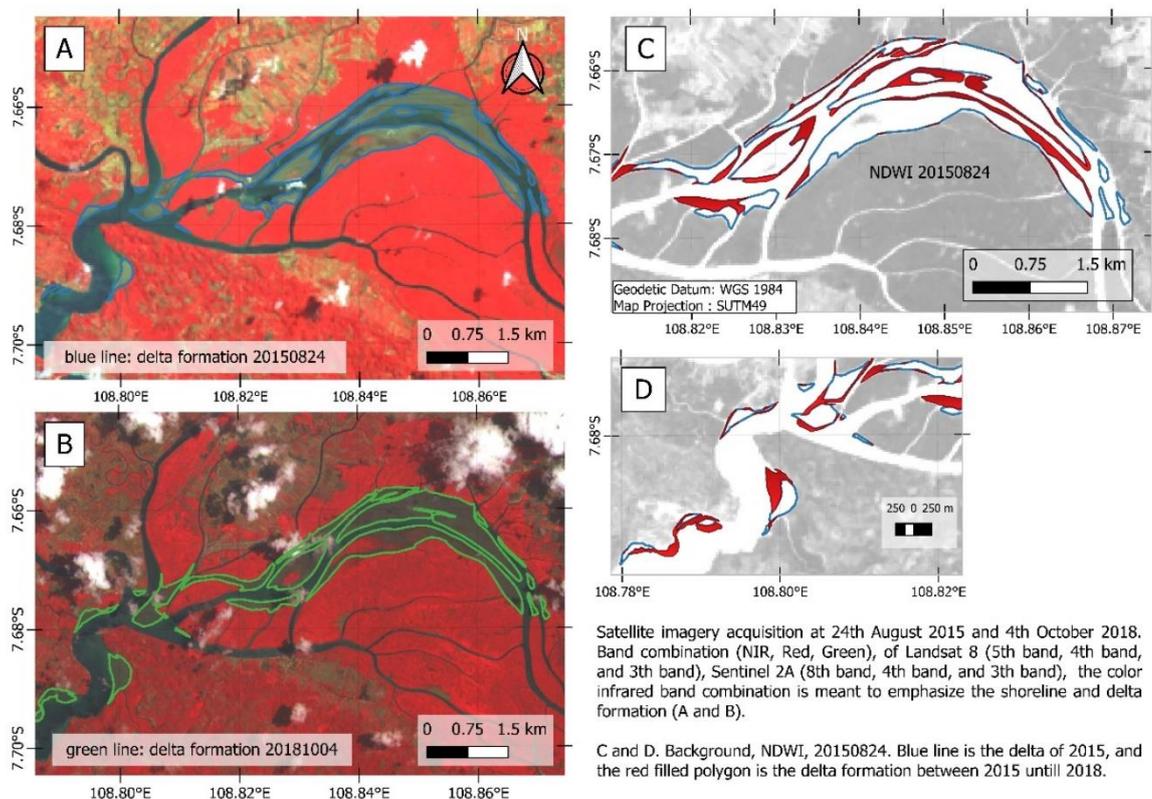
Delta yang berasal dari endapan sedimen di LSA dipengaruhi oleh pasang surut dan fitur morfologi penting Ford and Dickson, (2018). Delta merupakan cadangan sedimen yang sangat besar, terutama pasir. Variabilitas beban sedimen pada area LSA merepresentasikan perubahan laguna. Daerah muara Citanduy memperlihatkan pertumbuhan delta pada bagian dekat wilayah desa Karanganyar sejak tahun 1980-an (Lukas, 2017), Pada tahun 2018, delta yang terbentuk menutupi akses menuju kawasan tengah laguna. Area tengah laguna berubah lebih sempit. PPB menunjukkan kondisi yang sama (**Gambar 11**), analisis tumpang tindih (*overlay*) dari data kedalaman tahun 2010 dan 2018, endapan sedimen menyebar hampir di seluruh lokasi.



Gambar 11. Perubahan batimetri di Laguna Segara Anakan bagian barat

Berdasarkan **Gambar 12**, pada bagian tengah laguna menunjukkan kondisi yang berbeda antara tahun 2015 dan 2018, delta diasumsikan terbentuk mengikuti pola pasang surut, pada daerah ini arah banjir ke arah timur laut dan arah pasang surut ke arah barat daya. Holtermann et al., (2009). Kondisi tersebut terlihat jelas pada tahun 2015 (Gambar 12. A) dan tahun 2018 (Gambar 12. B). Kombinasi arus pasang surut dan beban sedimen, delta terbentuk. Menurut Ford and Dickson, (2018), citra satelit digunakan untuk memeriksa perubahan sistem delta pasang surut dengan citra waktu-rata-rata untuk mengidentifikasi delta. Gambar 12. C dan D adalah pembentukan delta dari tahun 2015 ke tahun 2018, yang ditandai dengan poligon berwarna merah. Berdasarkan Tabel 9, kolom nomor 4 dan 5 (lama waktu dan luas badan air), dengan penggunaan rumus forecast di MS Excel, prediksi

proyeksi penuh, dimana tinggal alur kecil, akan tercapai pada tahun 2032 terhitung dari tahun 2018 adalah selama 13,6 tahun.

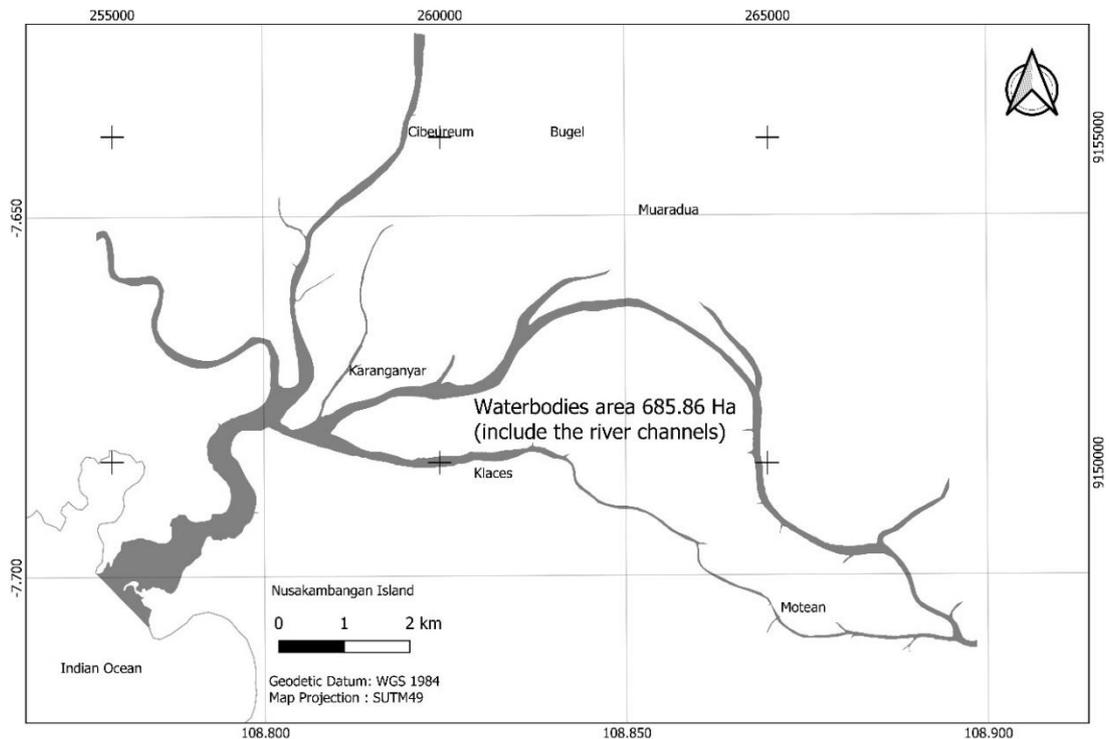


Gambar 12. Formasi delta pada bagian laguna Segara Anakan bagian barat

4.1.5. Sebaran Sedimen Dasar

Analisis fraksi butiran sedimen dasar didapatkan hasil: kelas sedimen daerah dekat Laguna Segara Anakan (PPB bagian utara) adalah dominansi pasir, sedangkan di daerah tengah PPB dan dekat mulut Nusa Were berupa kelas lanau-berliat. Hal tersebut diduga bahwa arus dari Segara Anakan membawa material sedimen mengendapkan sejumlah pasir di daerah Utara PPB, sedangkan material sedimen halus terbawa sampai ke laut dan terjadi pengendapan di daerah tengah PPB dan dekat pelawangan. Peran arus pasang surut sangat dominan di PPB dalam proses transpor sedimen (van Rijn 1993; Triatmojo 1999; Ji 2008). Di daerah dekat dengan

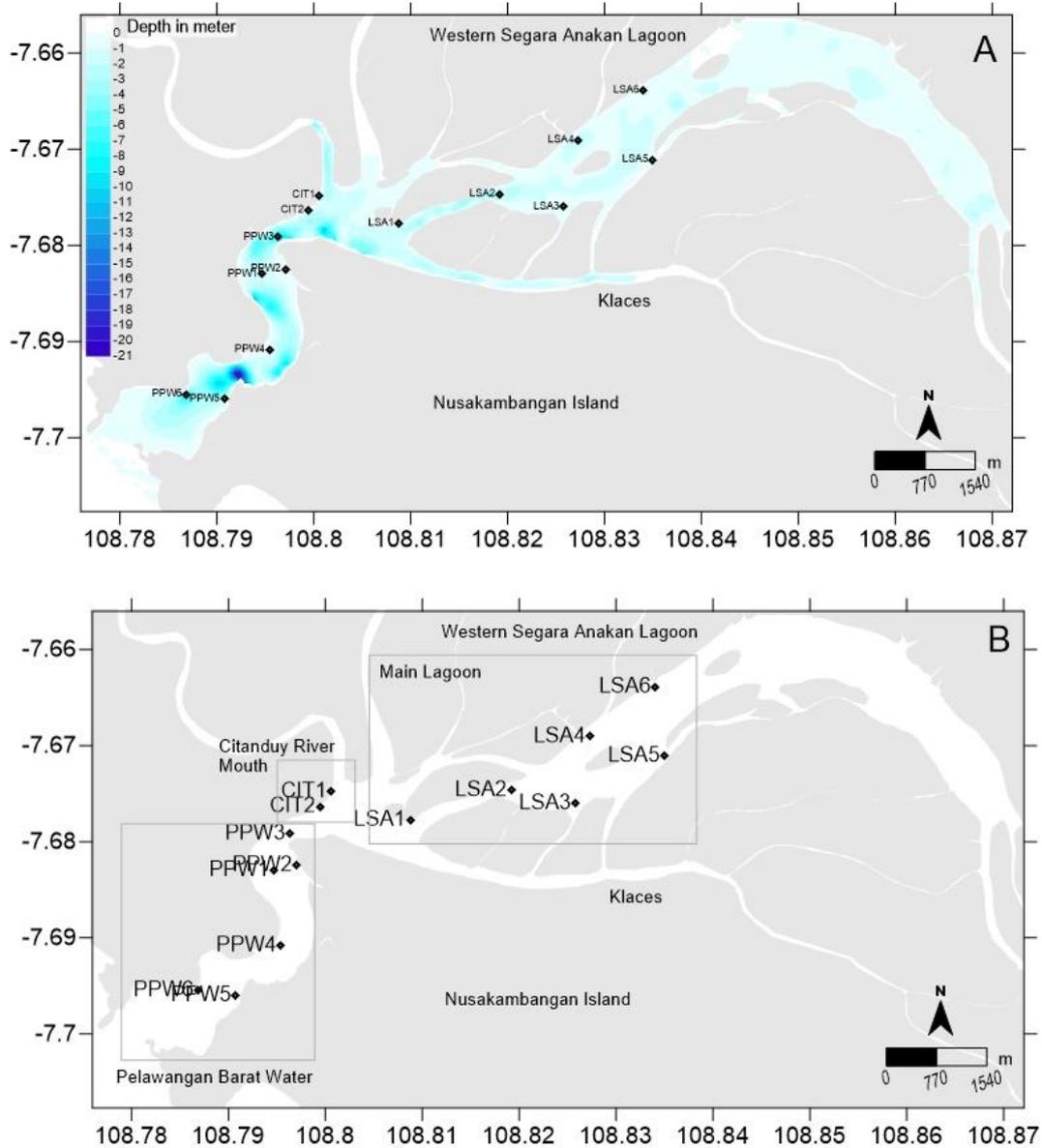
muara sungai Citanduy didominasi oleh pasir dan pasir lanauan. Daerah laguna didominasi oleh campuran lanau (lanau berliat, lanau berpasir, dan liat berlanau).



Gambar 13. Proyeksi sedimentasi pada tahun 2032 dengan luas badan air 685,86 Ha

Tabel 10. Fraksi sedimen dasar laguna Segara Anakan bagian barat

Bujur	Lintang	stasiun	Sand	Silt	Clay	Kelas
108° 48' 2.2"	7° 19' 30.8"	CIT1	96,48	1,85	1,68	Pasir
108° 47' 58"	7° 19' 25.2"	CIT2	43,96	29,77	26,27	Pasir berlanau
108° 48' 31.5"	7° 19' 20.2"	LSA1	1,52	61,76	36,72	Lanau berliat
108° 49' 9.1"	7° 19' 31.2"	LSA2	2,54	55,07	42,39	Lanau berliat
108° 49' 32.9"	7° 19' 26.4"	LSA3	26,73	48,25	25,02	Lanau berpasir
108° 49' 38.3"	7° 19' 51.4"	LSA4	2,44	39,22	58,34	Liat berlanau
108° 50' 10"	7° 19' 43.9"	LSA5	1,54	49,78	48,68	Lanau berliat
108° 50' 2.6"	7° 20' 10.1"	LSA6	1,21	36,13	62,66	Liat berlanau
108° 47' 40.8"	7° 19' 1.3"	PPB1	86,4	11,5	2,1	Pasir
108° 47' 49.4"	7° 19' 3.1"	PPB2	68,8	12,45	18,75	Pasir berliat
108° 47' 46.7"	7° 19' 15"	PPB3	72,1	23,99	3,91	Pasir berlanau
108° 47' 10.4"	7° 18' 19.4"	PPB6	97,46	1,91	0,63	Pasir
108° 47' 26.7"	7° 18' 14.4"	PPB5	32,19	42,99	24,82	Lanau berpasir
108° 47' 43.5"	7° 18' 33.0"	PPB4	34,43	39,85	25,72	Lanau berpasir



Gambar 14. Stasiun pengambilan sampel sedimen dasar dan kelas fraksi sedimen

Sampel sedimen dasar diproses dengan metode pengayak dan gravimetri (Wibisono 2005). Persentase berat total yang tertahan dan ukuran butir ditampilkan dalam diagram Ternary. Ukuran rata-rata (D50) adalah ukuran yang terkait dengan rata-rata area di bawah kurva distribusi frekuensi kumulatif sedimen (Blott dan Pye, 2001). Kurva yang digunakan untuk mengetahui keberadaan beberapa jenis dalam campuran sedimen. Untuk hasil detail karakteristik sedimen, disajikan pada Tabel

11. Menurut Blott dan Pye, 2001, rumus D50 yang digunakan dalam perhitungan parameter ukuran butir menggunakan ukuran grafik logaritmik:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

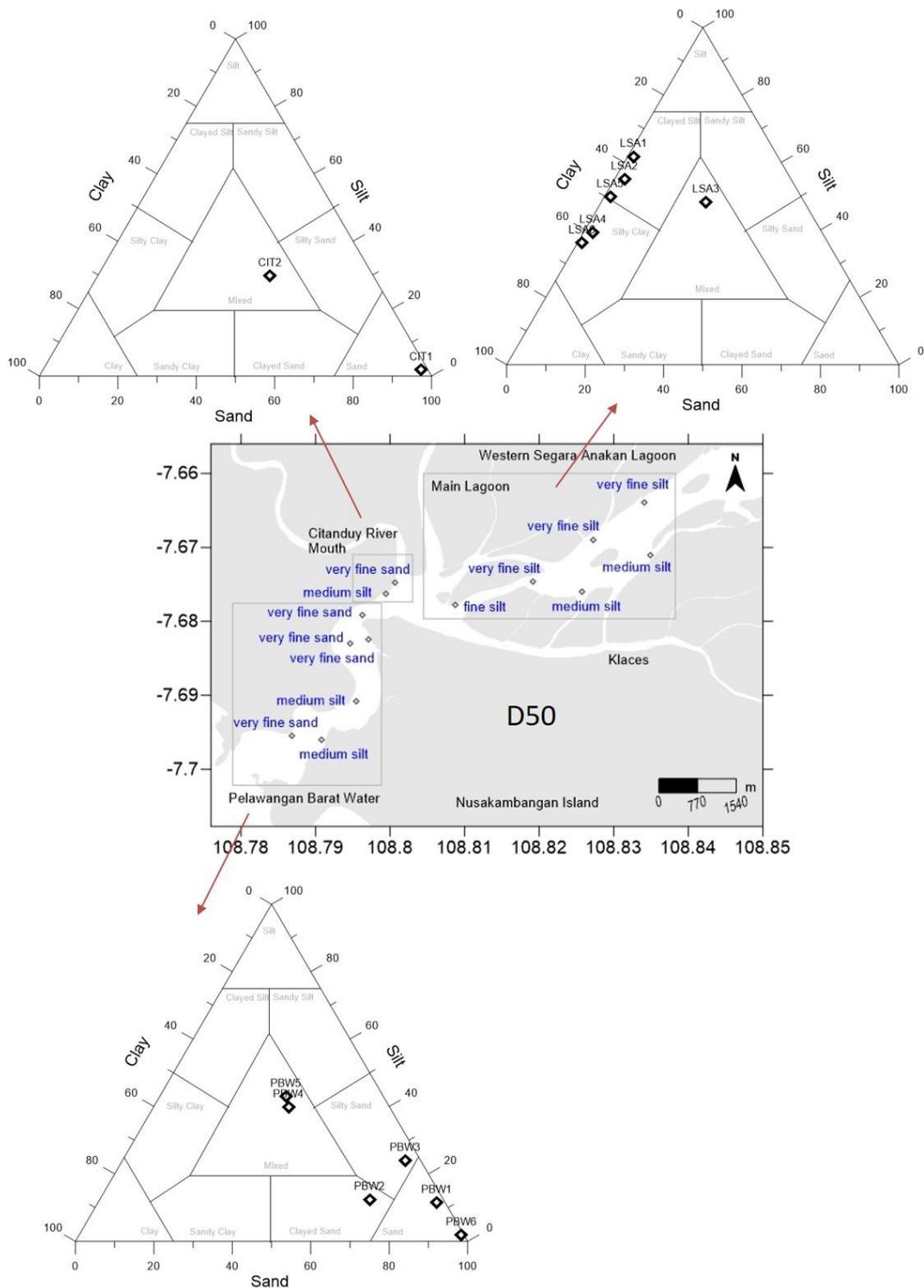
Tabel 11. Sediment Characteristics of Western Segara Anakan Lagoon

Stasiun	Pasir	Lanau	Liat	Kelas Ternary	D50	D50 Class	Sorting	Ket. Sortasi	Skew	Ket Skewness
CIT1	96,48	1,85	1,68	Pasir	0,0748	Pasir sangat halus	0,1224	vws	0,1033	Fine skewed
CIT2	43,96	29,77	26,27	Mixed	0,02	Lanau Medium	0,1842	vws	0,2502	Fine skewed
LSA1	1,52	61,76	36,72	Lanau liat	0,008	Lanau halus	0,0519	vws	0,0178	Near symmetrical
LSA2	2,54	55,07	42,39	Lanau liat	0,004	Lanau sangat halus	0,0519	vws	0,0188	Near symmetrical
LSA3	26,73	48,25	25,02	Mixed	0,0245	Lanau Medium	0,0949	vws	0,1196	Fine skewed
LSA4	2,44	39,22	58,34	Liat berlanau	0,007	Lanau sangat halus	0,1391	vws	0,1536	Fine skewed
LSA5	1,54	49,78	48,68	Lanau liat	0,0245	Lanau Medium	0,0218	vws	0,0057	Near symmetrical
LSA6	1,21	36,13	62,66	Liat berlanau	0,007	Lanau sangat halus	0,1275	vws	0,1389	Fine skewed
PBW1	86,4	11,5	2,1	Pasir	0,1	Pasir sangat halus	0,2133	vws	0,2828	Fine skewed
PBW2	68,8	12,45	18,75	Pasir berliat	0,08	Pasir sangat halus	0,1218	vws	0,0553	Near symmetrical
PBW3	72,1	23,99	3,91	Pasir berlanau	0,09	Pasir sangat halus	0,1602	vws	0,146	Fine skewed
PBW4	34,43	39,85	25,72	Mixed	0,0245	Lanau Medium	0,0598	vws	0,0394	Near symmetrical
PBW5	32,19	42,99	24,82	Mixed	0,0245	Lanau Medium	0,1162	vws	0,0947	Near symmetrical
PBW6	97,46	1,91	0,63	Pasir	0,1	Pasir sangat halus	0,1774	vws	0,2064	Fine skewed

vws: very well sorted

Sebaran sedimen dasar dengan berbagai ukuran, dinyatakan dalam diagram Ternary, yang merupakan diagram segitiga dengan persentase pada ketiga sisinya sebagai fraksi sedimen (disebut juga segitiga Shephard). Setiap sumbu bernilai

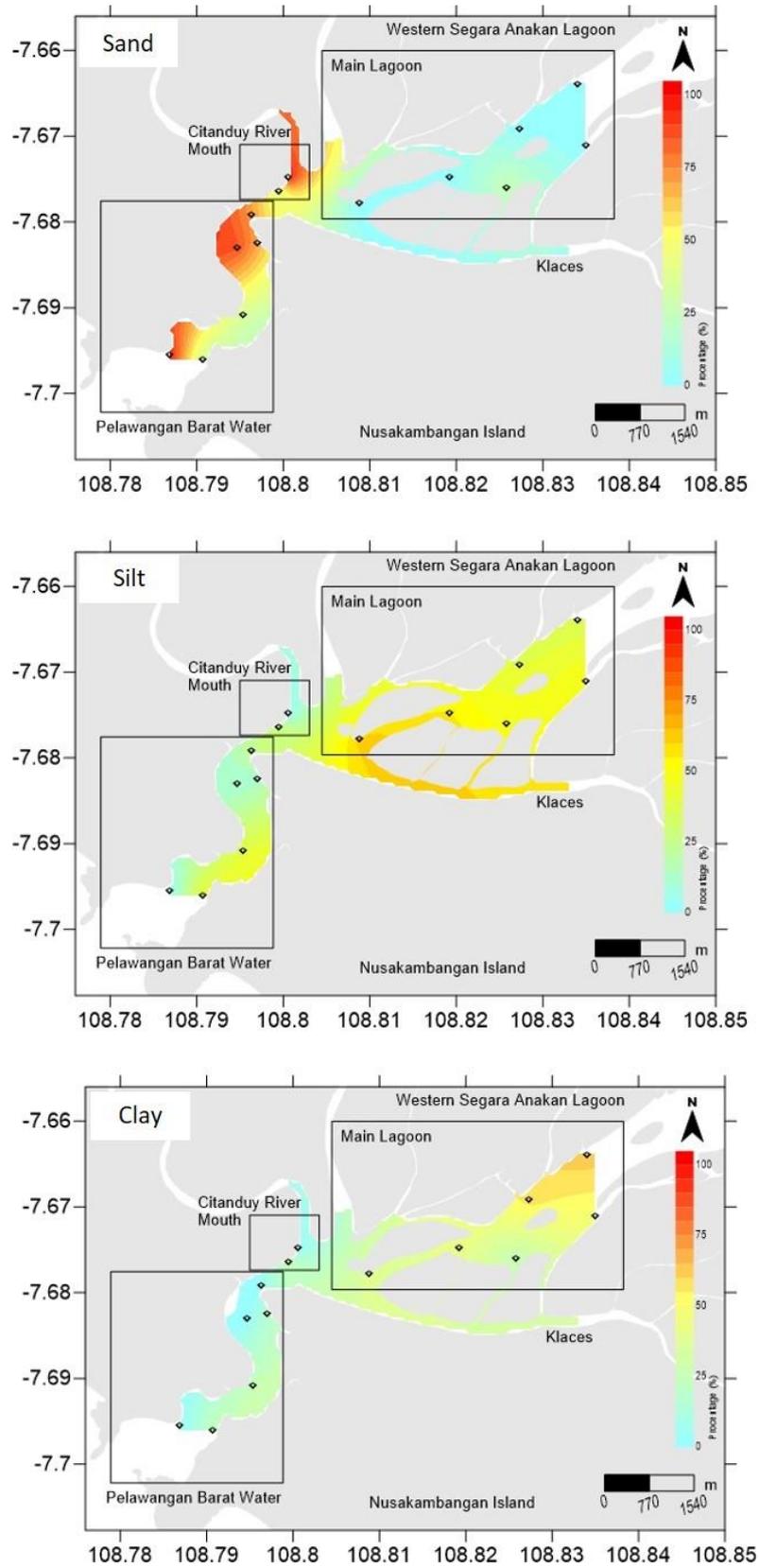
100% dari ukuran butir dan kriteria jenis butir berada dalam segitiga. Gambar 15, adalah diagram Ternary dengan kombinasi pasir-lanau-lempung, dan peta mengacu pada D50. Diagram ini dapat memberikan gambaran perbandingan deskriptif antara data dasar sedimen lainnya dan juga menentukan kriteria campuran sedimen



Gambar 15. Analisis sedimen dengan diagram Ternary dan D50 di LSA

Berdasarkan Gambar 15, analisis diagram Ternary sungai Citanduy memiliki ukuran butiran pasir, PBW didominasi oleh pasir, dan laguna didominasi oleh ukuran butiran halus, lanau. Energi hidrodinamika (debit sungai dan pasang surut), mempengaruhi ukuran butir sedimen. Muara sungai PBW dan Citanduy didominasi oleh fraksi pasir, artinya energi arus (aliran debit sungai dan arus pasang surut) mengangkut pasir (van Rijn, 1993; Nugrahadi dan Tejakusuma, 2007; Ji, 2008; Holtermann et al., 2009). Laguna utama, ditutupi oleh ukuran butiran yang lebih halus, terkait dengan energi arus pasang surut yang rendah. Massa air dari Samudra Hindia dengan kepadatan tinggi masuk ke PBW dari bawah menciptakan gesekan yang tinggi, arus banjir relatif lebih lemah daripada arus surut (Holtermann, 2009, Cahyo et al 2012).

Fraksi sedimen di LSA diangkut dan diendapkan dipengaruhi debit sungai Citanduy, beban sedimen, musim, dan pasang surut (Cahyo et al, 2012). Fraksi sedimen tersebar di tiga wilayah (gambar 16), pasir mendominasi di muara sungai PBW dan Citanduy, lanau dan lempung tersebar di laguna utama. Pola sebaran ini mengikuti variabilitas energi hidrodinamika (debit sungai dan pasang surut). Beban sedimen meningkat pada musim hujan ketika sungai Citanduy mengalami debit yang besar, dan pasang surut. Kondisi lainnya, pada musim kemarau saat sungai Citanduy mengalami limit debit, dan kondisi air surut (pasut lemah), fraksi sedimen yang lebih halus terendapkan dan stabil.



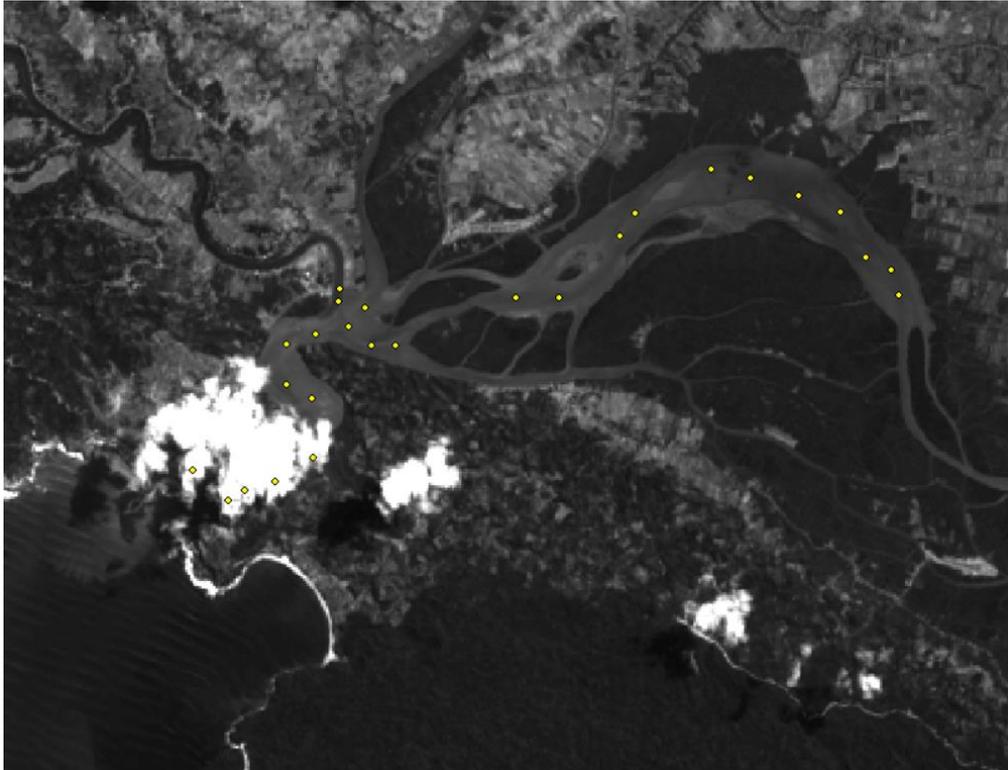
Gambar 16. Sebaran fraksi sedimen dalam persen di LSA

4.2. Sebaran TSS secara spasial dan temporal di Segara Anakan

Tabel 12. Nilai TSS dan nilai reflektansi tiap band Sentinel 2A

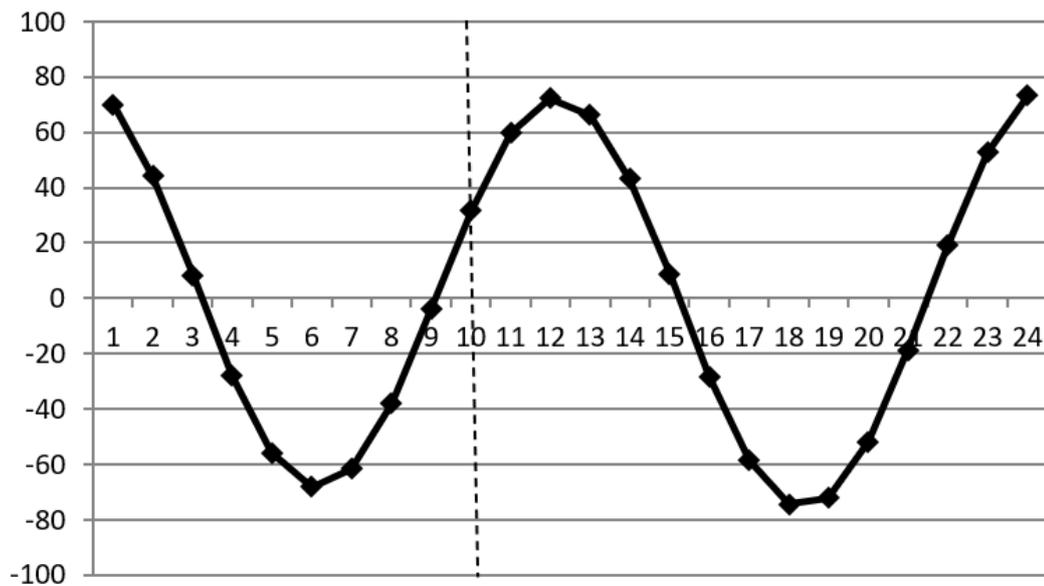
No	Keterangan	TSS							
		insitu	B2	B3	B4	B2/B3	B2/B4	B2-B4	B2-B3
1	laguna1	42	0.067523	0.083103	0.066216	0.812522	1.019738	0.001307	-0.01558
2	laguna2	50	0.067843	0.083177	0.068238	0.815646	0.994211	-0.00039	-0.01533
3	laguna3	46	0.066364	0.084434	0.065526	0.785987	1.012789	0.000838	-0.01807
4	Laguna4	41	0.064836	0.082363	0.065871	0.787198	0.984287	-0.00103	-0.01753
5	Laguna5	50	0.05988	0.08049	0.061532	0.743943	0.973152	-0.00165	-0.02061
6	Laguna6	43	0.060768	0.082067	0.061729	0.740468	0.984432	-0.00096	-0.0213
7	Laguna 7	53	0.07159	0.090351	0.072946	0.792354	0.981411	-0.00136	-0.01876
8	Laguna8	55	0.07302	0.089685	0.073858	0.814183	0.988654	-0.00084	-0.01667
9	Laguna9	72	0.076743	0.090301	0.07731	0.849858	0.992666	-0.00057	-0.01356
10	Laguna10	55	0.070012	0.08897	0.069076	0.786917	1.01355	0.000936	-0.01896
11	Laguna11	43	0.07339	0.089315	0.072256	0.821698	1.015694	0.001134	-0.01593
12	Tengah1	78	0.07938	0.094689	0.077285	0.838323	1.027107	0.002095	-0.01531
13	Tengah2	55	0.074327	0.099127	0.082634	0.749816	0.899472	-0.00831	-0.0248
14	Tengah3	61	0.08192	0.096045	0.081969	0.852934	0.999402	-4.9E-05	-0.01413
15	Tengah4	65	0.08155	0.095478	0.081969	0.854123	0.994888	-0.00042	-0.01393
16	Cit1	34	0.061359	0.088576	0.061902	0.692727	0.991228	-0.00054	-0.02722
17	Cit2	44	0.063085	0.088083	0.063726	0.716199	0.989941	-0.00064	-0.025
18	Tengah5	82	0.085716	0.101124	0.087515	0.847633	0.979444	-0.0018	-0.01541
19	PPB1	61	0.081426	0.101074	0.083054	0.805608	0.980398	-0.00163	-0.01965
20	PPB2	65	0.082191	0.102258	0.08187	0.803761	1.003921	0.000321	-0.02007
21	PPB3	72	0.086899	0.104131	0.08754	0.834516	0.992678	-0.00064	-0.01723
22	PPB4	81	awan						
23	PPB5	80	awan						
24	PPB6	92	awan						
25	PPB7	102	awan						
26	PPB8	34	awan						

Plot stasiun pengambilan TSS insitu disajikan pada Gambar 17.

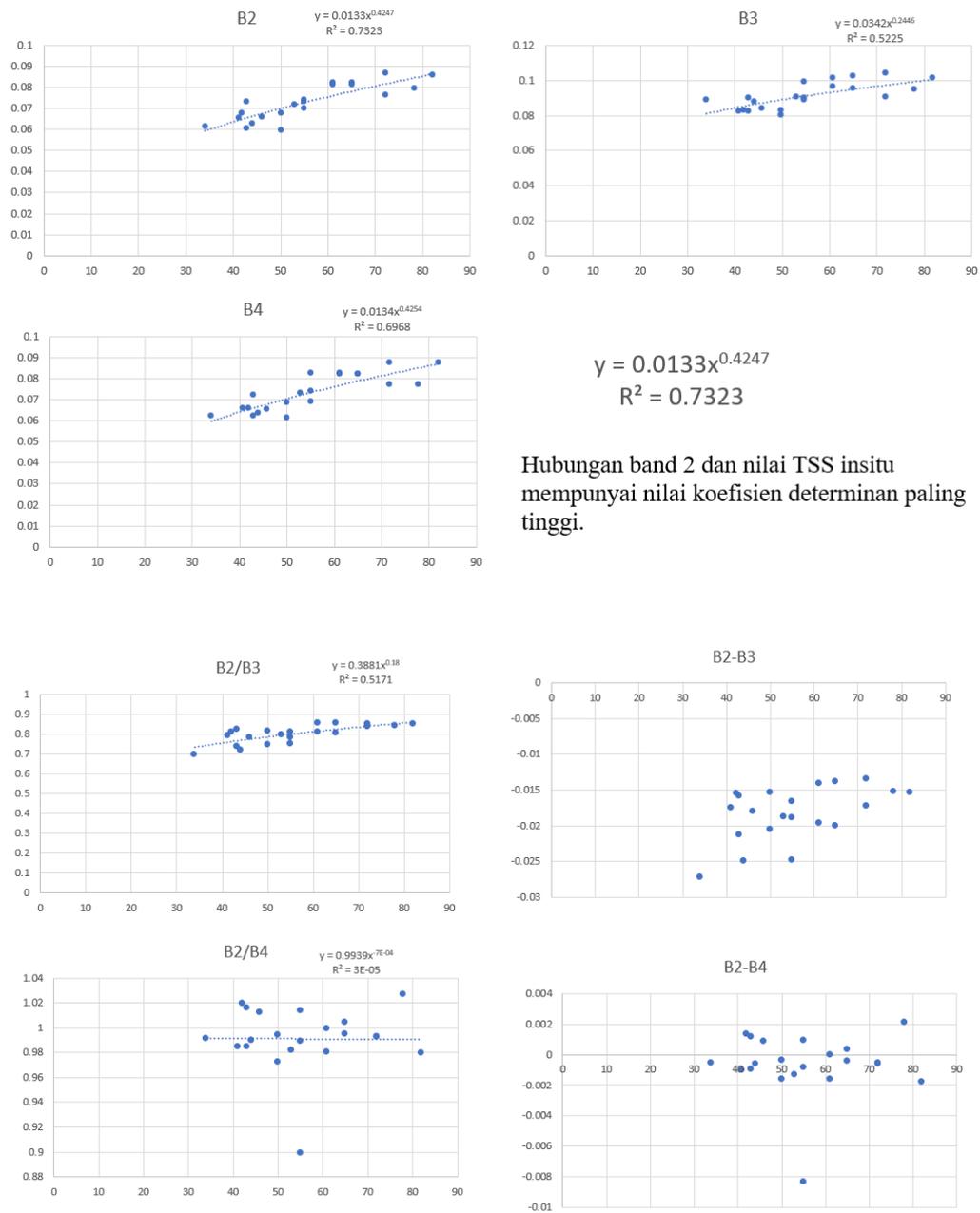


Gambar 17. Titik pengambilan TSS dengan latar belakang reflektan band 2 Sentinel

Sebaran konsentrasi TSS di Laguna Segara Anakan pada tahun 2018 berkisar antara 34 mg/L hingga 102 mg/L.



Gambar 18. Kondisi pasang surut pada saat akuisisi data citra satelit Sentinel Tanggal 16 Agustus 2018



Gambar 19. Hubungan antar kanal untuk penentuan algoritma dengan polinomial level 2

Algoritma yang mempunyai nilai koefisien determinan tinggi $y = 0.0133x^{0.4247}$

$R^2 = 0.7323$, dimana x adalah kanal 2. Kanal 2 adalah kanal biru di Sentinel 2.

4.3. Pemodelan Hidrodinamika dan TSS di Laguna Segara Anakan Bagian Barat

4.3.1. Pemodelan Arus

Pemodelan arus RMA2 (pemodelan arus dua dimensi dengan perata-rataan kedalaman) dijalankan (*running*), menghasilkan *file* solusi (*.sol). Proses berikutnya adalah validasi hasil model dengan data observasi (Hsu *et al.* 1999), data yang divalidasi adalah arus hasil model dengan data arus dari stasiun 4 (stasiun menetap), elevasi hasil model dengan data observasi pasang surut.

Arus maksimal hasil model RMA2 adalah 1,9 m/detik, dengan rata-rata 0,5 m/detik, hal ini sesuai dengan penelitian dari Matsuyama (1994) dan ECI (1994). Hasil perhitungan *RMSE* dan *NRMSE* dari validasi hasil model dan data observasi dari arus dan elevasi adalah sebagai berikut:

- Perbandingan arus model dan data observasi di stasiun 4, dengan *RMSE* 0,1037 m/detik dan *NRMSE* 20,1363%. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 11.
- Elevasi muka air model dengan data pasang surut observasi, dengan hasil hampir berhimpit. Nilai *RMSE* 0,1405 m dan *NRMSE* 11,215%. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 12.

Dengan hasil tersebut, maka pembuatan model pola arus (RMA2) memenuhi kriteria (Hsu *et al.* 1999).

Gambar 17 (a), pola arus hasil pemodelan pada kondisi menuju surut:

Arus hasil observasi di stasiun (stasiun menetap) merupakan arus dari Laguna Segara Anakan menuju Samudera Hindia dengan magnitud 0,6768 m/detik dan arus hasil model 0,6498 m/detik dengan arah $240,1^\circ$ (barat daya). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa terjadi putaran (*eddy*) di daerah tengah (stasiun 3) yang mengindikasikan arus dari Laguna Segara Anakan masih berpengaruh terhadap

perubahan pola arus dan juga akan mempengaruhi pola sebaran MPT. Elevasi muka air masih tinggi setelah air diam (*slack water*) sehingga akan menambah magnitud arus ketika surut.

Gambar 17 (b), pola arus hasil pemodelan pada kondisi surut:

Arus dari Laguna Segara Anakan mempunyai magnitud yang cukup besar, arus hasil observasi sebesar 1,0663 m/detik dan arus hasil model 0,9516 m/detik dengan arah $195,3^\circ$ (selatan), berarti arus tersebut mendorong air dengan cepat ke arah laut. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Matsuyama *et al* (1994). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa putaran (*eddy*) di daerah tengah (stasiun 3) tidak terbentuk karena aliran air menjadi laminar dengan kecepatan tinggi sehingga akan mempengaruhi pola sebaran MPT keluar ke Samudera Hindia dengan kecepatan transpor yang tinggi pula.

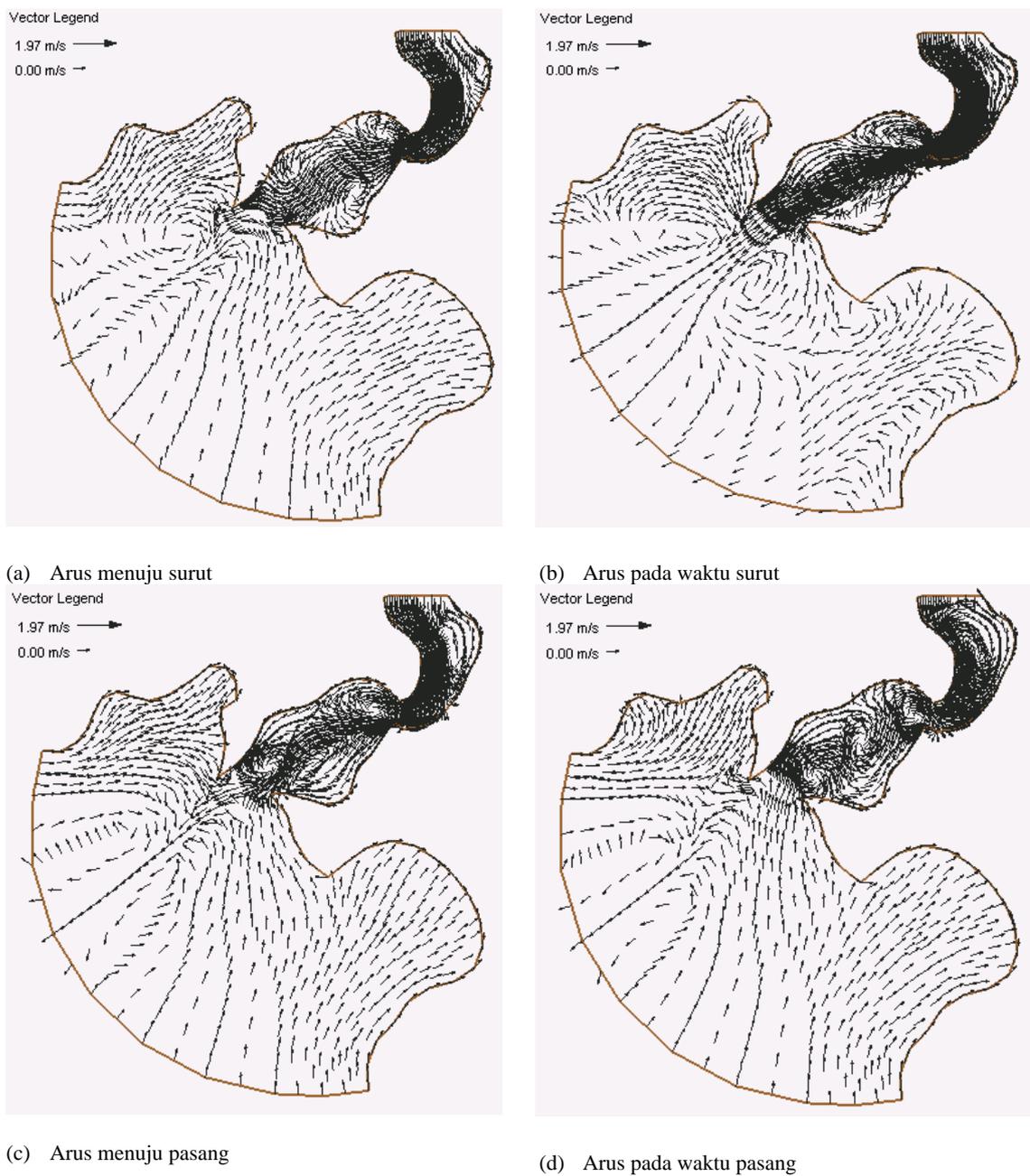
Gambar 17 (c), pola arus hasil pemodelan pada kondisi menuju pasang:

Arus hasil observasi merupakan arus yang masuk dari Samudera Hindia dengan magnitud sebesar 0,1578 m/detik dan arus hasil model 0,1343 m/detik dengan arah $8,3^\circ$ (utara). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa terjadi putaran (*eddy*) pada beberapa bagian di PPB yang mengindikasikan arus dari laut dan Laguna Segara Anakan bertemu dengan beda magnitud sehingga mempengaruhi pola sebaran MPT. Elevasi muka air rendah setelah air diam (*slack water*) sehingga magnitud arus kecil.

Gambar 17 (d), pola arus hasil pemodelan pada kondisi pasang:

Arus hasil observasi merupakan arus dari Samudera Hindia dengan magnitud arus hasil observasi sebesar 0,7860 m/detik dan arus hasil model 0,7357 m/detik dengan arah $41,0^\circ$ (utara). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa terjadi putaran

(*eddy*) pada beberapa bagian di PPB yang mengindikasikan arus dari laut dan Laguna Segara Anakan bertemu dengan beda magnitud sehingga mempengaruhi pola sebaran MPT.

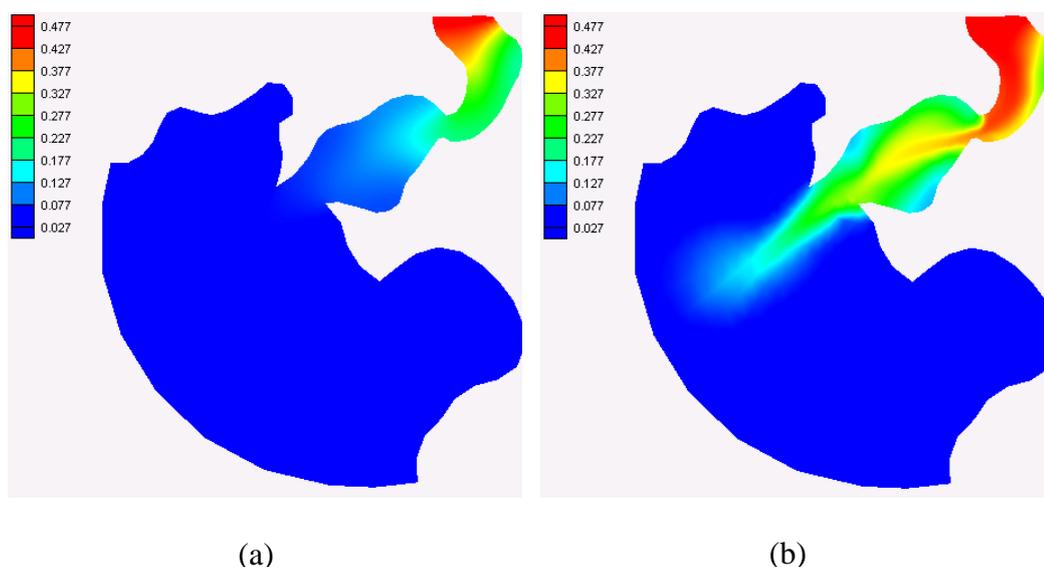


Gambar 20. Pola Arus di Pelawangan Barat Segara Anakan

4.3.1. Pemodelan Sebaran TSS

Dari hasil pemeriksaan model tidak ditemukan kesalahan, proses berikutnya adalah menjalankan model SED2D (*running*) menghasilkan file solusi sedimen dengan ekstensi *.sed. Selanjutnya membandingkan hasil model MPT dengan data observasi (validasi). Hasil validasi tersebut mempunyai nilai *RMSE* 0,0439 kg/m³ dan *NRMSE* 15%. Selanjutnya Gambar 18, merupakan pola sebaran pada waktu pasang dan surut, dimana pada saat pasang: air laut dengan membawa air yang jernih dan bersalinitas tinggi mendesak air di PPB menuju ke Laguna Segara Anakan, sehingga konsentrasi MPT hasil observasi dan model kecil pada daerah mulut dan daerah tengah PPB. Sedangkan pada saat surut: arus resultan antara arus surut dan debit air dari Laguna Segaa Anakan mempunyai konsentrasi MPT tinggi tertransport ke Samudera Hindia dengan kecepatan tinggi.

Laguna mempunyai mekanisme unik yang mempengaruhi proses sedimentasi, karena adanya gaya pasang surut, flokulasi dan pengendapan sedimen melayang yang dipengaruhi variasi salinitas, sirkulasi estuari. Proses sedimentasi sangat kompleks. Erosi, transpor, dan pengendapan dipengaruhi oleh aliran sungai, arus pasang surut, kejadian meteorologis, reaksi kimia dan proses biologi. Energi turbulensi yang dibangkitkan oleh pasang surut mempunyai cukup energi untuk membuat sedimen tersuspensi. Adanya flokulasi dari fraksi sedimen halus dan sirkulasi estuari membuat sedimen-melayang tetap dalam sistem estuari, sampai akhirnya terbawa arus ke laut (Ji 2008). MPT dari Sungai Citanduy dibawa langsung ke arah PPB ketika arus surut dan pada arah sebaliknya ketika pasang (Matsuyama *et al.* 1994).



Gambar 21. Pola sebaran MPT pada saat (a) pasang dan (b) surut (gr/l)

Dinamika sedimen melayang di PPB dipengaruhi oleh arus, dimana sejumlah besar MPT tetap pada kondisi melayang, dan mempunyai kecepatan endap pada saat masuk perairan bersalinitas. Kecepatan endap butiran sedimen, merupakan bagian dalam transport sedimen terutama untuk sedimen tersuspensi. Sedimen non-kohesif (misalnya pasir) dalam analisa kecepatan endap merupakan fungsi dari bentuk dan ukuran butiran dengan menggunakan *Hukum Stokes*, namun jika material sedimen merupakan butiran kohesif maka kecepatan endap dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsentrasi sedimen tersuspensi, salinitas dan diameter partikel. Konsentrasi suspensi adalah parameter paling penting dalam proses flokulasi (Triatmojo 1999). Salinitas juga memengaruhi kecepatan endap dimana pada salinitas 2‰ kecepatan endap menjadi lebih cepat dan kemudian konstan (Triatmodjo 1999). Proses flokulasi dipengaruhi oleh diameter butir sedimen, dimana flokulasi berkurang dengan bertambahnya dimensi partikel akibat kohesi

yang kurang, semakin kecil diameter maka makin besar flokulasi. Kecepatan endap merata flokon dalam air yang dapat menyebabkan flokulasi.

Sedimen dengan ukuran yang lebih halus lebih mudah berpindah dan cenderung lebih cepat daripada ukuran kasar. Fraksi halus terangkut dalam bentuk suspensi sedangkan fraksi kasar terangkut pada atau dekat dasar laut. Selanjutnya partikel yang lebih besar akan tenggelam lebih cepat daripada yang berukuran kecil (Dyer, 1986). Kecepatan endap (laju partikel keluar dari suspensi menuju dasar perairan) adalah sangat kecil misalnya lanau dengan diameter $10\mu\text{m}$ adalah 9.79×10^{-5} m/detik.

Pengaruh pasang surut terhadap proses sedimentasi dalam hal deposisi dan resuspensi. Kecuali saat air diam (slack water), percampuran turbulen membuat sedimen melayang tetap tersuspensi, pada saat yang sama partikel-partikel mengendap ke dasar perairan. Saat arus kembali meningkat pada siklus pasang surut berikutnya, sehingga erosi kembali terjadi dan mentranspor sedimen yang mengendap saat air diam (slack water). Tipe siklus erosi-deposisi dipengaruhi oleh sifat arus pasang surut yang secara periodik berganti arah sesuai dengan siklus pasang surut (Ji 2008).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Bagian barat SAL telah tertimbun lumpur mencapai lebih dari 85% selama 161 tahun. Beban sedimen dan akresi yang mengubah garis pantai dengan percepatan yang sangat besar, 177 Ha thn-1 pada tahun 1999-2003. Rata-rata penurunan kecepatan perubahan badan air adalah 61 Ha thn-1. Analisis batimetri di dua bagian wilayah, Perairan Pelawangan Barat dan Laguna Utama menunjukkan adanya endapan sedimen dan menunjukkan penurunan kedalaman. Formasi delta diasumsikan terbentuk mengikuti pola pasang surut pada saat pasang surut. Proyeksi sedimentasi penuh Laguna Segara Anakan bagian barat dalam 13,6 tahun setelah 2018, akan terjadi pada tahun 2023.
2. Penentuan TSS dengan algoritma $y = 0.0133x^{0.4247}$ yang mempunyai nilai koefisien determinan tinggi $R^2 = 0.7323$, dimana x adalah kanal 2.
3. Pemodelan hidrodinamika dapat menggambarkan sebaran TSS, dimana pengaruh pasang surut dan debit sungai adalah dominan.

Saran

Pendugaan sebaran TSS memerlukan data time-series, dimana faktor temporal sangat menentukan. Data debit musiman, dan data pasang surut dalam waktu yang lama, sangat menentukan pendugaan sebaran TSS.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhwady R, dan A. Sufyan. 2008. Pola Arus dan Sebaran Sedimen di Teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur. *JurnalitbangdaNTT*. 4(3):229-242
- Amani, M., A. Ghorbanian., S. A. Ahmadi., M. Kakooei, A. Moghimi, S. M. Mirmazzloumi., S. H. A. Moghaddam., S. Mahdavi, M. Ghahremanloo., S. Parsian, Q. Wu, and B. Brisco. 2020. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal*, 13(1): 5326-5350.
- Ardli, E. R., & Wolff, M. (2009). Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9(4), 235–243. <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0072-6>
- Blott, S. J., and K. Pye. 2001. Technical Communication. Gradistat: a Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surf. Process. Landforms*. 26(2001)1237-1248.
- Budianto, S. dan Teguh, H. 2017. Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1): 130-135.
- Cahyo, T. N., 2012. Hidrodinamika dan Sebaran Materi Padatan Tersuspensi di Perairan Pelawangan Barat, Segara Anakan Cilacap. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Chen, W-B., W-C. Liu, M-H. Hsu, and C-C. Hwang. 2015. Modeling Investigation of Suspended Sediment Transport in a Tidal Estuary Using a Three-Dimensional Model. *Applied Mathematical Modelling*. 39(2015):2570 – 2586.
- Claverie, M., Ju, J., Masek, J. G., Dungan, J. L., Vermote, E. F., Roger, J.-C., Skakun, S. v., & Justice, C. (2018). The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002>
- Donnell, B. P. 2006. Users Guide to SED2D WES version 4.5. US Army, Engineer Research and Development Center. Waterways Experiment Station. Coastal and Hydraulics Laboratory.

- Donnell, B. P. 2008. Users Guide to RMA2 WES version 4.5. US Army, Engineer Research and Development Center. Waterways Experiment Station. Coastal and Hydraulics Laboratory.
- Dyer, K. R. 1986. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. Wiley-Interscience Publication. Chicester.
- Drusch, M., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sens Environ*, 120: 25–36
- [ECI] Engineering Consultants Inc. 1994. Mathematical Modeling Study. Report. Appendix C. Volume III. Unpublished.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- Ford, M. R., & Dickson, M. E. (2018). Detecting ebb-tidal delta migration using Landsat imagery. *Marine Geology*, 405, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.08.002>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guo, Q., Pu, R., Li, J., & Cheng, J. (2017). A weighted normalized difference water index for water extraction using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(19), 5430–5445. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1341667>
- Hadi, S., N. S. Ningsih, dan A. Tarya. 2006. Study on Seasonal Variation of Cohesive Suspended Sediment Transport in Estuary of Mahakam Delta by using A Numerical Model. *Jurnal Teknik Sipil*. 13(1):11-22.
- Hartoko, A. 2010. Oseanografi dan Sumberdaya Perikanan-Kelautan Indonesia. UNDIP Press. Semarang. ISBN 978-979-097-053-3
- Holtermann, P., H. Burchard, and T. Jennerjahn. 2009. Hydrodynamics of Segara Anakan Lagoon. *Reg Environ Change*. 9(4):245-258.
- Hsu, M. H., A. Y. Kuo, J. T. Kuo, and W. C. Liu. 1999. Procedure to Caliberate and Verify Numerical Models of Estuarine Hydrodynamics. *Journal of Hydraulic Engineering*. 125(2):166-182.

- Ji Z-G. 2008. Hydrodynamics and Water Quality. Modeling rivers, lake, and estuaries. John Wiley & Sons. USA. 647 p.
- Karna, T., A. M. Baptista, J. E. Lopez, P. J. Turner, C. McNeil, and T. B. Sanford. 2015. Numerical Modeling of Circulation in High-Energy Estuaries: a Columbia River Estuary Benchmark. *Ocean Modelling*. 88(2015):54-71.
- Lillesand and Kiefer, 1993. Remote Sensing And Image Interpretation, Jhon Willey and Sons, New York.
- Lin, B., and R. A. Falconer. 1995. Modelling Sediment Fluxes in Estuarine Waters Using Curvilinear Coordinate Grid System. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*. 41:413-428
- Lukas, M. C. (2014). Cartographic Reconstruction of Historical Environmental Change. *Cartographic Perspectives*, 78, 5–24. <https://doi.org/10.14714/CP78.1218>
- Lukas, M. C. (2015). Neglected Treasures: Linking Historical Cartography with Environmental Changes in Java, Indonesia. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 50(3), 141–162. <https://doi.org/10.3138/cart.50.3.2891>
- Lukas, M. C. (2017). Widening the scope: linking coastal sedimentation with watershed dynamics in Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 17(3), 901–914. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1058-4>
- Matsuyama, M., T. Terada, dan F. Takashima. 1994. Numerical Experiment of Tidal Motion and Distribution of Suspended Matter in Segara Anakan Lagoon. Soewardi K. editor. Ecological assessment for management planning of Segara Anakan Lagoon, Cilacap, Central Java. Japan.
- Máñez, S. C. K., Máñez, C. M., & Lukas, M. C. (2009). Volcanic eruptions and the forgotten pearls. *Ocean & Coastal Management*, 52(3–4), 229–232. <https://doi.org/10.1016/j.occoaman.2008.12.006>
- Máñez, S. K. (2010). Java's forgotten pearls: the history and disappearance of pearl fishing in the Segara Anakan lagoon, South Java, Indonesia. *Journal of Historical Geography*, 36(4), 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2010.03.004>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mikkelsen, O. A. 2002. Variation in the Projected Surface Area of Suspended Particles: Implications for Remote Sensing Assessment of TSM. *Remote Sensing of Environment* 79(2002):23– 29.

- Nugrahadi M. S., dan I. G. Tejakusuma. 2007. Aspek Hidrodinamika Segara Anakan Sebagai Dasar Pertimbangan Pengembangan Kawasan. *Alami*. 12(3):24-29.
- Nurjaya I.W., dan H. Surbakti. 2010. Model dispersi bahang hasil buangan air proses pendinginan PLTGU Cilegon CCPP ke Perairan Pantai Margasari di sisi barat Teluk Banten. *e-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2(1):31-49.
- Ongkosongo, O. S. R., Helfinalis, dan P. Hamidjojo. 1986. Pertukaran dan Percampuran Massa Air Laut Samudera Hindia dengan Massa Air Tawar Sungai Citanduy di Segara Anakan, Jawa Tengah. Kongres II dan Pertemuan Ilmiah Tahunan III Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia. Jakarta.
- Ouillion, S., P. Douillet, A. Petrenko, J. Neveux, C. Dupouy, J-M Froidefond, S. Andréfouët, and A. Muñoz-Caravaca. 2008. Optical Algorithms at Satellite Wavelengths for Total Suspended Matter in Tropical Coastal Waters. *Sensors*. DOI: 10.3390/s8074165. 4165-4185
- Parwati, E., B.. Trisakti, I. Carolina, T. Kartika, S. Hartini, dan K. Dewanti. 2006. Analisis Hubungan Penutup/Penggunaan Lahan Dengan *Total Suspended Matter* (TSM) Kawasan Perairan Segara Anakan Menggunakan Data Inderaja. *Jurnal Penginderaan Jauh*. 3 (1): 87 – 97.
- Prahasta, E. 2008. Remote Sensing: Praktis Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Citra Digital Dengan Perangkat Lunak Er Mapper. Bandung.
- Prayogo, L. M. (2021). Comparison of Normalized Difference Water Index (NDWI) and Sobel Filter Methods in Landsat 8 Imagery for Coastline Extraction. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 11(1). <https://doi.org/10.33512/jpk.v11i1.11004>
- Purba M., dan T. Sujastani. 1989. Geography and physical setting. White A, Martosubroto P, Sadorra MSM. editor. The coastal environment profile of Segara Anakan – Cilacap, South Java, Indonesia. ASEAN-UNSCRM project, technical publications series 4. International center for living aquatic resources management, Manila, Philippines.
- Ruhl, C. A., D. H. Schoellhamer, R. P. Stumpf, and C. L. Lindsay. 2001. Combined Use of Remote Sensing and Continuous Monitoring to Analyse the Variability of Suspended-Sediment Concentrations in San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 35(2001):801-812.
- Shabari, A. R., A. S. Satriadi, W. Atmojo. 2019. Padatan Tersuspensi yang Dipengaruhi oleh Proses Pasang Surut di Perairan Kaliboyo, Kabupaten Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 8(4): 393-401.

- Sachoemar, S. I. dan A. Purwandani. 2009. Analisis model sebaran bahan pencemar di Perairan Selat Nguan, Batam. *J. Tek. Ling.* 10(1):90-103.
- Salghuna, N. N., & Bharathvaj, S. A. (2015). Shoreline Change Analysis for Northern Part of the Coromandel Coast. *Aquatic Procedia*, 4, 317–324. <https://doi.org/10.1016/J.AQPRO.2015.02.043>
- Siregar, V. P., & Selamat, M. B. (2009). Interpolator Dalam Pembuatan Kontur Peta Batimetri. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 1(1), 39–47. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v1i1.7937>
- Solihuddin, Tb. 2010. Pemantauan Konsentrasi Total Padatan Tersuspensi di Perairan Delta Cimanuk, Jawa Barat, Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal. *Ilmu Kelautan*. 1(edisi khusus):110-118.
- Solihuddin, Tb, E. M. Sari, dan G. Kusumah. 2011. Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Pemangkat, Sambas Kalimantan Barat Menggunakan Metode Pemodelan. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*. 21(3):117 – 126.
- Sugianto, D. N. 2009. Simulasi Model Transpor Sedimen Tersuspensi untuk Mendukung Perencanaan Pelabuhan Teluk Bayur Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 5(2):46-54.
- Susiati, H., E. Kusratmoko, dan A. Poniman. 2010. Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Melalui Pendekatan Penginderaan Jauh di Perairan Pesisir Semenanjung Muria-Jepara. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah* 13(1):72-79
- Triatmojo B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
- van Rijn LC. 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Aqua Publication. Netherlands.
- White, A. T., Martosubroto, M., & Sadorra, M. S. (1989). The Coastal Environmental Profile of Segara Anakan - Cilacap, South Java, Indonesia.
- Wozniak, S. B. 2014. Simple Statistical Formulas for Estimating Biogeochemical Properties of Suspended Particulate Matter in The Southern Baltic Sea Potentially Useful for Optical Remote Sensing Applications. *Oceanologia*. 56(1):8-39.
- Xiaohong C, C. Yongqin, and L. Guoyou. 2005. Modeling transportation of suspended solids in Zhujiang River estuary, South China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 23(1):1-10.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Salatiga pada tanggal 3 April 1975 merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari Bapak Abdul Rabani dan Ibu Sri Suwarti. Alamat rumah: Perumahan Sapphire Regency B-9 Purwokerto. Kantor: Jl dr Soeparno, kompleks GOR Susilo Sudarman, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman. Pendidikan S1 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK), Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang lulus tahun 1999 (Judul Skripsi: Studi Tingkat Penempelan Teritip *Balanus sp* Pada Habitat Karang Lunak *Sinularia sp* Dan Makro Alga *Halimeda sp*). Penulis bekerja sebagai asisten konsultan pada *Segara Anakan Conservation and Development Project* (SACDP) di Cilacap (Oktober 1999 - Juli 2004). Bekerja sebagai fasilitator pendamping pembangunan di LSM Lembaga Pengkajian dan Pengembangan Sumberdaya Pembangunan (LPPSP) Semarang, ditempatkan di desa nelayan Sugih Waras, Pemalang (Agustus 2004 - Desember 2004). Sebagai staf pengajar pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto (UNSOED) sejak Januari 2005. Pendidikan pascasarjana (S2) pada Mayor Ilmu Kelautan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (SPs-IPB), lulus tahun 2012 (judul Tesis: Hidrodinamika dan Sebaran Materi Padatan Tersuspensi di Perairan Pelawangan Barat, Segara Anakan Cilacap). Bidang ilmu yang sedang ditekuni: Fisika Oseanografi dan Sedimentologi. Penulis diterima sebagai mahasiswa Pascasarjana (S3) pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Pantai, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, dengan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) tahun 2015.



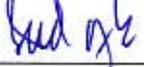
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

Jalan Prof. Jacub Rais
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 7474698
Laman: www.fpik.undip.ac.id
Pos-el: fpik[at]undip.ac.id

BERITA ACARA

Ujian : UJIAN KELAYAKAN
Jurusan / Program Studi : Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan
Nama Mahasiswa : TRI NUR CAHYO
N I M : 2601011550022
Judul Disertasi : Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta
di Segara Anakan Cilacap

Dengan Hasil : LULUS
Nilai (huruf & angka) : 80,03

Penguji	Tanda tangan
Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc	1 
Dr. Ir. Max R Muskananfola, M.Sc	2  online
Dr. Ir. Haeruddin, M.Si	3 
Dr. Ir. Pujiono Wahyu Purnomo, MS	4 
Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, Ph.D	5 
Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si	6 

Semarang, 27 Desember 2022

Panitia,



Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si.
NIP 199008092018032001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

Jalan Prof. Jacob Rais
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 7474698
Laman: www.fpiik.undip.ac.id
Pos-el: fpiik[at]undip.ac.id

DAFTAR HADIR

Ujian : **UJIAN KELAYAKAN**
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Desember 2022
Nama Mahasiswa / NIM : **TRI NUR CAHYO/ 2601011550022**
Waktu : 13.00 – 14.00 WIB
Tempat : R. J305, Gedung J, FPIK Undip dan Online Via Zoom Meeting (Hybrid)

No.	Nama	Kedudukan Sebagai	Tanda tangan
1	Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc	Promotor	
2	Dr. Ir. Max R Muskananfolo, M.Sc	Co-Promotor	online
3	Dr. Ir. Haeruddin, M.Si	Co – Promotor	
4	Dr. Ir. Pujiono Wahyu Purnomo, MS	Penguji	
5	Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, Ph.D	Penguji	
6	Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si	Penguji Eksternal	
7	Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si.	Pengelola	

Semarang, 27 Desember 2022

Panitia,

Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si.
NIP 199008092018032001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
DEPARTEMEN SUMBER DAYA AKUATIK
PROGRAM DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Jalan Prof. Jacob Rais
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 76404447
Laman: www.dmsdp.fpiik.undip.ac.id
Pos-el: pascamsdp@live.undip.ac.id

Nomor : 26 /UN7.F10.6.3.2/AK/XII/2022
Lampiran : Berkas Disertasi
Hal : Undangan Ujian Kelayakan Disertasi
A.n. **TRI NUR CAHYO**

22 Desember 2022

Kepada Yth.

1. Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc (Promotor)
2. Dr. Ir. Max R Muskananfola, M.Sc (Co-Promotor I)
3. Dr. Ir. Haeruddin, M.Si (Co-Promotor II)
4. Dr. Ir. Pujiono WP, MS (Penguji)
5. Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si (Unsoed) - (Penguji Eksternal)
6. Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, Ph.D (Penguji)
7. Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si (Pengelola)

Tim Penguji Ujian Kelayakan Disertasi
Mahasiswa S3 - MSDP
di Tempat

Dengan hormat,

Bersama ini kami mengundang Bapak/Ibu pada kegiatan **UJIAN KELAYAKAN DISERTASI** Mahasiswa Program Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, a.n :

Nama : **TRI NUR CAHYO**
NIM : 2601011550022
Judul : “Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap”

yang akan di selenggarakan pada :

Hari/Tanggal : **Selasa, 27 Desember 2022**
Jam : 13.00 – 14.00 WIB
Tempat : R. J305, Gedung J, FPIK Undip dan Online Via Zoom Meeting (Hybrid)

Demikian kami sampaikan atas segala perhatiannya, diucapkan terima kasih.

Ketua Program Studi,
Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan

Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 199008092018032001



BERITA ACARA
UJIAN TERTUTUP
BAGI TRI NUR CAHYO, NIM 2601011550022
PROGRAM DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN UNIVERSITAS DIPONEGORO

1. Pada hari ini Selasa, tanggal 27 Desember 2022 secara Hybrid bertempat di Ruang Ujian Program Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan FPIK Universitas Diponegoro dan Online Via Zoom Meeting, diadakan Ujian Akhir Tertutup bagi Saudara **TRI NUR CAHYO, NIM 2601011550022**, dari Program Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan;
2. Ujian Tertutup dipimpin oleh **Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, PhD (Dekan FPIK)**, selaku Pimpinan Sidang, didampingi oleh **Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si., M.Si. (Ketua Program Studi)**, selaku Sekretaris Sidang Ujian dengan Anggota Tim Penguji terdiri dari :
 - 2.1 Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si (Penguji Eksternal)
 - 2.2 Dr. Ir. Pujiono Wahyu Purnomo, MS (Penguji)
 - 2.3 Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, PhD (Penguji)
 - 2.4 Dr. Ir. Haeruddin, M.Si (Co - Promotor)
 - 2.5 Dr. Ir. Max R Muskananfolo, M.Sc (Co - Promotor)
 - 2.6 Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc (Promotor)
3. Hasil penilaian dari Tim Penguji Ujian Tertutup bagi Saudara **TRI NUR CAHYO, NIM 2601011550022**, dinyatakan **LULUS** dengan nilai : **B** (dengan huruf) maka Saudara **TRI NUR CAHYO** adalah :
 - Lulusan FPIK – UNDIP ke : **89** (terhitung per 01 Januari 2013)
 - Lulusan P.S. DMSDP ke : **180**
4. Jumlah SKS yang telah dikumpulkan **44 SKS**, jumlah nilai **149,02** sehingga IPK **3,38** dengan masa studi 7 Tahun 4 Bulan 2 Hari, dengan demikian sesuai dengan Peraturan Akademik saudara **TRI NUR CAHYO, NIM 2601011550022**, dinyatakan dengan Predikat **MEMUASKAN**.

Demikian Berita Acara Ujian Tertutup dibuat dan disusun sesuai dengan jalan dan hasil rapat.



Semarang, Desember 2022

Pimpinan Sidang,

Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, PhD

NIP. 196508211990012001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
DEPARTEMEN SUMBER DAYA AKUATIK
PROGRAM DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Jalan Prof. Jacub Rais
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 76404447
Laman: www.dmsdp.fpiik.undip.ac.id
Pos-el: pascamsdp[at]live.undip.ac.id

DAFTAR HADIR
TIM PENGUJI UJIAN TERTUTUP
SAUDARA TRI NUR CAHYO, NIM 2601011550022
PROGRAM DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Judul disertasi : "Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap"
Hari / tanggal : Selasa, 27 Desember 2022
Pukul : 14.00 – selesai
Tempat : R. J305, Gedung J, FPIK Undip dan Online Via Zoom Meeting (Hybrid)

NO	NAMA	TANDA TANGAN	
1	Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, PhD (Ketua Sidang Ujian dan Penguji)	1	
2	Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si (Penguji Eksternal)		2
3	Dr. Ir. Pujiono Wahyu Purnomo, MS (Penguji)	3	
4	Dr. Ir. Haeruddin, M.Si (Co-Promotor)		4
5	Dr. Ir. Max R Muskananfolo, M.Sc (Co-Promotor)	5 online	
6	Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc (Promotor)		6
7	Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si. (Sekretaris Sidang)	7	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
DEPARTEMEN SUMBER DAYA AKUATIK
PROGRAM DOKTOR MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Jalan Prof. Jacob Rais
Kampus Universitas Diponegoro
Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telepon/Faksimile (024) 76404447
Laman: www.dmsdp.fpi.undip.ac.id
Pos-el: pascamsdp@live.undip.ac.id

Nomor : 27/UN7.F10.6.3.2/AK/XII/2022
Lampiran : Berkas Disertasi
Hal : Undangan Ujian Tertutup Disertasi
A.n. **TRI NUR CAHYO**

22 Desember 2022

Kepada Yth.

1. Prof. Dr. Ir. Agus Hartoko, M.Sc (Promotor)
2. Dr. Ir. Max R Muskananfola, M.Sc (Co-Promotor I)
3. Dr. Ir. Haeruddin, M.Si (Co-Promotor II)
4. Dr. Ir. Pujiono WP, MS (Penguji)
5. Dr. Endang Hilmi, S.Hut, M.Si (Unsoed) - (Penguji Eksternal)
6. Prof. Ir. Tri Winarni Agustini, M.Sc, Ph.D (Penguji)
7. Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si, M.Si (Pengelola)

Tim Penguji Ujian Tertutup Disertasi

Mahasiswa S3 - MSDP

di Tempat

Dengan hormat,

Bersama ini kami mengundang Tim Penguji **UJIAN TERTUTUP** untuk menguji Mahasiswa Program Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, a.n :

Nama : **TRI NUR CAHYO**
NIM : 2601011550022
Judul Disertasi : “Dinamika Total Suspended Solids Untuk Pengelolaan Delta di Segara Anakan Cilacap”

yang akan di selenggarakan pada :

Hari/Tanggal : **Selasa, 27 Desember 2022**
Jam : 14.00 WIB - selesai
Tempat : R. J305, Gedung J, FPIK Undip dan Online Via Zoom Meeting (Hybrid)
Busana : Tim Penguji Pria mengenakan Jas dan Wanita menyesuaikan

Demikian kami sampaikan atas segala perhatiannya, diucapkan terima kasih.

Ketua Program Studi,
Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan

Dr. Aninditia Sabdaningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 199008092018032001