

PREDIKSI LUASAN AREA TERPAPAR TSS DARI KEGIATAN DREDGING PADA ALUR PEMASANGAN PIPA RC-06 DI ESTUARI DELTA MAHAKAM

(Prediction of Treated Areas of TSS from Dredging Activities on the Installation of Pipe RC-06 in Estuarine Delta Mahakam)

I Wayan Nurjaya^a, Andri Purwandani^b

^aDivisi Oseanografi, Departemen Ilmu dan Teknologi, FPIK-IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 – i.wayan.nurjaya@apps.ipb.ac.id

^bBadan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Kemenristek Republik Indonesia

Abstract. In general, natural resources capable of generating foreign exchange, such as: gas, petroleum and various other minerals are found in locations that have high productivity. Conditions of waters that have high productivity serves to support the sustainability of biological resources (e.g.: fish, mangroves, seagrass beds, seaweed and coral reefs). The government in this case the Ministry of Environment and Forestry (formerly the Ministry of the Environment) actually has made the signs of a rule that must be met by business actors who conduct activities in sensitive areas to environmental changes. PT. Total E & P Indonesia (TEPI) located in Balikpapan has long been engaged in exploration and exploitation of oil and gas in the Mahakam Delta. The large flow of branch-es of the Mahakam River empties into the Mahakam Delta provides a promising business opportunity for the farmers to open their business. While TEPI has oil wells are scattered in the delta area, pipelines are needed to collect the oil from the wells to the pro-cessing site. Because of the large number of streams causing many oil and gas pipes to cross the river (river cross pipes) that require special handling and meet the standards of technical rules and environment set by the government to be safe from passing boats or fishing boats that pass at the location. This study was conducted to predict the extent of exposed areas of exposure, espe-cially the TSS concentration generated from the dredging activities in the pipeline. The predicted area exposure (TSS > 80 mg / L) was simulated from the TSS distribution model constructed from the hydrodynamic model. The input data used are bathymetry, tidal, wind and sediment characteristics. The simulation results show that the area of impact (TSS > 80 mg / L) is 74275.13 m² dominantly moving westward from the dredging location (RC-06 = River Crossing Pipe No. 6). The farthest distance of the affected river body (TSS > 80 mg / L) to the west is 557.00 m from RC-06. The farthest distance of the affected river body (TSS > 80 mg / L) to the northeast is 240.81 m from RC-06. The farthest distance of the affected river body (TSS > 80 mg / L) to the southeast is 216.98 m from the RC-06 location. There is no water mass with TSS > 80 mg / L entering the pond. Sedimentation due to dredging activities is not accumulated and has no impact on shrimp farming business. The results of this study is expected to make a scien-tific basis in helping solve the problem of compensation requested by the farmers to TEPI due to decreased tambak production.

Keywords: Cross-River pipes, exposed areas, TEPI, RC-06.

(Diterima: 07-08-2017; Disetujui: 09-02-2018)

1. Pendahuluan

Belakangan ini sering muncul permasalahan terkait dengan pencemaran lingkungan seperti, tumpahan minyak karena terjadi kebocoran kapal tanker, kecelakaan di lokasi SBM (*Single Buoy Mooring*) dari kegiatan loading dan unloading minyak, kebocoran pipa dan peningkatan kekeruhan atau munculnya bahan polutan lain akibat adanya kegiatan pengerukan. Masih teringat dengan bebera-pa kasus pencemaran di Indonesia, misalnya tumpahan minyak mentah di SBM Pertamina Unit 6 Balongan Indramayu karena kebocoran saat proses transfer minyak dari Tanker MT Arendal ke pipa penyalur tangki penyimpanan di darat. Kecelakaan ini terjadi pada tanggal 14 September 2008 (Pikiran Rakyat Online, 17 September 2008), menyisakan banyak permasalahan dan memerlukan waktu yang cukup lama untuk pemulihannya. Demikian juga halnya dengan kasus tumpahan minyak Montara yang terjadi

di Laut Timor pada tanggal 29 Agustus 2009 dan berlangsung selama 74 hari dan baru berakhir pada 3 Nopember 2009 (Katadata, 2017). Akibat adanya tumpahan minyak tersebut juga me-nyisakan permasalahan yang serius terhadap produksi perikanan, rumput laut dari nelayan di pesisir selatan Pulau Timor. Sampai saat ini pemerintah Indonesia berusaha untuk mendapatkan bantuan dari pihak Montara agar mau memberikan bantuan untuk mengatasi permasalahan nelayan NTT (Nusa Tenggara Timur).

Dalam menentukan besaran ganti rugi dan siapa saja yang berhak mendapat ganti rugi diperlukan data ilmiah yang valid sebagai dasar dalam me-nyelesaikan permasalahan tersebut. Sampai saat ini sudah ada beberapa metode baik secara konvensional maupun modern dikembangkan untuk menangani permasalahan lingkungan tersebut (Gunnerson and French, 1996; Dean, 2013; Somasundaran, *et al.*, 2014; Alford, *et al.*, 2015; Carpenter, 2016). Satu di-antara metode tersebut adalah model sebaran pollu-tan (*oil spill trajectory*

model, sebaran TSS, thermal dispersion dsb.), melalui pendekatan model ini dapat diprediksi jarak sebarannya serta nilai konsentrasinya (Forstner and Westrich, 2007; Bray, 2008).

Dalam paper ini dibahas tentang analisis daerah terdampak dan pemodelan sedimentasi dari aktifitas pengerukan dan penimbunan dasar sungai dalam upaya pemeliharaan pipa milik TEPI di RC06 (River Crossing 06) Delta Mahakam. Adapun tujuannya adalah mengetahui pola sebaran konsentrasi total padatan tersuspensi (Total Suspended Solid/TSS) yang berasal dari aktifitas pengerukan dan penimbunan pipa di dasar sungai. Menghitung area terdampak pada badan sungai dengan konsentrasi TSS diatas 80 mg/L sesuai dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan dalam KepMen LH No. 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut, Lampiran III. Menganalisis keterkaitan antara pola sebaran TSS hasil dredging dengan kegiatan perikanan tambak yang ada di sekitarnya.

2. Metode

Untuk menganalisis daerah terdampak akibat pengerukan dan penimbunan di dasar sungai dalam upaya pemeliharaan pipa, maka dilakukan survei lapangan dan pemodelan arus serta pemodelan sebaran TSS. Data hasil survei lapangan diolah untuk dimanfaatkan sebagai data masukan dan parameterisasi pemodelan sedimen tersuspensi (TSS). Data pasang-surut digunakan untuk validasi model hidrodinamika.

1.1. Lokasi

Penelitian dilakukan di RC-06 yang berada di wilayah administratif Desa Tani Baru, Kecamatan Anggana, Kabupaten Kutai Kartanegara, Propinsi Kalimantan Timur (Gambar 1). Cakupan wilayah penelitian berada di antara 0° 27' 22,66" – 0° 28' 02,49" BT dan 117° 34' 54,37"–117° 35' 35,85" BT. Luas cakupan wilayah penelitian sebesar 3.2870 km² dengan luas perairan yang dimodelkan sebesar 416663 m². Panjang pipa dasar sungai yang melintasi badan sungai adalah 210.3 m dengan panjang area yang dikeruk sepanjang 160.4 m. Foto udara dari lokasi kajian disajikan pada Gambar 2.

Lokasi penelitian berada di perairan sungai sekitar Unit Pengolahan Utara (North Processing Unit/NPU) menghadap sungai ke arah timur laut. Di sekitar lokasi terdapat area budidaya tambak yang dikelola masyarakat di sebelah timur laut NPU, sedangkan di sebelah barat, barat laut dan timur NPU terdapat area budidaya tambak yang dikelola oleh TEPI. Titik lokasi pintu-pintu air tambak yang mengatur sirkulasi kebutuhan air di tambak merupakan lokasi yang penting terhadap kemungkinan dampak sedimentasi dari aktifitas pengerukan dan penimbunan pipa dasar sungai di lintasan pipa.



Gambar 1. Lokasi Studi (biru), Lokasi Pipa (Kotak Merah) dan Lintasan Pipa (Garis Merah). Aliran Sungai yaitu dari Arah Barat, Timur Laut dan Selatan (Biru Muda). Area Berwarna Hijau Muda dengan Pola Titik adalah area Tambak yang dikelola oleh TEPI dan Area berwarna Oranye Muda adalah area Budidaya Tambak yang dikelola Masyarakat. Simbol Berwarna Merah Muda adalah Pintu-pintu Tambak.

Ada tiga sumber masukan aliran sungai, yakni di sebelah barat, timur laut dan selatan dari tengah domain model. Aliran sungai ini berperan penting dalam menentukan pola sirkulasi arus di dalam domain model yang dimodelkan. Pola kontur batimetri kedalaman dasar sungai juga menentukan pola sirkulasi yang membawa material sedimen tersuspensi. Di tepi tambak terdapat vegetasi nipah dengan ketebalan antara 2-4 m dimana aliran arus akan sedikit terhambat dan sebagian dari sedimen tersuspensi akan terdeposisi dan mengendap di sekitar vegetasi nipah.



Gambar 2. Foto Udara Lokasi Studi dengan Sudut Pengambilan Foto ke Arah Tenggara. Garis Putus-putus Berwarna Hitam dengan Tanda Panah adalah Lintasan Pipa di Badan Sungai dengan Ukuran Diameter Pipa sebesar 32 dan 14 Inchi.

1.2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilaksanakan pada tanggal 18-21 Maret 2012. Peta Lokasi pengukuran dan pengambilan sampel disajikan pada Gambar 3 dan data koordinat masing-masing lokasi pengukuran dan pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1. Hasil pengukuran parameter TSS disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3 Lokasi Pemasangan Alat dan Pengambilan Sampel untuk Kebutuhan Data Masukan dan Parameterisasi Model. ST1-ST4 adalah Lokasi Pengukuran Laju Sedimentasi dengan menggunakan Sediment Trap, Pengambilan Sedimen Dasar dengan menggunakan Sediment Grab dan Pengambilan Sampel Air untuk mengukur Konsentrasi TSS. AR1-AR3 adalah Lokasi Pengukuran Arus dengan menggunakan Current Meter dan Kedalaman Dasar Perairan melintang terhadap Badan Sungai.

Data sekunder yang terdiri dari data batimetri dan tinggi muka laut (pasut) periode 1-31 Oktober 2011 diperoleh dari TEPI. Data sekunder untuk kebutuhan pemodelan lainnya berasal dari institusi riset internasional berupa data gabungan citra satelit (*merge satellite data*) dan data reanalisis. Data angin pada ketinggian 10 m dengan interval 6 jam diperoleh dari *Cersat-Ifremer*, Prancis. Data ini merupakan data gabungan dari citra satelit QuickScat, SeaWinds, Microwave Radar, ERS-1 dan ERS-2.

Tabel 1. Koordinat titik sampling sampel air, sedimen dasar dan pengukuran laju sedimentasi dengan sedimen trap

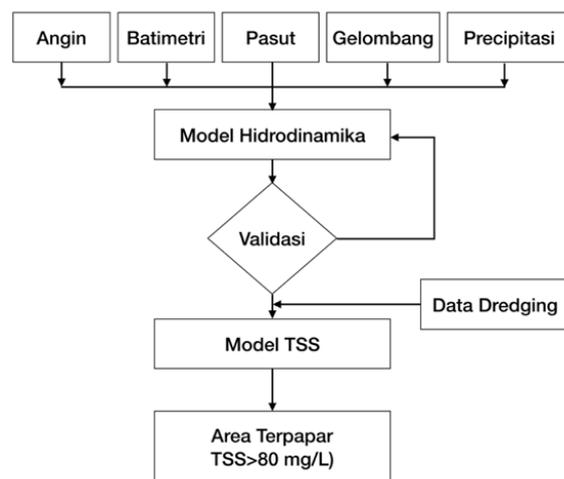
No	Nama Stasiun	Lintang Selatan	Bujur Timur
1	ST 1A	00° 27'32,6"	117° 34'55,2"
2	ST 1B	00° 27'36,4"	117° 34'53,3"
3	ST 2A	00° 27'22,7"	117° 35'22,3"
4	ST 2B	00° 27'19,6"	117° 35'20,6"
5	ST 3A	00° 28'05,7"	117° 35'28,2"
6	ST 3B	00° 28'06,1"	117° 35'20,2"
7	ST 4	00° 27'31,5"	117° 35'12,4"

Tabel 2. Hasil pengukuran TSS (mg/l) pada tanggal 18 Maret dan 21 Maret 2012

No	Nama Stasiun	18 Maret 2012	21 Maret 2012
1	ST 1A	15	75
2	ST 1B	40	64
3	ST 2A	9	82
4	ST 2B	22	44
5	ST 3A	29	155
6	ST 3B	39	81
7	ST 4	23	80

1.3. Analisis Data

Pengolahan dan analisis data menggunakan data hasil survei lapangan, hasil analisis laboratorium dan data sekunder, selanjutnya dimodelkan sehingga mencapai tujuan dan sasaran yang ditarget pada penelitian ini. Skema pengolahan dan analisis data disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Pengolahan dan Analisis Data Studi Pemodelan Sebaran TSS (Total Suspended Solid)

Tahapan pengolahan dan analisis data pada studi ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Data batimetri, angin, pasut, tinggi gelombang dan presipitasi diproses secara bertahap yaitu data *retrieving*, *data cropping*, *data selecting* dan *data checking*. Hasil dari proses ini digunakan untuk pemodelan hidrodinamika.
2. Model hidrodinamika untuk mensimulasikan arus dengan tahapan yaitu klasifikasi data, pemformatan data, pembangunan skenario model dan eksekusi model (*running model*).
3. Validasi model tahap pertama untuk luaran model hidrodinamika pada syarat batas dengan menggunakan data observasi lapangan yang diperoleh dari TEPI untuk penyesuaian syarat batas.
4. Validasi model tahap kedua untuk luaran model hidrodinamika pada friksi dasar perairan dan tepian badan sungai dengan menggunakan data hasil survei lapangan dari arus dan debit sungai di setiap syarat batas.

5. Jika hasil validasi model hidrodinamika telah valid (presisi > 90%) maka luaran model hidrodinamika berupa fluks (*flux*) komponen arus zonal dan meridional dapat digunakan selanjutnya untuk masukan data model sedimentasi untuk TSS.
6. Data hasil survei lapangan berupa *initial condition* TSS, *bulk density* sedimen dasar perairan, komposisi fraksi sedimen dasar perairan dan laju sedimentasi digunakan sebagai data masukan untuk parameterisasi model sedimentasi.
7. Skenario operasional pengerukan dan penimbunan diterapkan ke dalam model sedimentasi dengan menggunakan kondisi terburuk dari partikel sedimen yang terlepas dari alat pengeruk dan penimbun material sedimen serta proses erosi sedimen di dasar perairan yang disebabkan oleh alat pengeruk sedimen.
8. Eksekusi (*running*) model sedimentasi yang menghasilkan pola sebaran sedimen tersuspensi di kolom air beserta nilai konsentrasinya.
9. Luaran pola sebaran TSS dari model sedimentasi diseleksi dengan menggunakan analisis spasial pada setiap luaran model TSS dengan interval 10 menit untuk menentukan pola sebaran dengan nilai ambang batas yang tidak diijinkan di atas nilai sebesar 80 mg/L.
10. Luaran dari analisis spasial menghasilkan deliniasi area terdampak dengan TSS lebih besar dari 80 mg/L, sehingga dapat diketahui luas area terdampak dan jarak terjauh area terdampak ke arah barat, timur laut dan tenggara.
11. Hasil dari area terdampak diinterpretasikan dan dianalisis mekanisme proses dari aspek sirkulasi arus luaran model dan mekanisme proses sedimentasi luaran model sehingga dapat diketahui mengapa terjadi area terdampak dengan TSS lebih besar dari 80 mg/L membentuk pola spasial yang dihasilkan.
12. Tahapan terakhir adalah pengambilan kesimpulan, saran dan solusi untuk menekan dampak sedimentasi dan rekomendasi untuk prosedur operasional standar akuisisi data lapangan kebutuhan pemodelan sedimentasi.

a. Model Set Up

Pengaturan model (*model setup*) dan parameterisasi model pada studi Analisis Daerah Terdampak dan Pemodelan Sedimentasi dari Aktifitas Pengerukan dan Penimbunan untuk Pemeliharaan Pipa Dasar Sungai TOTAL E&P Indonesia di RC06 (*River Crossing 06*) Delta Mahakam, dibagi kedalam dua kelompok yaitu pembangunan skenario model HD-MT dan skenario operasional pengerukan dan penimbunan sedimen. Kedua skenario ini didisain dengan kondisi skenario yang terburuk (*worst-case scenario*) dengan sedimen tersuspensi yang masuk ke sistem perairan sungai akibat aktifitas pengerukan dan penimbunan pipa dasar sungai adalah dengan debit dan konsentrasi yang maksimum.

➤ Skenario Model HD dan MT yaitu sebagai berikut:

- ✓ Periode simulasi: 04 – 16 Oktober 2011
- ✓ Langkah waktu: Dynamic Max. 10 detik
- ✓ Interval waktu luaran: 10 menit
- ✓ Gaya pembangkit: Pasang-surut, Angin & Gelombang (Konstan: 0.2 m & 22.5°)
- ✓ Kondisi awal konsentrasi TSS: 53.62 mg/L
- ✓ Fraksi sedimen: Clay, Silt & Very Fine (Total komposisi 76%)
- ✓ Lapisan sedimen dasar: Stiff Clay (Densitas: 768 kg/m³)
- ✓ Settling velocity: 0.00102 m/s (dari Sediment Trap: 2648 mg/kg/3 hari)
- ✓ Limit konsentrasi flocculation: 0.01 kg/ m³
- ✓ Limit konsentrasi hindered settlin: 10 kg/ m³
- ✓ Kekasaran dasar perairan: 0.01 m

➤ Skenario Operasional Pengerukan dan Penimbunan Sedimen yaitu sebagai berikut:

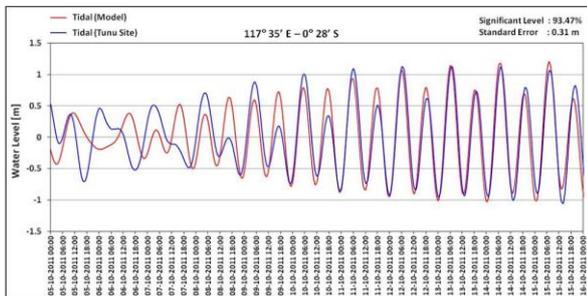
- ✓ Periode waktu: 5 – 15 Oktober 2011
- ✓ Total waktu: 11 hari
- ✓ Lama waktu per hari: 8 jam/hari (08:00–16:00 WITA)
- ✓ Panjang pengerukan: 160.4 m
- ✓ Jumlah segmen: 96 segmen
- ✓ Panjang per segmen: 1.6708 m/seg
- ✓ Volume per segmen: 26.67 m³/seg
- ✓ Total volume: 2560 m³
- ✓ Massa per segmen: 20480 kg
- ✓ Total massa: 1966.08 ton
- ✓ Prosentasi release sedimen (pengerukan): 7.5%
- ✓ Laju spill (pengerukan): 0.138112 kg/detik/time step
- ✓ Prosentasi release sedimen (penimbunan): 5%
- ✓ Laju spill (penimbunan): 1.104896 kg/detik/time step

b. Validasi Model

Validasi model dilakukan pada modul model HD dengan dua tahap yang terlibat, yaitu tahap pertama adalah validasi dengan menggunakan data observasi tinggi muka laut (pasut) dan tahap kedua adalah validasi dengan menggunakan data observasi debit air sungai dari ketiga masukan aliran sungai ke dalam domain model. Validasi model tahap pertama dilakukan dengan cara penyesuaian syarat batas (*boundary condition adjustment*) di ketiga masukan aliran sungai dilakukan pada tinggi muka laut hasil prediksi pasut (DHI) sebagai gaya pembangkitnya. Teknik validasi yang digunakan adalah *sensitivity analysis* dari gabungan kombinasi masukan aliran sungai sehingga antara debit luaran model dengan debit hasil survei memiliki nilai yang maksimum mendekati sama. Hasil validasi tahap pertama, memiliki probabilitas ketepatan sebesar 90.17%.

Validasi model tahap kedua dilakukan dengan cara penyesuaian konstanta kekasaran dasar perairan (*manning number adjustment*) dimana pada waktu yang sama antara tinggi muka laut luaran model dengan waktu pengukuran arus di ketiga masukan massa air ke domain model menghasilkan nilai debit antara luaran model dengan nilai debit hasil observasi lapangan memiliki nilai yang maksimum mendekati sama. Teknik validasi yang digunakan sama dengan tahap validasi pertama. Hasil validasi akhir dari kedua tahap

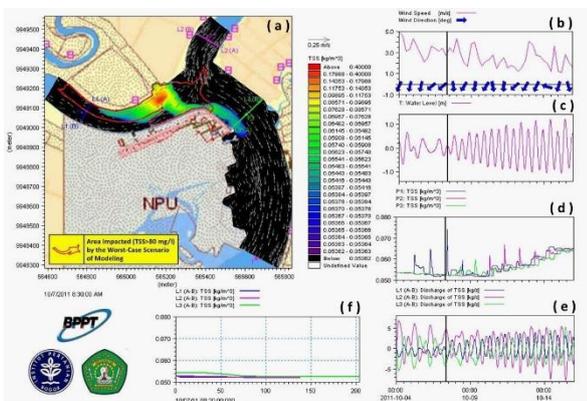
tersebut diperoleh probabilitas ketepatan sebesar 93.47% dan standard error sebesar 0.31 m yang disajikan dalam bentuk pola tinggi muka laut antara luaran model dengan stasiun pengamatan pasut di lokasi Tunu (Gambar 5).



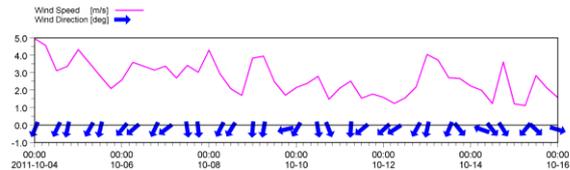
Gambar 5. Hasil Validasi Model antara Tinggi Muka Laut Luaran Model dengan Tinggi Muka Laut di Lokasi Tunu dari Data Sekunder Hasil Pengukuran Lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

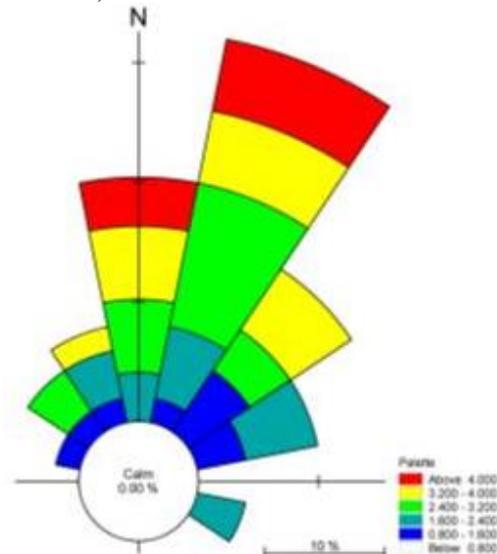
Hasil simulasi pemodelan sirkulasi arus dan pola sebaran konsentrasi TSS disajikan pada Gambar 6. Pengaruh angin ketinggian 10 m juga diikutsertakan sebagai gaya pembangkit di permukaan laut. Kecepatan angin maksimum pada periode antara tanggal 4-16 Oktober 2011 adalah sebesar 4.9 m/s dengan arah angin dominan dari utara (Gambar 7).



Gambar 6. Salah Satu Contoh Tampilan Hasil Simulasi Pemodelan Sirkulasi Arus dan Konsentrasi TSS pada Tanggal 7 Oktober 2011 Pukul 16:30 WITA. (a) adalah Pola Sirkulasi Arus berupa Vektor Arus (Tanda Panah) yang ditumpang-tindihkan dengan Pola Sebaran Konsentrasi TSS (Skala Arus [m/s] dan Skala Konsentrasi TSS [kg/m³] berada disebelah Kanannya). (b) Grafik Kecepatan [m/s] dan Arah Angin [° searah jarum jam] pada Waktu yang bersamaan. (c) Grafik Tinggi Muka Laut [m] di Lokasi T. (d) Grafik Konsentrasi TSS [kg/m³] di Lokasi P1 (biru), P2 (ungu) dan P3 (hijau). (e) Grafik Fluks TSS [kg/s] yang melintasi P1(A-B) (biru), P2(A-B) (ungu) dan P3(A-B) (hijau). (f) Sebaran Melintang Konsentrasi TSS [kg/m³] yang melintasi P1(A-B) (biru), P2(A-B) (ungu) dan P3(A-B)



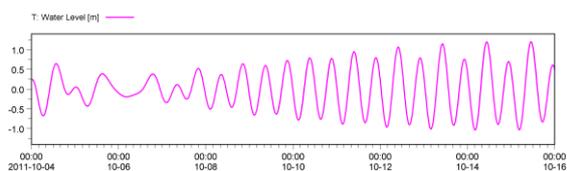
Gambar 7. Kecepatan (Ungu) [m/s] dan Arah (Biru) [°] Angin pada Lokasi dan Periode Waktu Pemodelan (4-16 Oktober 2011).



Gambar 8. Mawar Angin di Lokasi Pemodelan antara Tanggal 4-16 Oktober 2011.

Arah angin dominan terlihat jelas dari grafik mawar angin yang memperlihatkan dominan angin berasal dari arah 22.5° searah dengan jarum (Gambar 8). Peranan angin dalam mempengaruhi pola sirkulasi di domain model diduga sangat kecil karena domain model berupa sungai yang terbentuk dari celah-celah di antara Delta Mahakam dimana pengaruh terbesar disebabkan oleh pasut. Masukan air tawar dari sungai utama sesuai dengan karakteristik Delta Mahakam, sangat besar sehingga pola sirkulasi arus terutama dipengaruhi oleh pasut dan kedua dipengaruhi oleh masukan massa air tawar dari sungai utama.

Pola pasut luaran model di lokasi T di sebelah selatan domain model memiliki tipe campuran dominasi ganda (Gambar 9) dan memiliki ketepatan mencapai 93.47% dengan data observasi lapangan. Tunggang pasut terbesar pada periode antara tanggal 4-16 Oktober 2011 adalah sebesar 2.51 m. Tipe pasut campuran dominasi ganda di Delta Mahakam akan mengakibatkan perairan di domain model mengalami pembalikan arah arus sebanyak dua kali dalam sehari. Pada saat menjelang surut aliran sungai bergerak dari arah timur laut menuju ke selatan. Sesampainya di pertemuan sungai, sebagai aliran arus bergerak ke arah barat dan sebagai lainnya bergerak ke arah selatan menuju ke arah laut lepas. Kecepatan arus ke arah barat lebih besar dibandingkan dengan ke arah laut lepas. Penyebabnya adalah kedalaman dasar sungai ke arah barat lebih dangkal daripada kedalaman sungai yang menuju ke arah laut lepas (Gambar 10).



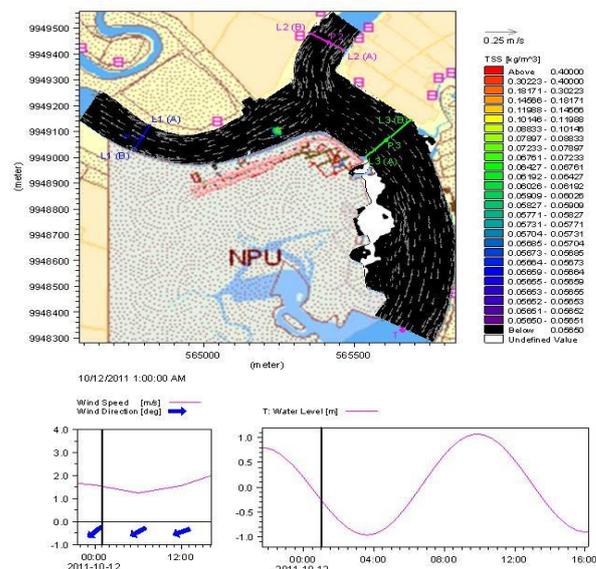
Gambar 9. Pola Pasut [m] di Lokasi T di Sebelah Selatan Domain Model antara Tanggal 4-16 Oktober 2011.

Puncak surut terendah terjadi setelah kurang lebih dua setengah jam kemudian dimana aliran sungai dari arah timur laut, ke arah barat maupun ke arah selatan menuju laut lepas semakin kuat dengan kecepatan arus yang semakin besar (Gambar 11). Lokasi pengerukan berada di jalur badan sungai yang menuju ke arah barat dimana aliran sungai pada saat surut terendah memiliki aliran sungai dengan kecepatan arus yang besar ke arah barat. Oleh karena itu, dari hasil simulasi pemodelan sedimen terlihat bahwa pada saat surut terendah material sedimen tersuspensi dengan cepat bergerak ke arah barat mengikuti arah arus dan terdispersi dengan cepat. Kedalaman dasar perairan antara yang berasal dari sungai dari timur laut dengan sungai yang menuju ke arah selatan memiliki kedalaman yang relatif hampir sama, sedangkan sungai yang menuju ke arah barat lebih dangkal hampir dua kalinya. Jika kedalaman sungai dari aliran sungai yang menuju ke arah barat sama dengan dari timur laut dan yang menuju ke arah selatan maka aliran massa air berikut dengan material sedimen tersuspensi yang terbawa akan bergerak semua ke arah selatan menuju ke laut lepas. Kecepatan arus pada saat puncak surut terendah pada badan sungai yang menuju ke barat sangat besar, sehingga dengan cepat material sedimen tersuspensi terdispersi. Tetapi karena lebar sungai pada aliran ini tidak begitu besar di bandingkan dari arah timur laut dan ke arah selatan maka konsentrasi TSS yang cukup tinggi akan tetap bergerak ke arah barat (Gambar 12).

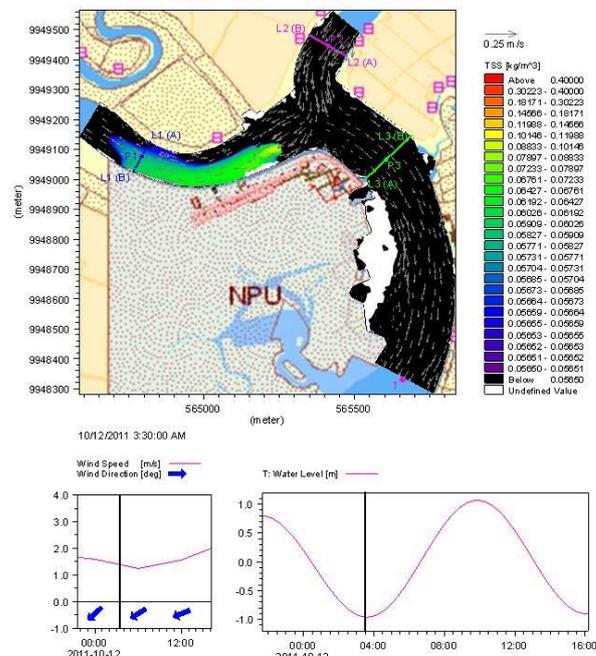
Ketika mencapai pasang tertinggi, dua setengah jam kemudian, kecepatan arus pasang semakin besar sehingga sedimen tersuspensi yang telah mencapai di pertemuan ketiga aliran sungai, terdorong ke arah timur laut dan terdispersi kembali serta semakin memiliki kesempatan sedimen tersuspensi terdoposisi mengendap ke dasar perairan sungai (Gambar 13). Oleh karena itu, semua material sedimen tersuspensi pada saat puncak pasang tertinggi akan terbawa ke arah timur laut dan terdispersi dengan cepat diiringi timur laut dan terdispersi dengan cepat diiringi dengan proses deposisi mengendap ke dasar perairan.

Pola sirkulasi arus pada saat menjelang surut, puncak surut terendah, menjelang pasang dan puncak pasang tertinggi dengan siklus yang terjadi dua kali dalam sehari sesuai dengan tipe pasut campuran dominan ganda di Delta Mahakam, mengakibatkan terjadinya pencucian massa air yang sangat besar dimana waktu tinggal massa air (resident time) menjadi kecil. Begitu pula material sediment akan dengan cepat terdistribusi sehingga tidak terkumpul di suatu perairan yang berdampak terhadap meningkatnya konsentrasi sedi-

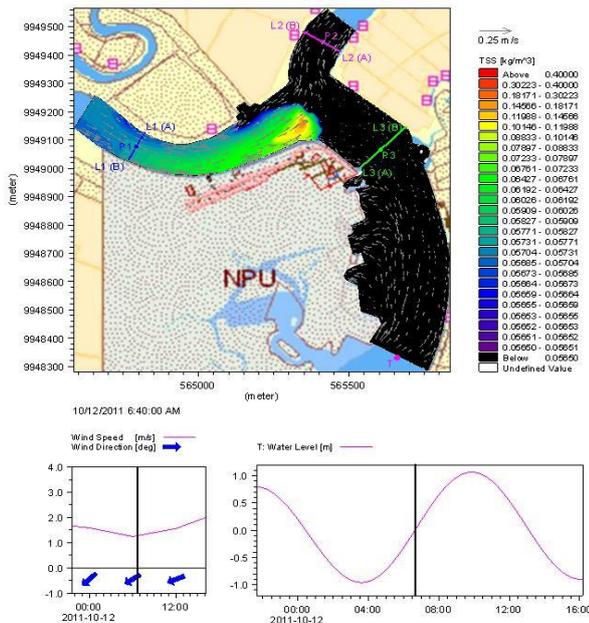
men tersuspensi (konsentrasi TSS). Sedimen tersuspensi akibat dari operasional pengerukan selain memiliki karakter sedimen dasar yang mudah mengendap juga akan terbuyarkan (terdispersi) dengan cepat. Oleh karena itu, penurunan konsentrasi TSS terhadap jarak tempuh material sedimen tersuspensi akan menurun dengan cepat seiring dengan cepatnya sedimen tersuspensi untuk terdeposisi ke dasar sungai dan mudahnya sedimen tersuspensi tersebut terdispersi.



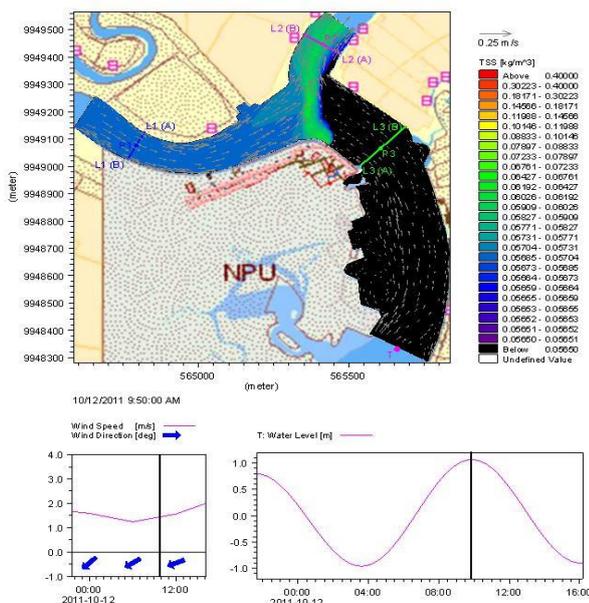
Gambar 10. Pola Sirkulasi Arus Permukaan Laut [m/s] dan Sebaran TSS [kg/m³] pada saat Menjelang Surut Tanggal 12 Oktober 2011 Pukul 09:00 WITA.



Gambar 11. Pola Sirkulasi Arus Permukaan Laut [m/s] dan Sebaran TSS [kg/m³] pada saat Surut Tanggal 12 Oktober 2011 Pukul 11:30 WITA.



Gambar 12. Pola Sirkulasi Arus Permukaan Laut [m/s] dan Sebaran TSS [kg/m³] pada saat Menjelang Pasang Tanggal 12 Oktober 2011 Pukul 14:40 WITA.



Gambar 13. Pola Sirkulasi Arus Permukaan Laut [m/s] dan Sebaran TSS [kg/m³] pada saat Pasang Tanggal 12 Oktober 2011 Pukul 17:50 WITA.

Hasil luaran model dari pola sirkulasi arus dan sebaran TSS dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan spatial analysis untuk mengkaji daerah terdampak. Daerah terdampak yang dimaksud adalah daerah dimana pada perairan di domain model dari hasil pemodelan simulasi pola sirkulasi dan sebaran TSS pada periode antara tanggal 4-16 Oktober 2011 memiliki konsentrasi TSS di atas 80 mg/L. Digunakan nilai konsentrasi TSS di atas 80 mg/L karena sesuai dengan hasil kajian ilmiah dan perundangan yang berlaku. Pada Gambar 14 disajikan cup-

likan gambar hasil simulasi arus dan pola sebaran konsentrasi TSS lebih besar dari 80 mg/L pada waktu-waktu tertentu setiap harinya antara tanggal 4-16 Oktober 2011 dimana nilai dengan konsentrasi TSS tersebut mencapai jarak terjauh dari lokasi pengerukan (RC06). Hasil tersebut memperlihatkan bahwa tidak setiap saat dari waktu ke waktu daerah terdampak selalu terpapar TSS dengan konsentrasi lebih besar dari 80 mg/L. Semakin sering terpapar TSS dengan konsentrasi lebih besar dari 80 mg/L maka perairan tersebut semakin besar memiliki potensi dampak yang merugikan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa semakin dekat dengan lokasi pengerukan maka semakin sering perairan tersebut terpapar TSS dengan konsentrasi lebih besar dari 80 mg/L. Selain itu, juga ditentukan oleh pola sirkulasi arus dan proses dinamika sedimen yang terjadi.

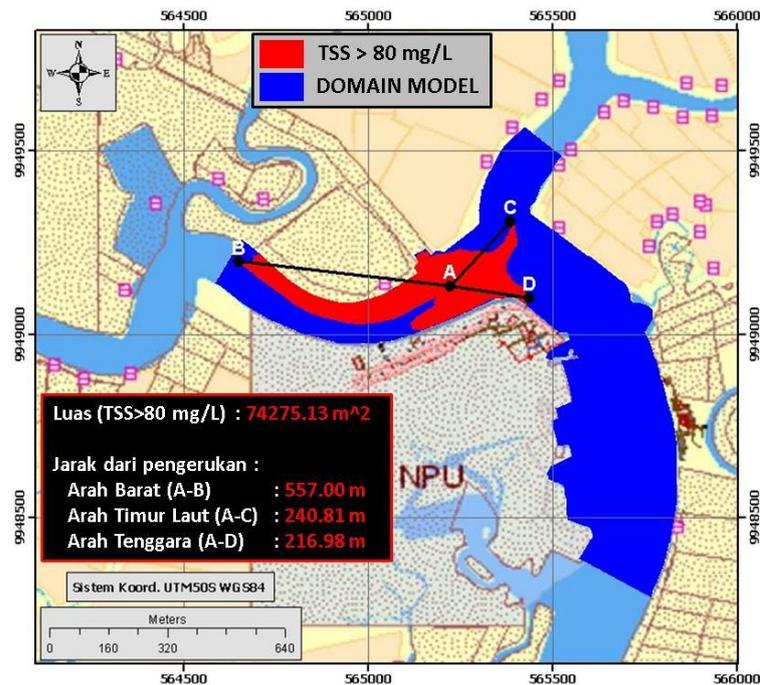
Hasil analisis spasial daerah terdampak memperlihatkan bahwa luas daerah terdampak di perairan adalah seluar 74275.13 m² (Gambar 14). Luasan daerah terdampak ini terpusat di sekitar lokasi pengerukan dan dominan menyebar ke arah barat. Sementara itu, penyebaran ke arah selatan dan timur laut tidak terlalu dominan. Jarak terjauh ke arah barat jika ditarik garis lurus dari tengah lokasi pengerukan adalah sejauh 557.00 m, ke arah timur laut sejauh 240.81 m dan ke arah selatan (tenggara) sejauh 216.98 m Pola daerah terdampak berada di perairan sungai yang memiliki kedalaman yang dangkal pada aliran sungai yang menuju ke arah barat.

Kondisi ini diduga menyebabkan distribusi daerah terdampak tertahan di perairan pada aliran sungai ini. Perairan yang dangkal ini mendukung proses resuspensi sedimen yang telah terdeposisi mengendap ke dasar sungai kembali ke kolom perairan karena adanya proses turbulen yang mengakibatkan terjadinya golkalan air di permukaan dan di kolom air dekat dasar perairan. Kondisi ini didukung oleh tipe pasut campuran dominasi ganda di perairan ini dimana dalam satu hari akan mengalami dua kali puncak pasang dan dua kali puncak surut.

Tipe pasut ini menyebabkan ketika massa air dengan TSS lebih besar dari 80 mg/L terdorong oleh arus pasang ke arah timur dengan segera terdorong kembali ke arah barat oleh arus menjelang surut. Sementara itu, massa air dengan konsentrasi TSS lebih besar dari 80 mg/L mulai bergerak ke arah timur laut ketika pasang atau bergerak ke arah selatan ketika surut dengan segera kandungan sedimen tersuspensi terdispersi dengan cepat sehingga konsentrasi TSS menurun dengan drastis.

Areal tambak yang terkena daerah terdampak secara langsung adalah tambak yang berada di sebelah selatan dari aliran sungai yang bergerak ke arah barat. Sementara itu areal lahan yang bersentuhan dengan daerah terdampak adalah area North Processing Unit (NPU) di bawah pengelolaan TEPI yang berada di sebelah selatan dari aliran sungai yang menuju ke arah barat (Gambar 14). Pada sisi utara diduga akan berdampak pada kehidupan udang di dalam tambak, sedangkan pada sisi selatan diduga akan berdampak

terjadinya proses pendangkalan di tepian areal lahan NPU yang berhadapan dengan aliran sungai



Gambar 14. Perairan di Badan Sungai yang Terkena Dampak Sedimentasi dimana dari Hasil Simulasi Pemodelan Pernah Terpapar Nilai Konsentrasi TSS Lebih Besar dari 80 mg/L (Merah) dan Jarak Terjauh Ke Arah Barat (A-B), Timur Laut (A-C) dan Tenggara (A-D) dari Lokasi Pengerukan antara Tanggal 5-15 Oktober 2011.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi Analisis Daerah Terdampak dan Pemodelan Sedimentasi dari Aktifitas Pengerukan dan Penimbunan untuk Pemeliharaan Pipa Dasar Sungai TOTAL E&P Indonesia di RC06 (River Crossing 06) Delta Mahakam, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- Luas badan sungai terdampak (TSS>80 mg/L) adalah seluas 74275.13 m² yang dominan bergerak ke arah barat dari lokasi pengerukan (RC06).
- Jarak terjauh badan sungai terdampak (TSS>80 mg/L) ke arah barat adalah sejauh 557.00 m dari lokasi pengerukan (RC06).
- Jarak terjauh badan sungai terdampak (TSS>80 mg/L) ke arah timur laut adalah sejauh 240.81 m dari lokasi pengerukan (RC06).
- Jarak terjauh badan sungai terdampak (TSS>80 mg/L) ke arah tenggara adalah sejauh 216.98 m dari lokasi pengerukan (RC06).
- Tidak ada massa air dengan TSS>80 mg/L dari RC06 yang masuk melalui pintu masuk suplai air ke dalam tambak.
- Sedimentasi akibat dari aktifitas pengerukan dari RC06 tidak terakumulasi dan berdampak pada budidaya tambak udang.

Ucapan Terima Kasih

Kami penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. TOTAL EP Balikpapan yang telah memfasilitasi studi ini, sehingga mendapatkan data yang bisa dijadikan paper seperti ini.

Daftar Pustaka

- [1] [BAKOSURTANAL], 2003. Citra Satelit Landsat untuk inventarisasi sumberdaya alam pesisir dan laut di delta mahakam. Pusat Survei Sumberdaya Alam Laut, Bakosurtanal.
- [2] [KKP], 2007. Penerapan Best Management Practices (BMP) pada Budidaya Udang Windu (*Panaeus monodon Fabricius*) Intensif. Balai Besar Pengembangan Budidaya air Payau, Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, KKP.
- [3] [NASA], 1992. Astronaut Photography of Coral Reefs. NASA. [<http://eol.jsc.nasa.gov/newsletter/CoralReefs/>].
- [4] [OzCoast], 2010. OzCoast and Oz Estuaries. Australia's Online Coastal Information Portal. [www.ozcoasts.org.au].
- [5] Alford, J. B., M. S. Peterson, and C. C. Green, 2015. Impacts of Oil Spill Disaster on Marine Habitats and Fisheries in North America. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
- [6] BouDager F. M. K., M. E. J. Wilson, 2000. A revision of some larger Foraminifera from the Miocene of East Kalimantan. *Micropalaeontology* 46(2).
- [7] Bray, R.N., 2008. Environmental Aspects of Dredging. Taylor & Francis/Balkema, Netherlands.
- [8] Budhiman S., T. Hobma, Z. Vekerdy, 2005. Remote Sensing for Mapping TSM Concentration in Mahakam Delta: An Analytical Approach. The Thirteenth Workshop of OMISAR.
- [9] Burt, T. N., 1986. Field Settling Velocities of Estuary Muds. *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer Verlag, Berlin.
- [10] Carpenter, A., 2016. Oil Pollution in the North Sea. Springer International Publishing Switzerland.

- [11] Dean, J.R., 2013. *Methods for Environmental Trace Analysis*. John Wiley & Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ England.
- [12] Forstner, U. and B. Westrich, 2007. *Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [13] Gunnerson, C. G. and J.A. French, 1996. *Wastewater Management for Coastal Cities, the Ocean Disposal Option*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [14] KataData, 2017. Indonesia dan Australia Bahas Kasus Tumpahan Minyak Montara. <http://katadata.co.id/berita/2017/03/06/indonesia-dan-australia-bahas-kasus-tumpahan-minyak-montara>. Diunduh pada tanggal 29 Mei 2017, pukul 21:18:33.
- [15] Koran Online Pikiran Rakyat, 2008. Pantai Tercemar Minyak Mentah. <http://www.pikiran-rakyat.com/jawabarat/2008/09/17/76747/pantai-tercemar-minyak-mentah>. Diunduh pada Tanggal 29 Mei 2017, Pukul 20:34:01 wib.
- [16] Krone, B., 1982. The Significant of Aggregate Properties to Transport Processes. *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer Verlag, Berlin.
- [17] Munk, W., E. Anderson, 1948. Notes on the theory of the thermocline. *Journal of Marine Research* (7).
- [18] Parchure, T. M., A. J. Mehta, 1985. Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposits. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 111(10).
- [19] Prihartini, T. R., 2003. *Spatial Optimisation, Dynamic and Simulation Model for Coastal Resources management in Mahakam Delta*. Disertasi. IPB, Bogor
- [20] Rahman, A. F., D. Dragoni, D. Hadriyanto, 2011. Tracking mangrove land change in Mahakam Delta with time-series of high fidelity MODIS imagery. *World Delta Summit, Mahakam*.
- [21] ReSutrisno, D., 2003. *The Assessment of Rapid Landuse Change and Its Impact on Sustainable Fisheries*. The Open Meeting of Global Environmental Change Research Community. Montreal, Canada.
- [22] Rodi, W., 1984. *Turbulence Models and Their Application in Hydraulics*. IAHR. Delft, The Netherlands.
- [23] Smagorinsky, J., 1963. General Circulation Experiment with The Primitive Equations. *Monthly Weather Review* 91(3).
- [24] Somasundaran, P., P. Patra, R. S. Farinato and K. Papadopoulos, 2014. *Oil Spill Remediation, Colloid Chemistry-Based Principles and Solution*. John Wiley & Sons Inc. All rights reserved, Canada.
- [25] Teeter, A. M., 1986. *Vertical Transport in Fine-Grained Suspension and Nearly-Deposited Sediment*. *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer Verlag, Berlin.
- [26] Wandera, L. N. N., 2011. *Mapping Chlorophyll Concentration in a Mangrove Forest by Model Inversion Approach Applied to Hyperspectral Imagery*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Thesis. University of Twente.
- [27] Williams, G. J., 2012. *Estimating Chlorophyll Content in a Mangrove Forest Using a Neighbourhood Based Inversion Approach*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Thesis. University of Twente.
- [28] Winterwerp, 1999. *Hindered settling and self-weight consolidation*. Report Z2386, Delft University of Technology.