

Analisis Arus dan Transpor Sedimen Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi (Studi Kasus: Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku)

Fikri Hadyan Putra, Dinar Guruh Pratomo

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111

e-mail: guruh@geodesy.its.ac.id

Abstrak – Teluk Ambon yang berlokasi di Kecamatan Teluk Ambon, Provinsi Maluku, merupakan teluk yang mempunyai karakteristik daerah yang menyempit dan terbagi menjadi tiga area yaitu Teluk Ambon Luar, Bagian tengah yang menyempit merupakan lokasi Jembatan Merah Putih, dan Teluk Ambon Dalam. Pada setiap areanya mempunyai kedalaman dan luas area yang berbeda sehingga terdapat perbedaan pola arus pada Teluk Ambon. Selain itu terdapat beberapa sungai yang bermuara pada Teluk Ambon sehingga memungkinkan terjadinya sedimentasi pada Teluk Ambon. Dalam hal ini menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D. Parameter pada pemodelan ini yaitu data batimetri, arah dan kecepatan angin, dimensi pilar jembatan, *river discharge*, pasang surut air laut, dan sampel sedimen. Dari penelitian ini didapatkan hasil nilai kecepatan arus paling tinggi saat pasang tertinggi dan surut terendah yaitu 0.0089 m/s dan 0.05 m/s. Berdasarkan data kumulatif perpindahan sedimen dari hasil model, area sekitar pilar terjadi penumpukan dan erosi sedimen yang berbeda di tiap pilarnya.

Kata Kunci - Arus, Pemodelan Hidrodinamika, Teluk Ambon, Transpor Sedimen.

I. PENDAHULUAN

Teluk Ambon adalah perairan yang memiliki bentuk morfologi dan batimetri yang khas dimana intensitas penggunaannya baik kawasan pesisir maupun perairannya sangat tinggi [1].

Arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari suatu massa air sehingga massa air tersebut mencapai kestabilan [2]. Transpor sedimen oleh aliran air adalah transpor seluruh butir padat (solid) yang melewati tampang lintang suatu aliran air [3]. Transpor sedimen dan sifat-sifat aliran, pada sungai alam akan terganggu dengan adanya penahan sedimen yang dibangun melintang sungai [4].

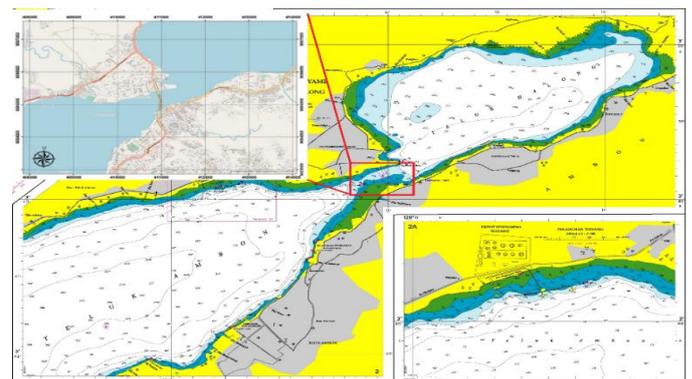
Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan model Transpor Sedimen menggunakan perangkat lunak Pemodelan 3 Dimensi. Pemodelan pergerakan massa air (hidrodinamika) di suatu perairan dapat dilakukan dengan metode pemodelan numerik. Pemodelan numerik mensimulasikan pola sirkulasi arus berdasarkan hukum kekekalan massa (kontinuitas) dan kekekalan momentum [5]. Model ini didasarkan pada suatu asumsi bahwa tinggi muka air yang terjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang horizontalnya sehingga besaran kecepatan dirata-ratakan terhadap kedalaman. Dengan asumsi ini maka sirkulasi yang terjadi hanya dalam

arah horizontal [6]. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi gambaran mengenai pola arus, pasang surut, sebaran sedimen, transpor sedimen, di perairan Teluk Ambon khususnya daerah sekitar pondasi jembatan Merah Putih, sehingga dapat dijadikan referensi untuk pemeliharaan bangunan tersebut. Parameter pada pemodelan ini yaitu data batimetri, arah dan kecepatan angin, dimensi pilar jembatan, *river discharge*, pasang surut air laut, dan sampel sedimen. Penelitian ini juga menganalisa nilai RMSE dan MAE dari hasil pemodelan. Dengan nilai RMSE dan MAE bersamasama menunjukkan variasi kesalahan dalam suatu sampel data, nilai RMSE selalu lebih besar atau sama dengan nilai MAE [7]. Hasil dari pemodelan ini dapat digunakan sebagai acuan penelitian pemodelan lainnya khususnya di Teluk Ambon.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan Teluk Ambon, Maluku. Secara geografis jembatan tersebut terletak di $3^{\circ}39'45''$ LS dan $128^{\circ}11'54''$ BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Data dan Peralatan

1) Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- Data batimetri Teluk Ambon
- Peta RBI Teluk Ambon skala 1:50.000
- Peta laut Teluk Ambon skala 1:25.000
- Data sampel sedimen disekitar jembatan Merah Putih
- Data pasang surut Teluk Ambon tahun 2018
- Data arus Teluk Ambon tahun 2018

- g. Data *river discharge* sungai Way Lela dan Way Ruhubaru.
- h. Data dimensi pilar jembatan Merah Putih
- i. Data angin Teluk Ambon tahun 2018

2) Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa perangkat lunak pengolah data, antara lain:

- a. Matlab 2015a digunakan untuk mengolah data pasang surut.
- b. Perangkat Lunak Pengolah Batimetri digunakan untuk mengolah data batimetri sesuai dengan kondisi yang diinginkan untuk melakukan pemodelan
- c. ArcGIS 10.6.1 digunakan untuk digitasi data kedalaman dari peta laut Indonesia dan garis pantai dari peta RBI.
- d. Perangkat Lunak Pemodelan digunakan untuk melakukan pemodelan hidrodinamika arus dan sedimen.

C. Metodologi Penelitian

Adapun tahapan pengolahan data dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1) Pengolahan data batimetri

Data Batimetri diolah untuk mengetahui topografi daerah Teluk Ambon.

2) Pengolahan data pasang surut.

Pasang surut diolah untuk koreksi kedalaman lokasi penelitian.

3) Digitasi

Digitasi pada peta laut untuk menentukan titik spot depth pada daerah Teluk Ambon dan garis pantai dari peta RBI.

4) Mesh Interpolation

Proses memasukkan nilai batimetri ke dalam tiap grid yang sudah dibuat.

5) Tahap pemodelan

Pada tahap ini, data data hasil interpolasi, *river discharge*, ukuran pilar jembatan, hasil grain size, dan water level MSL dimasukkan ke dalam parameter pemodelan.

6) Tahap validasi

Validasi data pasang surut dilakukan untuk mengetahui secara matematis data hasil pemodelan menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAE (*Mean Absolute Error*). Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} \tag{1}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \tag{2}$$

Dengan n, y_i , \bar{y}_i berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil pemodelan.

III. HASIL DAN ANALISA

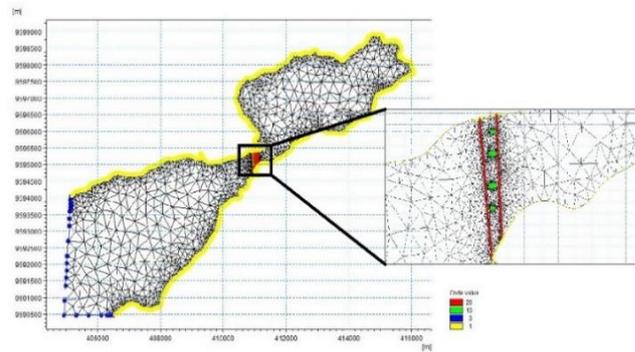
A. Bidang Model

Pembuatan bidang pemodelan dilakukan dengan batas pemodelan dan data kedalaman hasil pengukuran batimetri. Pada penelitian ini, batas model terbagi menjadi empat, yaitu batas laut, darat. Pada batas laut (*open boundary*) merupakan perbatasan langsung dengan Laut Banda sedangkan untuk *close boundary* merupakan batas garis pantai Teluk Ambon.

Setelah melakukan pendefinisian batas, selanjutnya yaitu pembuatan *mesh* yang berbentuk TIN (*Triangulated Irregular Network*) adalah model data vektor berbasiskan topologi yang digunakan untuk merepresentasikan data permukaan bumi. TIN menyajikan model permukaan sebagai sekumpulan bidang-bidang kecil yang berbentuk segitiga yang saling terhubung [8], dikarenakan TIN bersifat lebih fleksibel terhadap bentuk batas garis pantai yang tidak teratur. Element mesh terbentuk berdasarkan data garis pantai dan pendefinisian batas dengan memperhatikan sudut terkecil, maksimum luasan elemen tiap mesh, dan maksimum jumlah nodes. Pada pemodelan ini, mesh menggunakan ketentuan minimum sudut kecil 26°, maksimum luasan tiap mesh sebesar 200000 m².

Tabel 1. Spesifikasi TIN

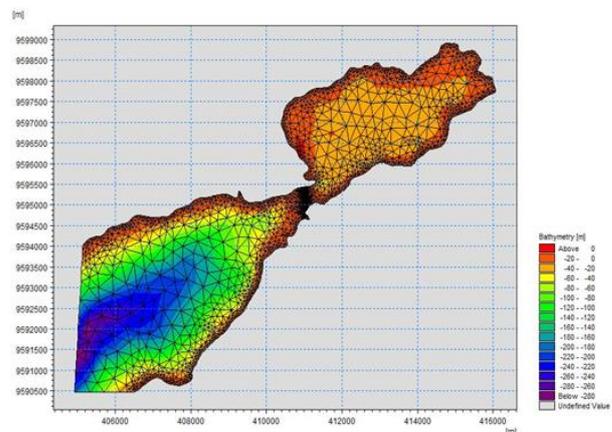
| Spesifikasi | Jumlah |
|-------------|--------|
| Elemen | 8560 |
| Titik | 4782 |



Gambar 2. Hasil Mesh Yang Dibentuk

Pada hasil *mesh* Gambar 2, titik-titik kuning merupakan *close boundary* garis pantai, titik-titik biru merupakan *open boundary* yang berbatasan dengan Laut Banda, titik-titik merah merupakan area fokus, dan titik titik hijau merupakan pilar jembatan..

Sistem proyeksi yang digunakan yaitu 52S. Satuan unit untuk menyatakan koordinat horizontal maupun vertikal adalah meter. Referensi kedalaman yang digunakan dalam pembuatan model ini adalah MSL (*Mean Sea Level*) atau duduk muka air laut rata-rata.



Gambar 3. Hasil Interpolasi Kedalaman

Gambar 3 merupakan hasil interpolasi kedalaman yang dilakukan terhadap *mesh* menggunakan metode *Triangular Interpolation*. Waktu yang digunakan dalam proses simulasi ini yaitu:

Tabel 2.
Parameter Waktu Pemodelan

| Parameter | Nilai |
|-----------------------|-------------------|
| Lama Simulasi | 36 hari |
| Warming up | 4,5 hari |
| Spin up | 0,5 hari |
| Reference date | 14 Agustus 2018 |
| Simulation start time | 14 Agustus 2018 |
| Simulation stop time | 18 September 2018 |
| Time step | 864 |

B. Pemodelan Arus

Pemodelan arus dilakukan dengan metode simulasi hidrodinamika. Pemodelan arus membutuhkan data pembangkit arus, data tersebut yaitu pasang surut dan debit air sungai (*river discharge*).

Komponen debit sungai dimasukkan sebagai variabel pembangkit arus yang bersumber dari sungai-sungai yang bermuara di Teluk Ambon. Pada penelitian ini data debit sungai yang digunakan yaitu debit sungai Way Lela dan Way Ruhubaru.

Tabel 3.
Debit Rata-rata Sungai-sungai di Wilayah Perairan Teluk Ambon

| No. | Nama Sungai | Debit Sungai Rata-rata (m ³ /s) |
|-----|--------------|--|
| 1 | Way Lela | 0.314 |
| 2 | Way Ruhubaru | 0.673 |

Data pasang surut diperoleh dari stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial di perairan Teluk Ambon didapat dengan pengukuran real time. Koordinat stasiun pasang surut yaitu 3°38'20.760" LS 128 ° 11' 60.000" BT mulai tanggal 14 Agustus 2018 sampai 18 September 2018. Pada pemodelan ini, dibutuhkan data pasang surut yang telah direferensikan terhadap MSL (Mean Sea Level). ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4.
Data Pasang Surut tereferensi MSL Bulan Agustus – September 2018

| Hari | Jam | Elevasi (m) |
|------------|-----|-------------|
| 19/08/2018 | 1 | -0.328 |
| 19/08/2018 | 2 | -0.258 |
| 19/08/2018 | 3 | -0.088 |
| 19/08/2018 | 4 | 0.172 |
| 19/08/2018 | 5 | 0.482 |
| 19/08/2018 | 6 | 0.692 |
| 19/08/2018 | 7 | 0.742 |
| 19/08/2018 | 8 | 0.672 |
| 19/08/2018 | 9 | 0.462 |
| 19/08/2018 | 10 | 0.172 |
| 19/08/2018 | 11 | -0.128 |
| 19/08/2018 | 12 | -0.368 |
| 19/08/2018 | 13 | -0.548 |
| 19/08/2018 | 14 | -0.678 |
| ... | ... | ... |
| 18/09/2018 | 23 | 0.072 |

Data pasang surut yang telah tereferensi muka air laut rata-rata dijadikan sebagai input parameter pembangkit arus pada area open boundaries.

Pemodelan arus juga menghasilkan pasang surut. Hasil pasang surut model memnunjukkan kenaikan muka air laur pada model hidrodinamika ini. Hasil pasang surut model bulan Agustus 2018 sampai dengan September 2018 ditampilkan pada Tabel 5:

Tabel 5
Sampel Data Pasang Surut Hasil Pemodelan Bulan Agustus Sampai September

| Hari | Jam | Elevasi (m) |
|------------|-----|-------------|
| 19/08/2018 | 1 | -0.301 |
| 19/08/2018 | 2 | -0.234 |
| 19/08/2018 | 3 | -0.070 |
| 19/08/2018 | 4 | 0.183 |
| 19/08/2018 | 5 | 0.486 |
| 19/08/2018 | 6 | 0.694 |
| 19/08/2018 | 7 | 0.752 |
| 19/08/2018 | 8 | 0.692 |
| 19/08/2018 | 9 | 0.491 |
| 19/08/2018 | 10 | 0.207 |
| 19/08/2018 | 11 | -0.092 |
| 19/08/2018 | 12 | -0.333 |
| 19/08/2018 | 13 | -0.515 |
| 19/08/2018 | 14 | -0.647 |
| ... | ... | ... |
| 18/09/2018 | 23 | 0.080 |

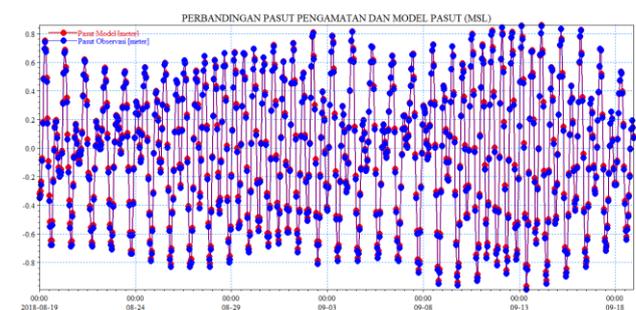
Dari pasang surut hasil pemodelan, diketahui nilai pasang tertinggi terjadi pada tanggal 14 September 2018 pada jam 04:00 dengan ketinggian 0.859 m, sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 13 September 2018 pada jam 09:00 dengan ketinggian -0.962 m.

Nilai pasang surut yang sudah tereferensi dibandingkan dengan nilai pasang surut hasil model untuk mengetahui selisih keduanya, ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6.
Perbandingan Nilai Pasang Tertinggi dan Surut Terendah Pasut Pengamatan dan Model

| Pasang Surut | Pasang Tertinggi (m) | Surut Terendah (m) |
|--------------|----------------------|--------------------|
| Pengamatan | 0.852 | -0.988 |
| Pemodelan | 0.859 | -0.962 |
| Selisih (m) | 0.007 | 0.026 |

Selain itu dibandingkan juga grafik pasang surut antara hasil model dengan pasang surut tereferensi muka air laut rata-rata pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Pasang Surut

Gambar 4 menampilkan perbandingan grafik pasang surut pengamatan dengan pasang surut hasil model yang telah tereferensi muka air laut rata-rata. Terlihat bentuk grafik pasang surut yang terbentuk hampir sama bentuknya.

Proses selanjutnya yaitu memvalidasi hasil model pasang surut. Validasi dilakukan dengan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Nilai RMSE merupakan rata-rata besar kesalahan pada suatu sampel data, sedangkan MAE adalah rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya. RMSE digunakan untuk mencari keakuratan hasil peramalan dengan data histori [9]. MAE cocok untuk menggambarkan

kesalahan yang terdistribusi secara merata [10]. Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} \tag{3}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \tag{4}$$

Dengan n , y_i , \bar{y}_i berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil pemodelan.

Dalam perhitungan RMSE dan MAE untuk menguji validitas pemodelan ini, nilai observasi dan nilai pemodelan berturut-turut adalah pasang surut observasi dan pasang surut hasil pemodelan, dengan n adalah jumlah data pasang surut setelah melewati waktu *spin up* dan *warming up* selama 5 hari sehingga nilai n yaitu 744, dimulai dari tanggal 19 Agustus 2018. Perhitungan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.00029}{744}} = 0.017 \text{ m} \tag{5}$$

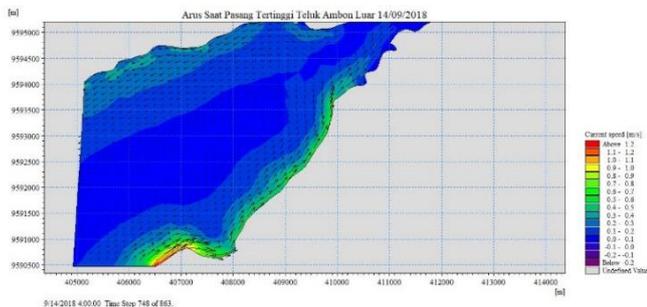
$$MAE = \frac{10.859}{744} = 0.014 \text{ m} \tag{6}$$

Berdasarkan Tabel 7, tingkat kesalahan nilai RMSE dan MAE termasuk pada tingkat kesalahan kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan ini berjalan dengan baik dan dapat diterima hasilnya, sehingga dapat masuk ke tahap berikutnya.

| RMSE dan MAE | Tingkat Kesalahan |
|--------------|-------------------|
| 0,00 – 0,299 | Kecil |
| 0,30 – 0,599 | Sedang |
| 0,60 – 0,899 | Besar |
| > 0,9 | Sangat Besar |

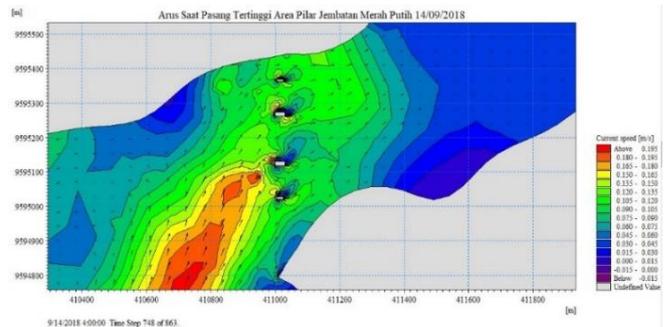
Analisa arus untuk pemodelan ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah serta pada 3 area, yaitu Teluk Ambon bagian luar, area sekitar pilar jembatan Merah Putih, dan Teluk Ambon bagian dalam.

Untuk pasang tertinggi terjadi pada tanggal 14 September 2018 pada jam 04:00 yaitu pada *timestep* 748, ditunjukkan pada Gambar 5-7 pada tiga area Teluk Ambon sebagai berikut:



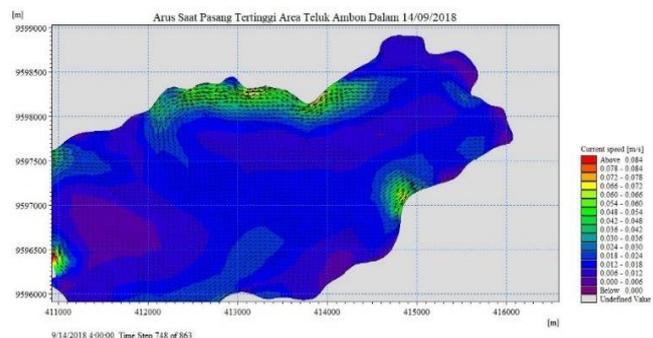
Gambar 5. Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Luar

Pada Gambar 5, diperlihatkan besar dan arah arus pada pasang tertinggi area Teluk Ambon bagian luar, rata-rata kecepatan arus yaitu 0,2 m/s.



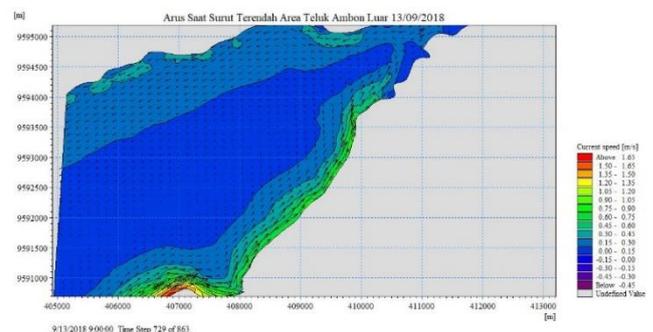
Gambar 6. Arus Pasang Tertinggi Area Pilar Jembatan Merah Putih

Gambar 6 menampilkan arus saat pasang tertinggi pada area pilar Jembatan Merah Putih dengan kecepatan rata-rata 0,1 m/s.



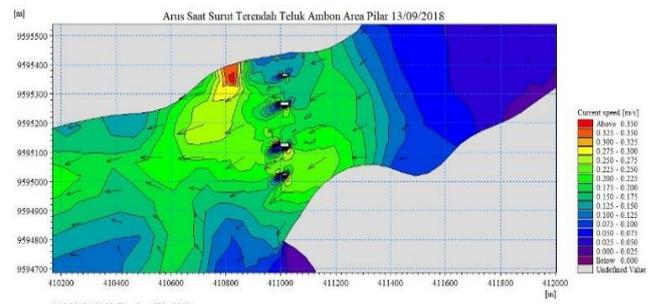
Gambar 7. Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Dalam

Pada Gambar 7 menampilkan arus saat pasang tertinggi daerah Teluk Ambon dalam. Pada area dalam kecepatan arus cenderung kecil dengan besar 0,01 m/s dengan arah yang hanya berputar di area tersebut.



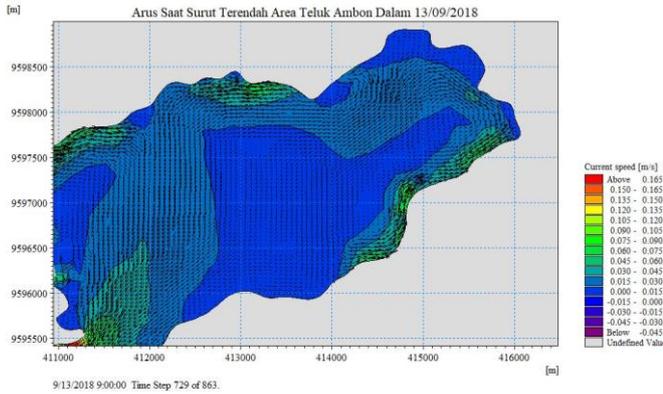
Gambar 8. Arus Surut Terendah Area Teluk Ambon Luar

Gambar 8 menunjukkan arus saat surut terendah yang terjadi pada 13 September 2018 pada jam 09:00 pada *time step* 729 dengan rata-rata kecepatan 0.45 m/s.



Gambar 9. Arus Surut Terendah Teluk Ambon Area Pilar

Pada Gambar 9 menunjukkan arus saat surut terendah area sekitar pilar jembatan Merah Putih. Dengan rata-rata kecepatan yaitu 0.25 m/s.



Gambar 10. Arus Saat Surut Terendah Area Teluk Ambon Dalam

Gambar 10 menunjukkan arus saat surut terendah pada Teluk Ambon area dalam. Kecepatan arus pada area dalam 0,015 m/s sampai 0,030 m/s dengan arah dominan menuju ke arah keluar teluk.

Validasi arus hasil pemodelan juga dilakukan dengan perhitunga RMSE dan MAE seperti persamaan 1 dan 2. Dengan data parameter pembangkit arus yaitu komponen zonal (u) Menunjukkan kecepatan dan arah arus ke arah timur (positif) dan ke arah barat (negatif), komponen meridional (v) Menunjukkan kecepatan dan arah arus ke arah utara (positif) dan ke arah selatan (negatif) [11]. Data yang digunakan yaitu data hasil observasi menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) dan hasil model. Perhitungan validasi komponen zonal (u) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.089}{4}} = 0.149 \text{ m/s} \tag{7}$$

$$MAE = \frac{0.500}{4} = 0.014 \text{ m/s} \tag{8}$$

Perhitungan validasi komponen meridional (v) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.073}{4}} = 0.136 \text{ m/s} \tag{9}$$

$$MAE = \frac{0.502}{4} = 0.126 \text{ m/s} \tag{10}$$

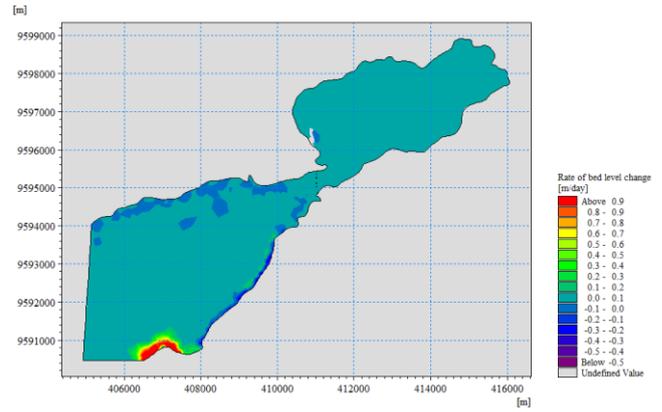
Hasil tersebut dapat ditafsirkan dengan Tabel 7 mengenai klasifikasi tingkat kesalahan RMSE dan MAE. Dengan hasil seperti pada perhitungan 7, 8, 9 dan 10, maka dapat disimpulkan hasil termasuk kedalam klasifikasi tingkat kesalahan kecil dan hasil pemodelan dapat diterima.

C. Pemodelan Sebaran Sedimen

Pemodelan sedimen dilakukan dengan memasukan beberapa parameter pada software pemodelan hidrodinamika, Pemodelan ini menggunakan parameter arus dimana pasang surut dan debit air (river discharge) sebagai pembangkitnya. Jenis sedimen pada pemodelan ini yaitu non kohesif berupa butiran pasir.

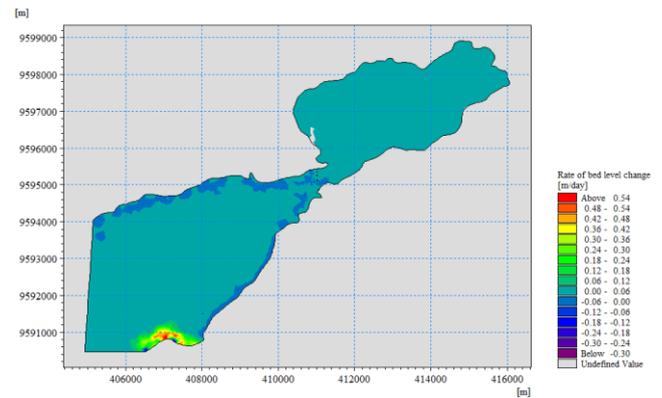
Analisa dilakukan saat dua kondisi, yaitu pada pasang tertinggi dan surut terendah. Dalam perangkat lunak pemodelan ini ditampilkan rate of bed level change untuk melihat pergerakan sedimen per hari pada setiap kondisi. Berikut adalah rate of bed level change awal pemodelan tiap area pada awal pemodelan:

1) Awal Pemodelan



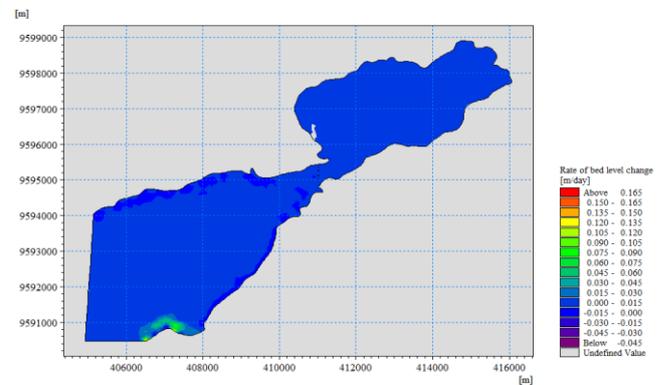
Gambar 11. Rate of Bed Level Awal Pemodelan

2) Surut Terendah



Gambar 12. Rate of Bed Level Saat Surut Terendah

3) Pasang Tertinggi



Gambar 13. Rate of Bed Level Saat Pasang Tertinggi

Dari hasil pemodelan pergerakan sedimen pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah, didapatkan hasil transpor sedimen pada kedalaman rata rata pada kondisi awal pemodelan yaitu 0.1 m per harinya, sedangkan saat pasang tertinggi yaitu 0.015m per harinya dengan arah dominan menuju ke dalam Teluk Ambon, pada saat surut terendah transport sedimen menjadi 0.06 m per harinya dengan arah dominan menuju ke luar Teluk Ambon, perubahan arah dan besarnya perpindahan ini dipengaruhi kecepatan dan arus pada kedua kondisi tersebut berbeda besarnya. Semakin cepat arus, maka semakin cepat sedimen akan terbawa [12].

IV. KESIMPULAN

Kecepatan arus pasang tertinggi dan surut terendah pada perairan Teluk Ambon pada kedalaman rata rata berturut turut yaitu 0.0089 m/s dan 0.05 m/s.

Nilai sebaran sedimen pada kedalaman rata-rata saat kondisi pasang tertinggi yaitu 0.015 m per harinya dengan arah dominan menuju ke dalam Teluk Ambon, pada saat surut terendah transport sedimen menjadi 0.06 m per harinya dengan arah dominan menuju ke luar Teluk Ambon..

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis F.H.P. mengucapkan terima kasih kepada Puseulis, Distrik Navigasi Kelas II Ambon, Kementerian Pekerjaan Umum, dan Badan Informasi Geospasial untuk dukungan data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fadli and I. M. Radjawane, "Pemodelan Hidrodinamika DI Perairan Teluk Ambon," in *Prosiding PIT X ISOI 2013*, 2014.
- [2] Surbakti and Dkk, "Penuntun Praktikum Oseanografi Fisika," Universitas Sriwijaya, 2015.
- [3] Istiarto, *Transpor Sedimen Suspensi*. Universitas Gajah Mada, 1998.
- [4] Wiyono, Agung, I. Soekarno, and A. Egon, "Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan Di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium)," in *Konferensi Nasional Teknik Sipil 8*, 2006, pp. 1–10.
- [5] Istiarto, *Model Hidrodinamika CFD Di Bidang Hidraulika Saluran Terbuka*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2009.
- [6] Hendiarti, S. N, F. M.C.G, A. Andrastuti, and A. Silaiman, "Riset Dan Teknologi Pemantauan Dinamika Laut Indonesia," Jakarta, 2006.
- [7] M. K. Khotimah, "Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang Windwave-5 Dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi," Universitas Indonesia, 2012.
- [8] H. Gultom, "Konsep Dasar SIG," *Harrisanggara staff gunadarma*, 2015. [Online]. Available: <http://harrisanggara.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/folder/0.1>. [Accessed: 21-Jul-2019].
- [9] Septiawan and Astuti, "Perbandingan Metode Setengah Rata-Rata Dan Metode Kuadrat Terkecil Untuk Peramalan Pendapatan Perusahaan Di Blu Uptd Terminal Mangkang Semarang," Universitas Dian Nuswantoro, 2016.
- [10] Rohmah and Rotulhuda, *Validasi Data*. Institut Pertanian Bogor, 2014.
- [11] Rahmawitri, Herwi, Atmadipoera, and Sukoraharjo, "Pola Sirkulasi Dan Variabilitas Arus Di Perairan Selat Sunda," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 11, pp. 141–157, 2016.
- [12] B. Triadmodjo, *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta, 1999.