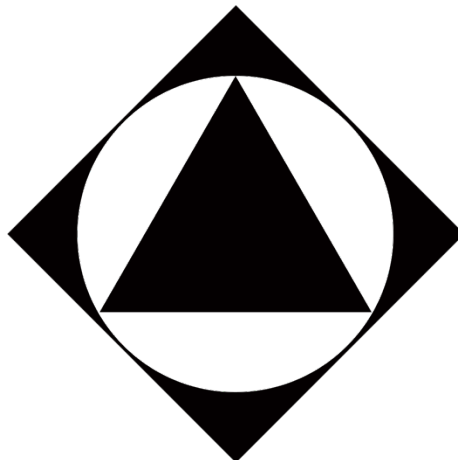


LAPORAN AKHIR PENELITIAN

ANALISIS SEDIMENTASI DI SUNGAI RIKO – PENAJAM BERDASARKAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA

**Fitri Suciaty
Putri Kemili
Tommy Harkey**



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL - BANDUNG

ANALISIS SEDIMENTASI DI SUNGAI RIKO – PENAJAM BERDASARKAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA

Fitri Suciatty¹, Putri Kemili² dan Tommy Harkey²

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. PHH. Mustofa No.23 Bandung
Email: suciaty.fitri@gmail.com

²PT. ASR Indonesia, Kantor Taman A9/lot 8,9 Unit D – Megakuningan, Jakarta
Email:

³PT. ASR Indonesia, Kantor Taman A9/lot 8,9 Unit D – Megakuningan, Jakarta
Email:

ABSTRAK

Berdasarkan kajian sedimentasi yang dilakukan oleh *Coastal Research Center/University of Rhode Island* (CRC/URI) dan Bappenas pada tahun 2002 di DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur, *outlet* dari Sungai Riko dikategorikan memiliki konsentrasi sedimen melayang yang buruk. Bagian hulu Sungai Riko mengalami deposisi rata-rata sebesar 0-2 mm selama 30 hari pada bulan Agustus-September (Susyanto, dkk., 2017). Hasil sedimen yang terangkut ke muara sungai relatif besar dan dapat mengancam percepatan pendangkalan pada Teluk Balikpapan. Analisis sedimentasi di Sungai Riko dilakukan berdasarkan pemodelan hidrodinamika dengan tujuan untuk memperoleh gambaran faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap akumulasi sedimen dan juga identifikasi pola sebaran sedimen dan kemungkinan sumber sedimennya. Model hidro-oseanografi disimulasikan dengan menggunakan *3DD Suite Model* (Black, 1996) pada musim Barat (Januari) dan musim Timur (Agustus). Hasil simulasi menunjukkan pada saat musim Timur, sebaran partikel yang keluar menuju arah muara dan ke Teluk Balikpapan lebih banyak dibandingkan pada saat musim barat, hal ini disebabkan oleh karena pada saat musim Barat, massa air yang bergerak dari Teluk Balikpapan menuju Sungai Riko lebih besar dibandingkan massa air dari Sungai Riko yang keluar ke Teluk Balikpapan. Sebaran sedimen di badan Sungai Riko dipengaruhi oleh kondisi batimetri dan debit sungai. Arah dan besar angin tidak terlalu menunjukkan efek yang signifikan terhadap pergerakan partikel.

Kata kunci: sedimentasi, hidrodinamika, transpor sedimen

1. PENDAHULUAN

DAS Teluk Balikpapan memiliki peranan yang sangat penting sebagai penopang perkembangan perekonomian di wilayah Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara. Selain itu, DAS Teluk Balikpapan juga berfungsi sebagai penyangga kehidupan ekosistem perairan di kawasan teluk itu sendiri. Namun berdasarkan kajian sedimentasi yang dilakukan oleh *Coastal Research Center/University of Rhode Island* (CRC/URI) dan Bappenas pada tahun 2002 di DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur, kondisi muara (*outlets*) sungai-sungai yang mengalir dan bermuara ke Teluk Balikpapan relatif keruh. Kekeruhan ini merupakan indikasi bahwa konsentrasi sedimen tersuspensi di perairan tersebut tinggi.

Sungai Riko merupakan salah satu sungai utama yang juga mengalir dan bermuara ke Teluk Balikpapan. Hasil kajian CRC/URI menyatakan bahwa Sungai Riko tergolong pada kategori muara sungai yang memiliki konsentrasi sedimen melayang yang buruk. Sedimen yang terangkut oleh Sungai Riko relatif besar, yaitu mencapai sekitar sekitar 391,123 ton/hari. Hasil pemodelan numerik yang dilakukan oleh Susyanto, dkk. (2017) menyatakan bahwa terdapat deposisi sedimen di bagian hulu Sungai Riko yaitu rata-rata sebesar 0-2 mm, dengan waktu simulasi selama 30 hari yaitu pada bulan Agustus-September. Soeyanto dan Arifiana (2018) memprediksi muatan sedimen yang dialirkan dan terdeposisi ke muara Sungai Riko pada Musim Peralihan Timur ke Barat (September-November 2016) adalah sebesar $\pm 4,25 \times 10^{-3}$ kg/detik atau $\pm 367,7$ kg/hari.

Daerah muara Sungai Riko adalah daerah pertemuan dari massa air dari Sungai Riko (dan sungai-sungai kecil yang bermuara ke Sungai Riko) dengan massa air laut dari Teluk Balikpapan. Di daerah pertemuan ini, umumnya sedimen akan diendapkan sebagai bagian dari proses sedimentasi melalui mekanisme siltasi, dimana sedimen melayang yang terbawa dari sungai-sungai di hulu akan menggumpal menjadi *flocs* dan kemudian menjadi lebih berat untuk kemudian mengendap di daerah muara. Pengendapan sedimen ini akan memberikan pengaruh buruk terhadap ekosistem perairan akibat adanya degradasi kualitas air dan juga akan menyebabkan pendangkalan alur pelayaran di sekitar Teluk.

Analisis sedimentasi di Sungai Riko dilakukan berdasarkan pemodelan hidrodinamika untuk memperoleh gambaran faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap akumulasi sedimen dan juga identifikasi pola sebaran sedimen dan kemungkinan sumber sedimennya. 3DD *Suite Model* (Black, 1996) digunakan untuk mensimulasikan model hidrodinamika dan juga transpor sedimen di sepanjang Sungai Riko. Simulasi dilakukan saat bulan Januari dan Agustus untuk mewakili kondisi saat musim Barat dan musim Timur.

2. PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3DD

Dalam menganalisa pola distribusi sedimen di Sungai Riko, maka 2 jenis pemodelan hidro-oseanografi dilakukan, yaitu pemodelan hidrodinamika pasang surut dan pemodelan transpor sedimen. Adapun model yang digunakan adalah 3DD *Suite* (Black, 1996). 3DD *Suite* merupakan program pemodelan yang dikembangkan oleh Black sejak 1996 untuk memahami dan mengkuantifikasi proses fisik dan dinamik yang terjadi di daerah pesisir dan aliran sungai. Model ini dapat digunakan untuk simulasi 2 dan 3 dimensi. Studi ini menggunakan model 2 dimensi.

Untuk model hidrodinamika, persamaan pembangun yang digunakan adalah persamaan momentum dan kontinuitas sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$w = -\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^z v dz \quad (3)$$

dimana t adalah waktu, u dan v adalah kecepatan horizontal arah x dan y , w adalah kecepatan vertikal (positif ke arah atas), h kedalaman, g percepatan gravitasi, ζ elevasi muka air di atas datum horizontal, f parameter coriolis, P komponen baroklinik tekanan, A_H koefisien horizontal eddy dan N_z koefisien vertikal viskositas eddy.

Kondisi Batas

Dua kondisi batas di permukaan (*wind-stress*) dan di dasar (*bottom-stress*) diberlakukan sebagai berikut:
Kondisi batas di permukaan pada $z = 0$ yaitu :

$$\rho N_z \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_x^s, \rho N_z \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_y^s, \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = w^s \quad (4)$$

dimana τ_x^s, τ_y^s menunjukkan komponen stress angin:

$$\tau_x^s = \rho \alpha \gamma |W| W_x, \tau_y^s = \rho \alpha \gamma |W| W_y \quad (5)$$

ρ adalah densitas air; W kecepatan angin pada 10 m di atas muka air laut, sedangkan W_x dan W_y adalah komponen kecepatan angin arah x dan y , γ koefisien drag angin, $\rho \alpha$ densitas udara.

Kondisi batas di dasar laut, $z = -h$, yaitu:

$$\rho N_z \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_x^h, \rho N_z \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_y^h \quad (6)$$

dimana τ_x^h, τ_y^h menunjukkan komponen stress dasar:

$$\tau_x^h = \frac{\rho g u_h (u_h^2 + v_h^2)^{0.5}}{C^2}, \tau_y^h = \frac{\rho g v_h (u_h^2 + v_h^2)^{0.5}}{C^2} \quad (7)$$

dengan u_h, v_h merupakan arus di dasar dan C adalah koefisien Chezy. Dalam bentuk logaritmik, $C = 18 \log_{10}(0.37 h/z_0)$, dimana z_0 adalah panjang kekasaran (*roughness length*).

Model Dispersal

Dalam kondisi aliran non-stabil, *fluks tracer* dapat dinyatakan sebagai jumlah gerak adveksi fluida, yang dipengaruhi oleh gaya-gaya gravitasi dan proses difusi turbulen. Konsentrasi (C) diatur oleh persamaan adveksi/ difusi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} - UC \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial C}{\partial y} - VC \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} + \omega_s C - WC \right) - kC + S_s \quad (8)$$

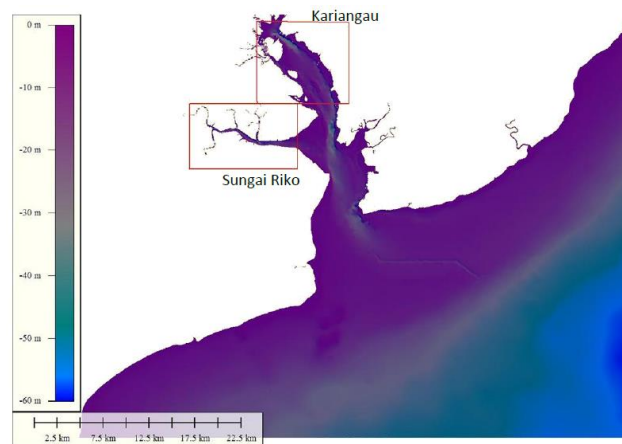
dimana t adalah waktu; x, y, z adalah koordinat spasial orthogonal; E_x, E_y, E_z dan adalah koefisien difusivitas eddy; W_s adalah kecepatan pengendapan air jenuh oleh gravitasi; U, V, W komponen kecepatan horizontal dan vertikal fluida; k adalah koefisien peluruhan untuk tracer non-konservatif.

Untuk melihat sebaran partikel yang diletakkan dari sumber tertentu (misalnya sedimen dari sungai, sampah dari daratan, ataupun tumpahan minyak di lepas pantai) dilakukan pemodelan dengan menggunakan model POL3DD dari *software 3DD Suite*. POL3DD terhubung dengan proses simulasi lainnya. Pada studi ini, arus dan elevasi dari model hidrodinamika 3DD digunakan untuk menentukan sirkulasi pada model transpor sedimen POL3DD.

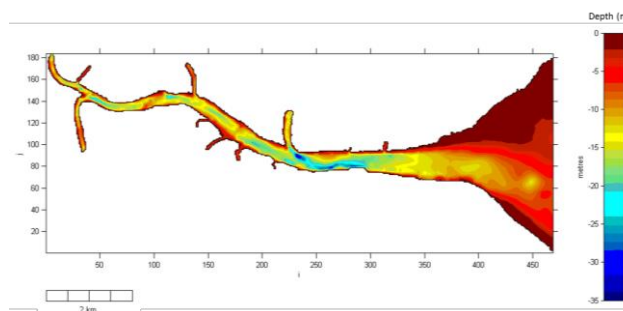
3. DATA DAN VALIDASI MODEL

Data

Data batimetri yang digunakan bersumber dari peta navigasi Dishidros TNIAL. Simulasi dilakukan dengan metode *nested* grid untuk efisiensi hasil model serta untuk mendapatkan hasil model yang akurat dengan resolusi tinggi. Lebar grid model besar yang digunakan dalam arah-x dan arah-y adalah 100 m dengan jumlah grid model sebesar 635 x 510 dengan area yang mencakup muara Teluk Balikpapan seperti pada Gambar 1a. Sedangkan model kecil yaitu Sungai Riko seperti yang diberi tanda kotak berwarna merah, menggunakan lebar grid arah-x dan arah-y 25 m dengan jumlah grid model sebesar 468x183. Sungai Riko yang relatif dangkal dan bercabang-cabang memiliki kedalaman maksimal -33 m di daerah tengah Sungai Riko seperti pada Gambar 1b.



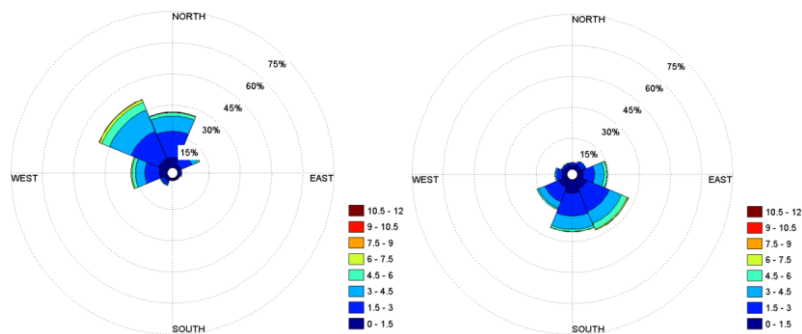
Gambar 1a. Batimetri *nested model* besar (daerah dengan kotak merah merupakan daerah *nested model* kecil untuk daerah Sungai Riko dan daerah Kariangau)



Gambar 1b. Batimetri *nested model* kecil (Sungai Riko)

Input pasang surut untuk model besar berupa *timeseries* elevasi (m) diambil dari model global *Tide Model Drive* (TMD) dengan 8 komponen utama pasang surut yaitu M2, S2, N2, O1, K1, P1, K2, dan Q1 pada setiap titik batas terbuka seperti pada Gambar 1a. Untuk model kecil, nilai elevasi di batas terbuka sisi timur didapatkan dari model besar

Input data angin komponen u dan v didapat dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) pada titik koordinat 117° BT and $2,5^\circ$ LS untuk data yang mewakili musim barat (Januari) dan musim timur (Agustus) dengan interval waktu data 6 jam. Gambar 2 merupakan windrose dari input data angin yang digunakan pada model.

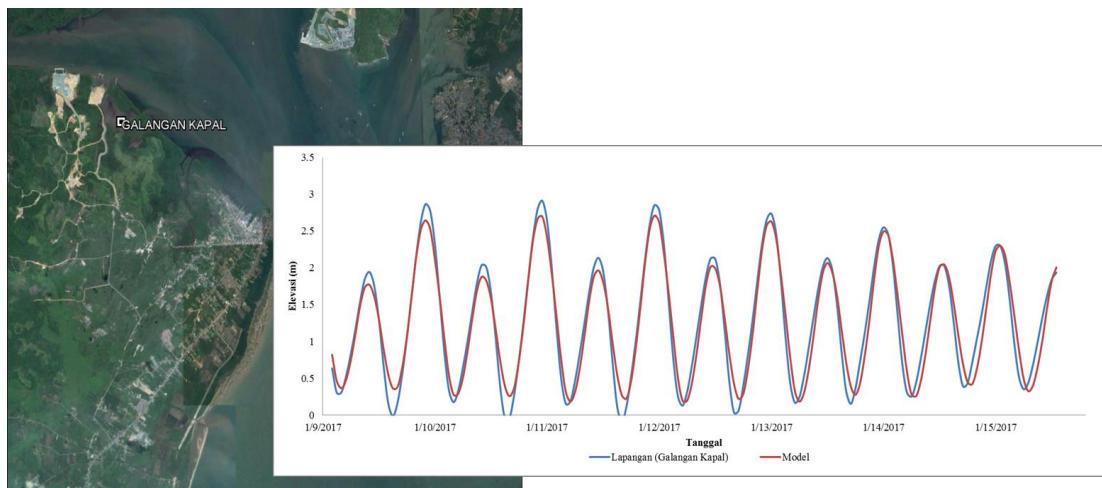


Gambar 2. Windrose Januari (kiri) and Agustus (kanan)

Secara garis besar, masing-masing daerah model hidrodinamika dijalankan dalam dua skenario yaitu model hidrodinamika dengan gaya pembangkit pasang surut dan angin di musim barat (Januari) serta musim timur (Agustus). Masing-masing skenario tersebut dijalankan dalam mode 2 dimensi selama 30 hari.

Validasi Model

Validasi hasil pemodelan dengan menggunakan data lapangan perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang mendekati proses yang terjadi di alam. Pada studi ini, hasil pemodelan divalidasi dengan menggunakan data pengukuran elevasi muka air di Balikpapan, Kalimantan Timur yaitu pada koordinat $116,812^\circ$ BT and $1,24^\circ$ LS seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Validasi elevasi hasil model dengan data pengukuran

Secara umum, hasil simulasi menunjukkan kesesuaian dengan pola pasang surut, terlihat pada amplitudo fasa dan elevasi antara model dan data pengukuran yang menunjukkan kecocokan saat kondisi pasang surut purnama dan juga saat kondisi pasang surut perbani, meskipun terdapat sedikit perbedaan sebesar 0,2 m. Berdasarkan validasi nilai elevasi muka air antara hasil model dengan pengamatan lapangan, dapat disimpulkan bahwa hasil model secara umum telah mewakili kondisi hidrodinamika di Sungai Riko.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pemodelan hidrodinamika pada studi ini yaitu berupa elevasi dan arus yang digambarkan secara spasial saat kondisi pasang surut purnama di masing-masing musim. Nilai input kecepatan di hulu Sungai Riko diberikan sebesar 0,31 m/s sesuai dengan data CRC/URI - Bappenas (2002).

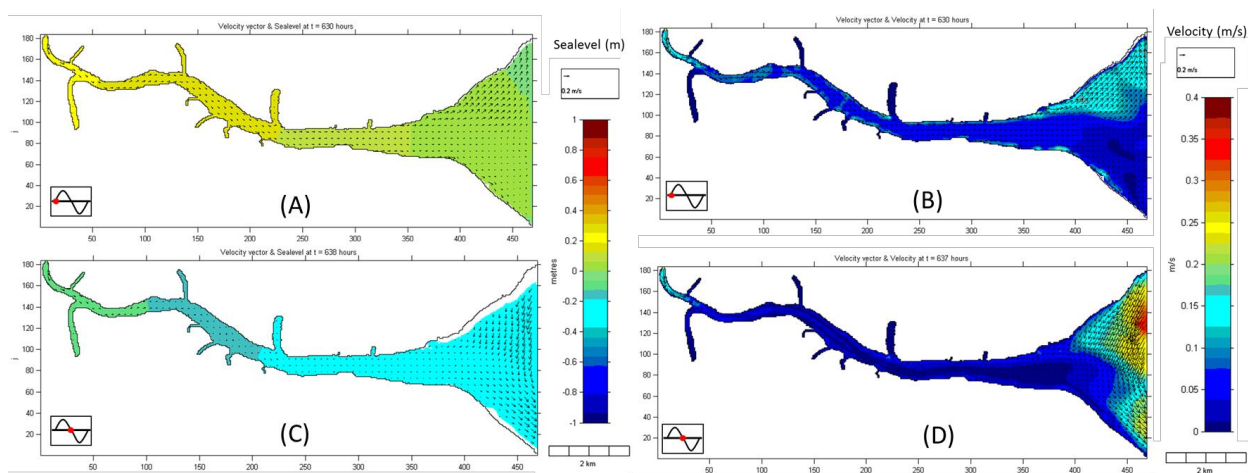
Pola elevasi dan arus saat musim barat, saat menuju pasang dan saat menuju surut ditunjukkan oleh Gambar 4. Dari pola arus tersebut terlihat bahwa nilai arus di Sungai Riko relatif kecil yaitu kurang dari 0,4 m/s dengan nilai terbesar terjadi di muara Sungai Riko baik pada musim barat maupun musim timur. Ketika musim barat, saat menuju pasang, arus bergerak menuju muara Sungai Riko dan bergabung dengan massa air dari Teluk Balikpapan menuju ke utara dengan nilai kecepatan arus mencapai 0,15 m/s dan nilai elevasi mendekati 0 (MSL). Saat pasang maksimum, kecepatan arus menjadi kecil yaitu rata-rata 0,1 m/s baik di hulu maupun di hilir Sungai Riko dengan arah arus bergerak menuju ke dalam Sungai Riko. Nilai elevasi saat pasang maksimum tinggi, lebih dari 1 m. Saat menuju surut, arus dari Sungai Semoi yang berada di bagian utara Teluk Balikpapan, bergerak masuk ke Sungai Riko dan bergerak menuju Teluk Balikpapan dari dan kecepatannya menjadi besar mencapai 0,35 m/s di muara Sungai Riko dengan nilai elevasi mendekati 0 (MSL). Saat surut minimum, kecepatan arus kurang dari 0,1 m/s dengan nilai elevasi yang lebih rendah dari -1 m.

Hasil simulasi saat musim timur menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan nilai kecepatan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan musim barat seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Ketika musim timur, saat menuju pasang, arus bergerak menuju muara Sungai Riko lalu bergabung dengan massa air dari Teluk Balikpapan menuju ke utara dengan nilai kecepatan arus mencapai 0,15 m/s dan nilai elevasi mendekati 0. Saat pasang maksimum, kecepatan arus rata-rata yaitu 0,15 m/s baik di hulu maupun di hilir Sungai Riko dengan arah arus bergerak menuju ke dalam Sungai Riko dan nilai elevasi yang tinggi lebih dari 1 m. Saat menuju surut, arus dari Sungai Semoi bergerak masuk ke Sungai Riko dan bergerak menuju Teluk Balikpapan dan kecepatannya meningkat mencapai 0,3 m/s di muara Sungai Riko. Saat surut minimum, kecepatan arus menjadi kecil yaitu kurang 0,1 m/s.

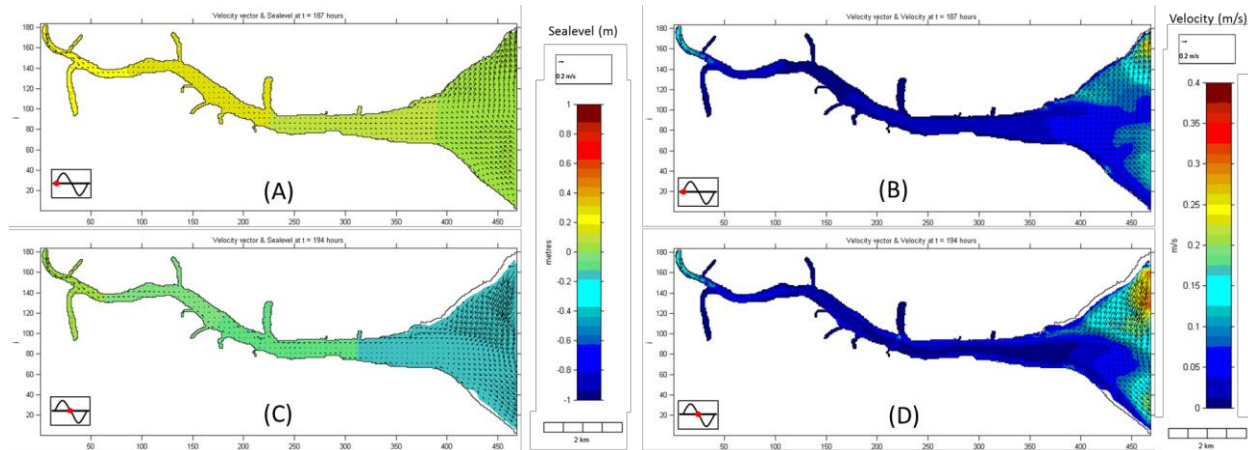
Arus Residu

Gambar 6 merupakan pola arus residu saat musim Barat dan musim Timur. Arus residu digambarkan untuk mengetahui arus non pasang surut yang berpengaruh di Sungai Riko. Dengan input nilai kecepatan arus di hulu sungai yang sama baik saat musim timur maupun saat musim barat, maka terlihat tidak ada perbedaan yang signifikan antara arus residu di badan Sungai Riko pada musim timur dengan musim barat. Perbedaan terlihat di muara Sungai Riko, dimana saat musim barat nilai arus residu lebih besar (mencapai 0,2 m/s) dibandingkan dengan saat musim timur (mencapai 0,15 m/s) dengan arah keduanya menuju ke selatan.

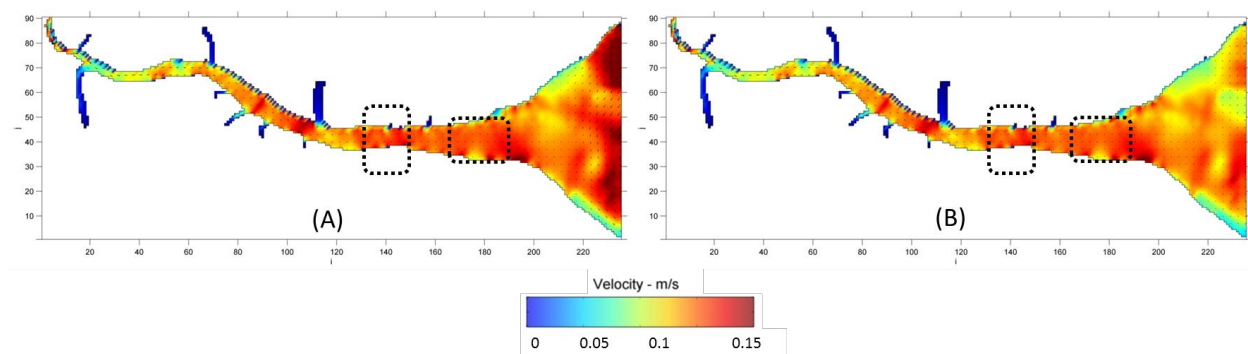
Di badan Sungai Riko terdapat beberapa titik dimana nilai arus residunya relatif lebih tinggi, yaitu pada lokasi dengan perubahan kedalaman seperti terlihat pada tanda kotak pada Gambar 6. Maka dapat diketahui bahwa pola sirkulasi massa air di dalam Sungai Riko ke arah hulu tidak dipengaruhi langsung oleh berubahnya kecepatan dan arah angin.



Gambar 4. Pola elevasi saat menuju pasang (A), Pola arus saat menuju pasang (B), Pola elevasi saat menuju surut (C), Pola arus saat menuju surut (D), saat musim barat.



Gambar 5. Pola elevasi saat menuju pasang (A), Pola arus saat menuju pasang (B), Pola elevasi saat menuju surut (C), Pola arus saat menuju surut (D), saat musim timur.

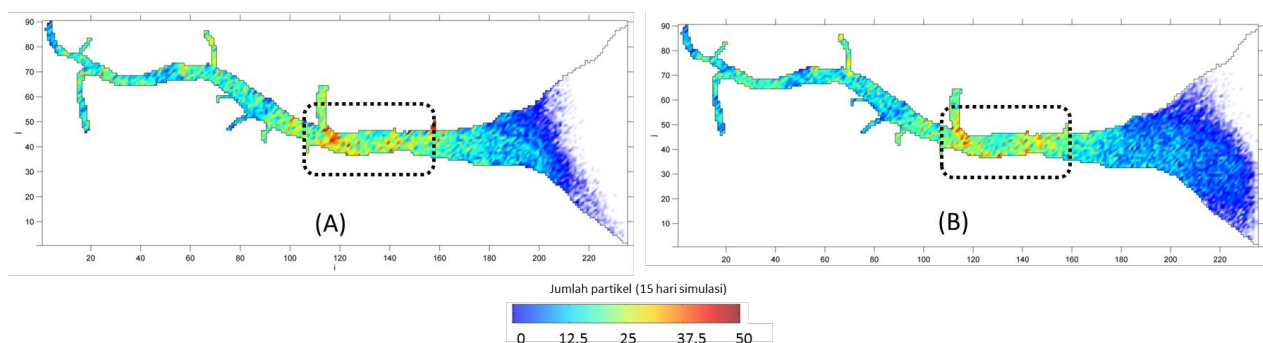


Gambar 6. Pola arus residu Sungai Riko musim barat (A) dan musim timur (B)

Pemodelan Dispersal (Sebaran Partikel Konservatif)

Kajian terhadap sebaran sedimen dilakukan dengan menggunakan model dispersal untuk mengetahui distribusi sedimen melayang di daerah aliran Sungai Riko. Partikel sedimen dilepas di daerah hulu Sungai Riko, kemudian sebaran sedimen di sepanjang aliran Sungai Riko diperoleh baik untuk musim Barat dan Timur

Sumber partikel dilepas di hulu sungai Riko dan partikel bergerak menuju ke Teluk Balikpapan dengan jumlah partikel yang besar terdapat di bagian tengah Sungai Riko seperti yang diberi tanda lingkaran pada Gambar 7, baik pada musim barat maupun musim timur, yang disebabkan karena di lokasi tersebut kedalamannya lebih besar sehingga partikel terakumulasi disana.



Gambar 7. Pola sebaran partikel di sungai Riko pada musim barat (A) dan musim timur (B)

Pada musim barat, partikel tersebar tidak sejauh pada saat musim timur yang disebabkan oleh arus di muara Sungai Riko yang lebih besar ketika musim barat sehingga sebaran partikel lebih tertahan dan tidak bergerak lebih jauh dibandingkan dengan musim timur.

5. KESIMPULAN

Pada saat musim Timur, sebaran partikel yang keluar menuju arah muara dan ke Teluk Balikpapan lebih banyak dibandingkan pada saat musim Barat, hal ini disebabkan oleh karena pada saat musim Barat, massa air yang bergerak dari Teluk Balikpapan menuju Sungai Riko lebih besar dibandingkan debit massa air dari Sungai Riko yang keluar ke Teluk Balikpapan. Namun secara umum sebaran sedimen di badan Sungai Riko dipengaruhi oleh kondisi batimetri dan debit sungai. Arah dan besar angin tidak terlalu menunjukkan efek yang signifikan terhadap pergerakan partikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Black, K.P. (1996). *The Hydrodynamic Model 3DD and Support Software*. Occasional Report No.19. 53 pp.
- Black, K.P. (1996). *Lagrangian Dispersal and Sediment Transport Model and Support Software*. Occasional report no. 20. Department of Earth Sciences. University of Waikato and NIWA, Hamilton . New Zealand.
- Kalnay et al.(1996).The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-470
- Kelompok Kerja Erosi dan Sedimentasi., (2002). *Kajian Erosi dan Sedimentasi Pada DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur*, Proyek Pesisir, TE-02/13-I, CRC/URI, Jakarta.
- Soeyanto, E., & Arifiyana, A. (2018). *Dynamics of Sedimentation Process at Riko River Estuary, Balikpapan Bay*. Oseanologi dan Limnologi di Indonesia, 3(1), 63-72.
- Susyanto, M. (2018). *Studi Dinamika Sedimen Kohesif di Perairan Teluk Balikpapan dengan Menggunakan Model Numerik Tiga Dimensi*. GEOSAINS KUTAI BASIN, 1(1).

KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL 12
(KoNTekS 12)
Batam, 18 – 19 September 2018