PENYUSUNAN MODEL NUMERIK PERGERAKAN BAHAN TOKSIK DI SALURAN REKLAMASI UNIT TERANTANG

Rony Riduan[1], dan Budi Utomo[2]
[1]Tenaga Pendidik Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Unlam
[2]Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Unlam
Jl A. Yani Km.36,5 Banjarbaru Kalimantan Selatan, Indonesia
E-mail: ronyrdn@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu faktor penghambat pemanfaatan lahan rawa di Kalimantan Selatan adalah keberadaan tanah sulfat masam. Proses reklamasi lahan yang dilakukan untuk mengatasi hal tersebut masih mengalami beberapa kendala, salah satunya adalah akumulasi bahan toksik pada saluran. Kejadian tersebut juga terjadi di saluran reklamasi rawa pasang surut Terantang. Salah satu dugaan penyebab terjadinya permasalahan tersebut adalah pergerakan arus yang diduga tidak berjalan dengan baiksehingga proses pencucian tidak sempurna. Penelitian ini membahas tentang analisis pola pergerakan air di saluran reklamasi rawa pasang surut Terantang dibantu dengan perangkat lunak EFDC (Environmental Fluid Dynamic Code). Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian lapangan yang dilakukan di saluran primer dan sekunder serta kolam pasang unit Terantang, sehingga didapatkan data geometri dan hidrometri saluran. Data tersebut kemudian dikalibrasi dan divalidasi sehingga dapat disusun model numerikdan simulasi pergerakan arus untuk saluran tersebut. Saluran reklamasi rawa pasang surut Terantang yang ditinjau memiliki dimensi lebar saluran sekunder berkisar 45 m sampai50 m dengan kedalaman 0,5 m sampai 4,8 m. Kolam pasang pada saluran tersebut memiliki dimensi panjang 400 m dan lebar 300 m dengan kedalaman ± 0,5 m. Selisih waktu antara pasang maksimum dan surut minimum adalah 32 jam dengan perbedaan elevasi 1,58 m. Model pergerakan arus yang disusun memiliki relatif bias sebesar -4,7231 terhadap data pengamatan. Hasil simulasi menunjukkan adanya pola aliran stagnan pada beberapa titik di kondisi eksisting dan kolam pasang normal. Pola aliran yang terjadi secara umum menunjukkan bahwa pada kondisi pasangair tidak mampu mencapai kolam pasang karena peristiwa surut sudah terjadi. Hal tersebut terjadi akibat saluran sekunder yang terlampau panjang sehingga proses pencucian di saluran tidak terjadi secara sempurna.

Kata Kunci: Saluran Reklamasi, Terantang, Pola Aliran

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lahan rawa di Pulau Kalimantan mempunyai luasan sekitar 12,3 juta ha berdasarkan data Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Kalimantan Selatan pada tahun 2005. Berdasarkan data dari sumber yang sama, terdapat sekitar 1 juta ha lahan rawa di Provinsi Kalimantan Selatan. Lahan rawa di Kalimantan Selatan meliputi 0,8 juta ha rawa pasang surut dan 0,2 juta ha rawa non pasang surut atau rawa lebak. Luas lahan rawa di Kalimantan Selatan hampir mencakup 26 persen dari luas

Provinsi Kalimantan Selatan, maka lahan rawa tersebut sangat potensial untuk pembangunan daerah Kalimantan Selatan.

Luas lahan rawa di Kalimantan Selatan yang baru dimanfaatkan adalah sekitar 0,45 juta ha (BPN Kal-Sel, 2004). Lahan rawa tersebut masih secara parsial tersebar di beberapa kabupaten di Kalimantan Selatan. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan dari lahan rawa di Kalimantan Selatan adalah potensi di bidang pertanian. Lahan rawa tidak hanya mempunyai potensi di bidang pertanian akan tetapi mempunyai beberapa permasalahan yang menghambat pemanfaatan di bidang pertanian. Salah satu permasalahan tersebut adalah keberadaan tanah sulfat masam yang mengandung pirit (FeS_2) yang mempengaruhi kualitas air dan tanah.

Pada tahun 1969, Pemerintah Indonesia melakukan proses reklamasi untuk mengatasi permasalahan tanah sulfat masam. Proses reklamasi yang dilakukan Pemerintah Indonesia mengalami beberapa permasalahan dalam pelaksanaannya. Permasalahan tersebut berupa keberadaan bahan toksik di saluran. Dalam perkembangannya pelaksanaan reklamasi ternyata mengalami beberapa kendala, antara lain terjadinya oksidasi pirit, sedimentasi, dan akumulasi bahan toksik pada saluran sekunder (Roelse, 1988). Permasalahan tersebut terdapat di saluran reklamasi rawa pasang surut unit Terantang di Kalimantan Selatan.

Salah satu dugaan penyebab terjadinya akumulasi bahan toksik di saluran reklamasi rawa pasang surut unit Terantang adalah kondisi pergerakan arus yang diduga tidak berjalan seperti prinsip sistem sisir sehingga bahan-bahan toksik diduga tidak tercuci dengan baik saat air surut. Pola pergerakan arus tersebut perlu dibuktikan melalui penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi geometri dan hidrometri saluran primer dan sekunder Unit Terantang?
2. Bagaimana pemodelan pola aliran di saluran primer dan sekunder Unit Terantang?
3. Bagaimana analisis pola aliran yang terjadi di saluran primer dan sekunder Unit Terantang?

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permodelan Hidrodinamik Menggunakan Program EFDC

Dalam pemodelan digunakan beberapa perangkat lunak (*software*) untuk membantu proses perhitungan. Perangkat lunak tersebut adalah FORTRAN (*Compact Visual Fortran*) yang digunakan untuk kompilasi model, GRID95 serta SURFER ver. 8 dari *Golden Software, Inc*. untuk membangun jaringan (*grid*) model. Model hidrodinamik disusun berdasarkan kode dari *EFDC* (*Environmental Fluid Dynamic Code*) yang dikembangkan oleh Hamrick (1992). Hasil perhitungan dari model kemudian diolah menggunakan aplikasi *EFDC Explorer* (Craig, 2010). Aplikasi ini merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk visualisasi grafik berdasarkan hasil keluaran model *EFDC*.

Persamaan-persamaan hidrodinamik pada model *EFDC* merupakan persamaan-persamaan hidrodinamik yang sudah ditransformasikan ke dalam bentuk sistem koordinat sigma. Persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x\left(m_y Hu\right) + \partial_y(m_x Hv) + \partial_z(mw) = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum

$$\partial_t(mHu) + \partial_x\left(m_y Huu\right) + \partial_y(m_x Hvu) + \partial_z(mwu)$$
$$-\left(mf + v\,\partial_x m_y - u\,\partial_y m_x\right)Hv$$
$$= -m_y H\,\partial_x(g\zeta + p) - m_y(\partial_x h - z\,\partial_x H)\,\partial_z p + \partial_z(mH^{-1}A_v\,\partial_z u) + Q_u \quad (2)$$
$$\partial_t(mHv) + \partial_x\left(m_y Huv\right) + \partial_y(m_x Hvv) + \partial_z(mwv)$$
$$-\left(mf + v\,\partial_x m_y - u\,\partial_y m_x\right)Hu$$
$$= -m_x H\,\partial_y(g\zeta + p) - m_x\left(\partial_y h - z\,\partial_y H\right)\partial_z p + \partial_z(mH^{-1}A_v\,\partial_z u) + Q_v \quad (3)$$

Persamaan kecepatan aliran vertikal dalam sistem koordinat sigma

$$w = w^* - z\left(\partial_t\zeta + um_x^{-1}\,\partial_x\zeta + vm_y^{-1}\,\partial_y\zeta\right) + (1 - z)$$
$$\left(um_x^{-1}\,\partial_x h + vm_y^{-1}\,\partial_y h\right) \quad (4)$$

2.2 Kalibrasi

Parameter yang perlu dikalibrasi dalam penelitian ini adalah kekasaran dasar saluran (*bottom roughness*). Kalibrasi dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan perangkat lunak *EFDC Explorer 7.2*. Metode tersebut meliputi permodelan menggunakan kekasaran dasar saluran yang bervariasi. Penentuan kekasaran dasar saluran secara lebih lanjut dilakukan pada tahap validasi.

2.3 Validasi

Validasi dalam penelitian ini menggunakan cara analisis statistik, yakni perhitungan relatif bias. Parameter yang menjadi pembanding adalah kecepatan aliran. Kecepatan aliran hasil permodelan akan dihitung relatif biasnya terhadap kecepatan aliran hasil pengukuran. Perhitungan relatif bias menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Relatif Bias} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \hat{X}_i)}{\sum_{i=1}^{N} X_i} \times 100 \quad (5)$$

di mana $\hat{X}_i$adalah data hasil pemodelan, $X_i$adalah data lapangan, dan N adalah jumlah data.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

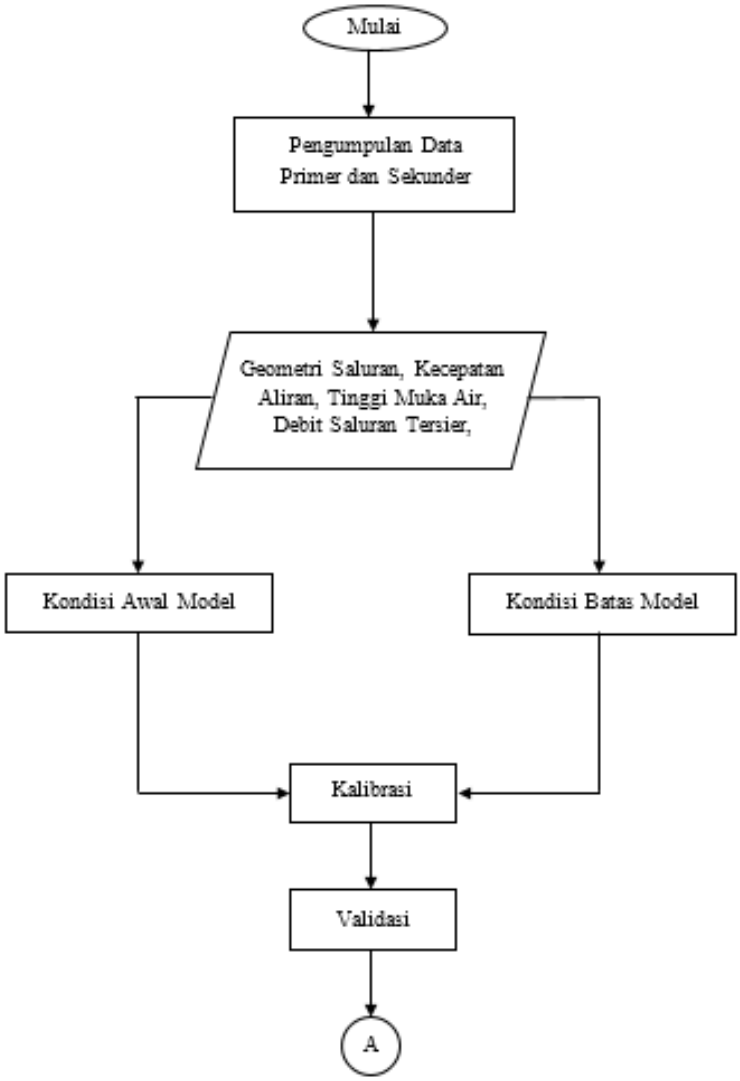
Penelitian dimulai dengan mendapatkan data primer yang didapat melalui pengukuran langsung oleh peneliti menggunakan perangkat *single beam echo sounder*, *current meter*, dan *staff gauge*. Data yang didapat dari pengukuran menggunakan perangkat-perangkat tersebut adalah data geometri saluran primer dan sekunder serta kolam pasang, kecepatan aliran pada saluran primer dan sekunder, fluktuasi muka air di bagian muara saluran primer. Selain mengumpulkan data primer, penelitian ini memerlukan data sekunder yang meliputi peta situasi dan debit aliran pada saluran tersier Unit Terantang. Data sekunder tersebut didapat dari hasil penelitian dan instansi terkait.

Kalibrasi diperlukan untuk menjamin penelitian yang dilakukan mempunyai hasil yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Kalibrasi yang dilakukan berupa penetapan parameter-parameter agar hasil dari penelitian sesuai dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Pada penelitian ini, parameter yang perlu dikalibrasi adalah kekasaran dasar saluran (*bottom roughness*). Kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan metode *trial and error* untuk mendapatkan kekasaran dasar yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

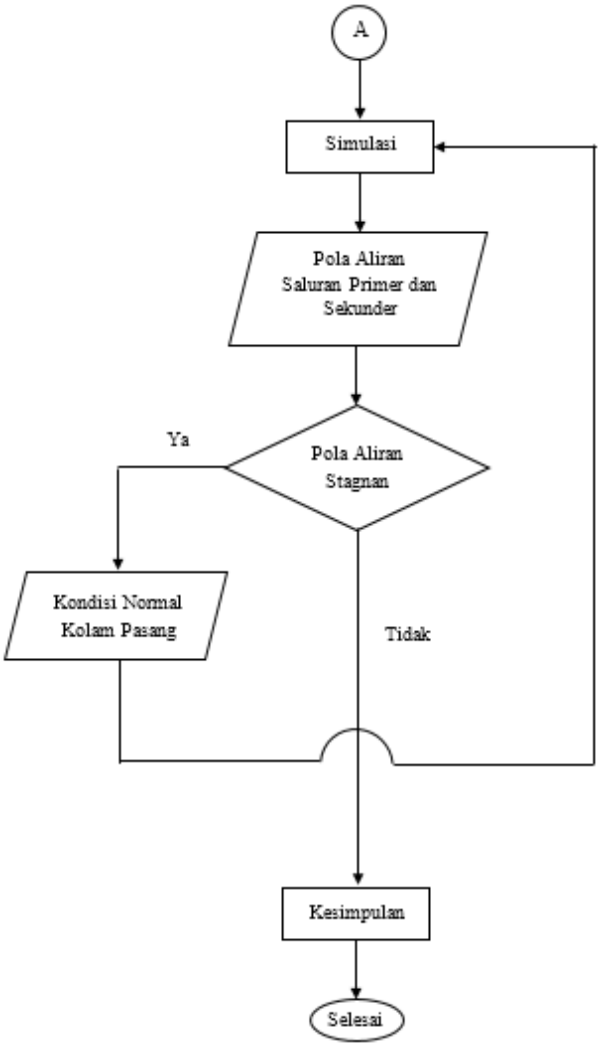
Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi permodelan jika menggunakan kekasaran dasar saluran yang telah didapat. Validasi pada penelitian ini dilakukan dengan analisis statistik. Analisis statistik yang digunakan adalah relatif bias. Kevalidan permodelan ditentukan oleh selisih *overestimate* atau *underestimate* antara hasil permodelan dengan data lapangan. Permodelan dianggap valid apabila selisih *overestimate* atau *underestimate* tidak terlampau besar.

Setelah melakukan validasi, kemudian barulah dilakukan pemodelan pola aliran (hidrodinamika) di saluran primer dan sekunder di Unit Terantang. Model hidrodinamik didasarkan pada model *EFDC*(*Environmental Fluid Dynamic Code*) yang dikembangkan oleh *Tetra Tech, Inc* (*EFDC_DS*) yang umum digunakan pada pemodelan hidrodinamika perairan yang dipengaruhi pasang surut. Model hidrodinamik tersebut akan memberikan gambaran berdimensi dua mengenai pola aliran yang terjadi di saluran primer dan sekunder di Unit Terantang.

Tahap akhir yang akan dilakukan adalah menganalisis pola aliran yang terjadi di Unit Terantang. Pada tahap analisis pola aliran, hasil running program *EFDC*akan memperlihatkan kondisi eksisting untuk pola aliran dan umur air di saluran primer dan sekunder di Unit Terantang. Jika pola aliran yang terjadi berwujud pola aliran stagnan dan umur air di saluran yang relatif lama maka dilakukan penanganan dengan pengerukan kolam pasang. Peneliti perlu melakukan simulasi menggunakan program *EFDC* untuk membuktikan apakah dengan melakukan pengerukan pada kolam pasang mampu mengatasi masalah tersebut. Metode penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. (lanjutan)

3.2 Alat Penelitian

Adapun alat penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perangkat *single beam echo sounder*
2. Perangkat *current meter*
3. Perangkat *staff gauge*
4. *GPS*
5. Perangkat komputer
6. Perangkat lunak *EFDC Explorer 7.2*

3.3 Pengumpulan Data Primer

Data primer yang diperlukan untuk penelitian ini adalah data geometri saluran, kecepatan aliran, dan fluktuasi muka air. Data geometri saluran mencakup geometri saluran primer dan sekunder serta kolam pasang di Unit Terantang. Data kecepatan aliran yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data kecepatan aliran di saluran primer dan sekunder di Unit Terantang. Data fluktuasi muka air yang digunakan dalam penelitian ini adalah fluktuasi muka air di bagian muara saluran Unit Terantang yang berbatasan langsung dengan Sungai Barito. Pengumpulan data primer memerlukan

alat ukur untuk masing-masing keperluan data. Data primer berupa data geometri saluran memerlukan alat ukur *single beam echo sounder*. Data primer berupa kecepatan aliran memerlukan alat ukur *current meter*. Data primer berupa fluktuasi muka air memerlukan alat ukur *staff gauge*.

3.4 Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian ini memerlukan data sekunder. Data sekunder diperoleh dari instansi pemerintah maupun lembaga terkait lainnya. Data sekunder yang diperlukan adalah peta situasi dan debit aliran saluran tersier Unit Terantang.

3.5 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi lapangan lokasi penelitian. Survei lapangan sangat membantu dalam persiapan pengumpulan data primer. Survei lapangan memberikan gambaran mengenai karakteristik lokasi dan hambatan-hambatan yang terdapat di lokasi penelitian. Peneliti mampu mempersiapkan kebutuhan yang diperlukan saat melakukan pengumpulan data primer di lokasi.

3.6 Pengkuran Geometri Saluran

Untuk pekerjaan pengukuran geometri saluran menggunakan metode terestris, dalam hal ini data planimetris (koordinat: x - y) dan ketinggian (elevasi: z) didapat dari pengukuran langsung di lapangan.

Lingkup pekerjaan survei pemetaan meliputi:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pengukuran kerangka horizontal
3. Pengukuran kerangka vertikal
4. Perhitungan dan penggambaran

3.7 Pengukuran Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran rata-rata dapat diperoleh dengan cara mengukur kecepatan aliran pada beberapa titik dari beberapa vertikal pada suatu penampang melintang dengan menggunakan alat ukur arus (*current meter*). Terdapat empat metode pengukuran kecepatan aliran, yaitu metode satu titik, dua titik, tiga titik, dan lima titik. Metode pengukuran kecepatan aliran pada penelitian ini ditentukan berdasarkan kondisi di lapangan saat pengambilan data primer kecepatan aliran.

3.8 Pengukuran Fluktuasi Muka Air

Fluktuasi muka air dapat diperoleh dengan cara melakukan pengukuran menggunakan papan duga muka air (*staff gauge*). Pengukuran dilakukan setiap 4 jam. Hasil pengukuran dapat disajikan dalam bentuk grafik yang memudahkan melihat pola fluktuasi muka air.

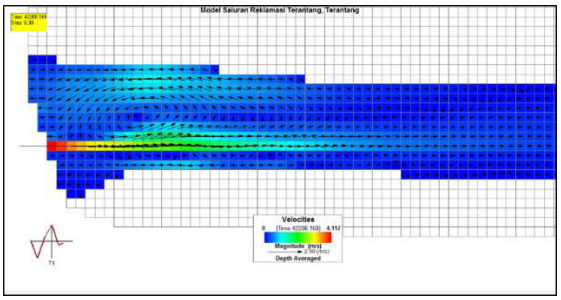
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melakukan running *EFDC Explorer 7.2* untuk dua kondisi, yakni kondisi saluran eksisting dan kondisi saluran dengan kolam pasang yang normal. Tampilan keluaran kecepatan aliran dan umur air dibagi menjadi beberapa segmen untuk memudahkan melihat pola alirannya. Segmen-segmen tersebut dibatasi oleh STA – 00 sampai dengan STA – 33. Jarak antar STA sebesar 280 m. STA dimulai dari bagian hulu saluran Unit Terantang dan diakhiri di bagian kolam pasang.

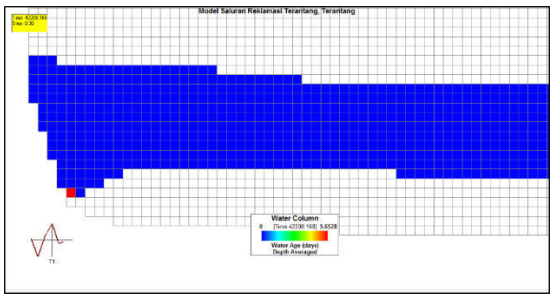
Salah satu keluaran perangkat lunak *EFDC Explorer 7.2* adalah kecepatan aliran (*velocities*). Keluaran tersebut dilengkapi dengan arah vektor kecepatan dan dapat diperlengkap dengan kontur kecepatan. Satuan kecepatan yang digunakan untuk keluaran ini adalah m/detik. Keluaran lain yang

dapat dihasilkan *EFDC Explorer 7.2* adalah keluaran umur air (*water age*). Umur air adalah lamanya air selama di saluran. Umur air berguna untuk mengetahui titik-titik di mana air mengalami kondisi stagnan. Satuan waktu yang digunakan untuk keluaran ini adalah hari.

Berikut beberapa contoh hasil *running EFDC Explorer 7.2*:



Gambar 3. Keluaran KecepatanAliran



Gambar 4. Keluaran Umur Air

Analisis penelitian ini adalah dengan melakukan perbandingan keluaran *running* antara kondisi eksisting dan kondisi kolam pasang dinormalisasi. Parameter yang dibandingkan adalah kecepatan aliran dan umur air. Kedua parameter tersebut dapat memperlihatkan pola aliran stagnan di saluran. Pola aliran dikatakan stagnan apabila kecepatan aliran mendekati 0 m/det serta arah aliran yang tidak beraturan.

4.1 Pola Aliran Pada Kondisi Eksisting Saat Air Pasang

Pada kondisi ini, pola aliran stagnan terdapat di beberapa segmen. Segmen-segmen tersebut adalah segmen STA – 22 sampai STA – 23, segmen STA – 23 sampai STA – 24, segmen STA – 24 sampai STA – 25, segmen STA – 31 sampai STA – 32, dan segmen STA – 32 sampai STA – 33.Khusus pada bagian kolam pasang, umur air pada bagian tersebut adalah umur air maksimum di mana air tersebut berada di kolam pasang selama 5,6528 hari.

4.2 Pola Aliran Pada Kondisi Kolam Pasang Dinormalisasi Saat Air Pasang

Pada kondisi ini, pola aliran stagnan terdapat di beberapa segmen. Segmen-segmen tersebut adalah segmen STA – 21 sampai STA – 22, segmen STA – 31 sampai STA – 32, dan segmen STA – 32 sampai STA – 33.Khusus pada bagian kolam pasang, umur air pada bagian tersebut adalah umur air maksimum di mana air tersebut berada di kolam pasang selama 5,6528 hari.

4.3 Pola Aliran Pada Kondisi Eksisting Saat Air Surut

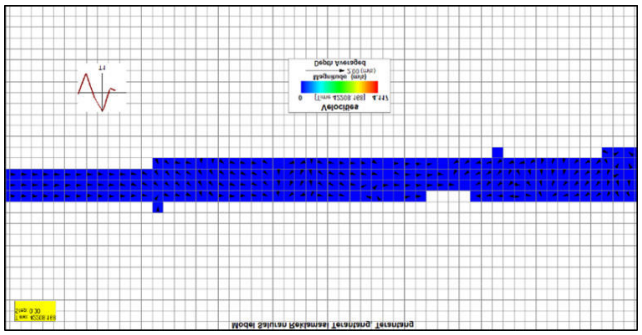
Pada kondisi ini, pola aliran stagnan terdapat di beberapa segmen. Segmen-segmen tersebut adalah segmen STA – 24 sampai STA – 25, segmen STA – 31 sampai STA – 32, dan segmen STA – 32 sampai STA – 33.Khusus pada bagian kolam pasang, umur air pada bagian tersebut adalah umur air maksimum di mana air tersebut berada di kolam pasang selama 5,0815 hari.

4.4 Pola Aliran Pada Kondisi Kolam Pasang Dinormalisasi Saat Air Surut

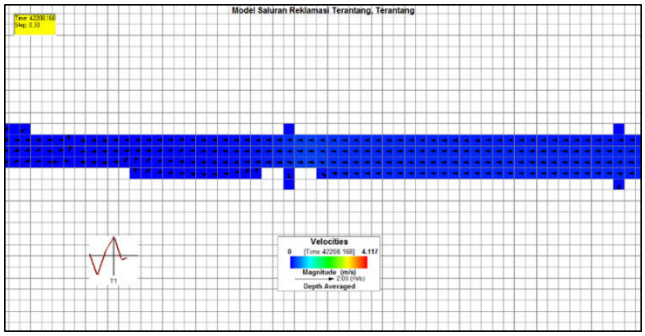
Pada kondisi ini, pola aliran stagnan terdapat di beberapa segmen. Segmen-segmen tersebut adalah segmen STA – 31 sampai STA – 32 dan segmen STA – 32 sampai STA – 33.Khusus pada bagian kolam pasang, umur air pada bagian tersebut adalah umur air maksimum di mana air tersebut berada di kolam pasang selama 5,3117 hari.

Selain pola aliran stagnan, terdapat pola aliran lainnya yang menyebabkan pencucian bahan toksik tidak berjalan secara sempurna. Pola aliran tersebut adalah pola aliran di mana pada saat air pasang, air tidak sampai menuju kolam pasang karena didahului oleh kondisi surut. Pola aliran tersebut terjadi baik pada kondisi eksisting maupun pada kondisi kolam pasang dinormalisasi. Hal tersebut terjadi akibat saluran sekunder yang terlampau panjang sehingga air pasang tidak mampu mencapai seluruh saluran beserta kolam pasang.

Berikut beberapa hasil simulasi pola aliran stagnan dan pola aliran di mana air pasang tidak mampu mencapai seluruh saluran beserta kolam pasang:



Gambar 5. Pola Aliran Stagnan



Gambar 6. Pola Aliran di Mana Air Pasang Tidak Mampu Mencapai Seluruh Saluran Beserta Kolam Pasang

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil identifikasi menunjukkan dimensi saluran Unit Terantang untuk saluran primer memiliki lebar sebesar 50 m, saluran sekunder memiliki lebar sebesar 45 m, saluran tersier memiliki lebar sebesar 5 m, dan kolam pasang memiliki panjang sebesar 400 m, lebar sebesar 300 m. Saluran primer dan sekunder mempunyai kedalaman bervariasi dengan kedalaman maksimum sebesar 4,8 m dan kedalaman minimum sebesar 0,5 m Kedalaman kolam pasang berkisar ± 0,5 m (diukur dari elevasi muka air acuan).Hidrometri saluran Unit Terantang menunjukkan bahwa rentang waktu antara pasang maksimum dengan surut minimum adalah sebesar 32 jam. Selisih antara kedalaman pasang maksimum dengan surut minimum adalah sebesar 1,58 m.
2. Proses permodelan pola aliran saluran Unit Terantang dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder. Proses selanjutnya adalah kalibrasi kekasaran dasar saluran di mana ditetapkan sebesar 0,030. Validasi menunjukkan data hasil permodelan *overestimate* (lebih tinggi) terhadap data lapangan dengan relatif bias sebesar -4,7231. Setelah melakukan validasi, kemudian barulah dilakukan pemodelan pola aliran (hidrodinamika) di saluran primer dan sekunder di Unit Terantang menggunakan *EFDC Explorer 7.2*.
3. Pada kondisi eksisting, terdapat lima segmen pola aliran stagnan saat air pasang dan terdapat tiga segmen pola aliran stagnan saat air surut. Umur air maksimum saat air pasang dan surut terdapat di bagian kolam pasang. Umur air maksimum saat air pasang adalah selama 5,6528 hari dan saat air surut 5,0815 hari.
4. Pada kondisi kolam pasang dinormalisasi, terdapat tiga segmen pola aliran stagnan saat air pasang dan terdapat dua segmen pola aliran stagnan saat air surut. Umur air maksimum saat air pasang dan surut terdapat di bagian kolam pasang. Umur air maksimum saat air pasang adalah 5,6528 hari danpada kondisi air surut 5,3117 hari.
5. Pengembalian kondisi (normalisasi) kolam pasang tidak menyelesaikan secara penuh masalah pola aliran stagnan. Normalisasi kolam pasang hanya mengurangi jumlah pola aliran stagnan di sepanjang saluran primer dan sekunder Unit Terantang.Selain pola aliran stagnan, terdapat pola aliran lainnya yang menyebabkan pencucian bahan toksik tidak berjalan secara sempurna. Pola aliran tersebut adalah pola aliran di mana pada saat air pasang, air tidak sampai menuju kolam pasang karena didahului oleh kondisi surut. Hal tersebut terjadi akibat saluran sekunder yang terlampau panjang sehingga air pasang tidak mampu mencapai seluruh saluran beserta kolam pasang.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2004). *Pemanfaatan Lahan Rawa di Kalimantan Selatan*. BPN Kalimantan Selatan.

Anonim. (2007). *The Environmental Fluid Dynamics Code Theory and Computation Volume 1: Hydrodynamics and Mass Transport*. Tetra Tech, Inc.: Fairfax.

Sri Harto, Br. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Chandrawidjaja, R. (2010). *Hidrologi Rawa*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat Press.

Craig, P.M. (2010). *User's Manual for EFDC Explorer: A Pre/Post Processor for The Environmental Fluid Dynamics Code (Rev00)*. Knoxville: Dynamic Solution Intl.

Dariah, A., dan S. Nurzakiah. (2014). Pengelolaan Tata Air Lahan Gambut. Di dalam buku panduan. *Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Djaenudin, U.D. (2009). Prospek Penelitian Potensi Sumber Daya Lahan di Wilayah Indonesia. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2(4), 243-257.

Istiarto. (2012). *Model Hidrodinamika*. CFD di Bidang Hidraulika Saluran Terbuka.

Langkoke, Rohaya, dan Febriwandy. (2012). Pengaruh Hidrodinamika Terhadap Ketidakstabilan Lereng Pantai di Sepanjang Jalan Penghibur Pantai Losari Kota Makassar. *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik* Vol. 6 No. 1 (2012).

Luknanto, D. (2003). *Model Matematik.* Bahan Kuliah Hidraulika Komputasi Jurusan Teknik Sipil FT UGM Yogyakarta.

Mamenun. (2014). Validasi dan Koreksi Data Satelit TRMM Pada Tiga Pola Hujan di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 15.1 (2014), 13-23.

Mananoma, Tiny., dan W. Soetopo. (2008). Permodelan Sebagai Sarana dalam Mencapai Solusi Optimal. *Teknik Sipil* Vol. 8 No. 3, Juni 2008, 184-192.

Mulyono, A. (2010). Studi Relasi Hidrodinamika Sungai Ciwalen dan Air Tanah Melalui Pendekatan Model (Studi Kasus pada Aliran Sungai Ciwalen Kecamatan Garut Kota). *Widyariset* Vol. 13 No. 2 (2010).

Nazemi, D. (2012). Prospek Pengembangan Penataan Lahan Sistem Surjan di Lahan Rawa Pasang Surut. *Agrovigor* Vol. 5 No. 2 (2012), 113-118.

Noor, M. (2004). *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. Jakarta: PT. Rajagrafindo Persada.

Notohadiprawiro, Tejoyuwono. (2006). *Persoalan Tanah Masam dalam Pembangunan Pertanian di Indonesia.* Makalah Pendukung pada Seminar Pertanian Dies Natalis UGM ke-34.

Pratikno, W.A. (1988). *Hidrodinamika Dasar*. Yogyakarta: BPFE.

Roelse, K. (1988). *Land Reclamation of Lowland in Indonesia, Summary*. TUD Technical University Delft.

Soewarno. (1991). *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Nova.

Subagyo. (2006). Klasifikasi dan Penyebaran Lahan Rawa. Di dalam buku lahan rawa. *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

Subagyo. (2006). Lahan Rawa Pasang Surut. Di dalam buku lahan rawa. *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

Suriadikarta, dan D. Ardi. (2005). Pengelolaan Lahan Sulfat Masam untuk Usaha Pertanian. *Jurnal Litbang Pertanian* 24(1), 36-45.

Triatmodjo, B. (1993). *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.

Widjaja, A. (1997). *Pengelolaan Tanah dan Air di Lahan Pasang Surut*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.