Pemodelan Hidrolika di Sungai Progo Menggunakan SMS 10.1

Hydraulics Modeling in a Progo River Using SMS 10.1

Rino Vendika, Puji Harsanto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Salah satu permasalahan yang terjadi di Sungai Progo adalah terbentuknya erosi dan endapan sedimen di bagian hilir sungai yang menyebabkan perubahan morfologi sungai dalam waktu relative singkat. Hidrolika aliran berperan penting dalam proses agradasi / sedimentasi dan degradasi / erosi dasar sungai). Memperhatikan kondisi tersebut, guna mengetahui potensi kerusakan yang diakibatkan oleh perubahan morfologi sungai maka perlu dilakukan analisa hidrolika yang terjadi karena erupsi Merapi pada Sungai Progo menggunakan *software* SMS 10.1 (*surface water modeling system*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa perubahan hidrolika pada Sungai Progo dengan cara analisis menggunakan *software* SMS 10.1 . Perubahan hidrolika meliputi pola arus, arah arus, dan kecepatan arus pada Sungai Progo. Hasil penelitian menunjukan kecepatan aliran pada daerah sekitar jembatan bantar tidak berbeda jauh dengan penelitian yang dilakukan dilapangan, sedangkan kecepatan tertinggi pada sungai keseluruhan terdapat pada ujung pemodelan. Pola aliran di titik tinjauan cenderung stabil/normal, hal ini karena tidak ada bangunan sungai di sekitar titik tinjauan yang dapat mempengaruhi pola aliran. Pola aliran ditikungan sungai progo dipengaruhi oleh bentuk sungai yang berubah. Kecepatan pada tikungan naik diakibatkan luas penampang basah mengecil.

Kata kunci : SMS (*surface water modeling system*), Pemodelan Hidrolika, Sungai Progo

Abstract. One of the problems in Progo River is the forming of erosion and sedimentation at the downstream that caused change to river morphology. Hydraulics parameters play important role in the process of sedimentation and degradation/erosion at the bottom of the river. Consider these conditions, to examine the potential of the damage by morphology river, we need the analysis of hydraulics condition caused on the Progo River using software sms 10.1 (surface water modeling system*).* The hydraulics parameters include current patterns, flow direction, and flow velocity on the Progo River. The results of the study showed speed flow on the area around the Bantar bridge are not similar the field survey velocity. Flow patterns at the review point tend to be stable / normal, this is because no river buildings around the point of view can affect flow patterns.The flow pattern in the Progo River is influenced by the changing shape of the river. The speed at the bend rises due to the diminished wet cross-sectional area.

Keywords : SMS (surface water modeling system), Modeling of hydraulics, Progo River

1. Pendahuluan

Aliran sungai berasal dari daerah gunung api biasanya membawa material vulkanik yang dapat terendap sepanjang alur sungai tergantung kecepatan aliran dan kemiringan sungai yang curam (Soewarno, 1991).

Sungai Progo adalah sebuah sungai yang mengalir di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai ini berhulu lereng Gunung Sumbing dan Gunung Merapi melintas kearah Tenggara dan bermuara di Pantai Trisik Kabupaten Bantul, panjang sungai utama ± 138 km dan luas DAS 2830 km2 (Mananoma dkk., 2003). Sungai Progo menjadi sumber kehidupan bagi masyarakat sekitar. Masyarakat memanfaatkannya sebagai sumber air bersih irigasi, tempat wisata dan juga penambangan pasir

Hidrolika aliran berperan penting dalam proses agradasi / sedimentasi dan degradasi / erosi dasar sungai (Manonama dkk., 2003). Memperhatikan kondisi tersebut, guna mengetahui potensi kerusakan yang diakibatkan oleh perubahan morfologi sungai maka perlu dilakukan analisa hidrolika dan pergerakan pada Sungai Progo (Harsanto dkk., 2015). Oleh karena itu pada penelitian ini

akan menganalisis hidrolika menggunakan SMS 10.1.

Masalah yang terjadi di Sungai Progo adalah morfologi sungai yang merubah kondisi hidrolika aliran, seperti ketinggian muka air, kecepatan aliran, dan pola aliran. Berdasarkan masalah tersebut penulis menggunakan *software* SMS 10.1 (*Surface Water Modeling System*) untuk merumusan masalah seperti : Bagaimana perubahan hidrolika aliran baik pola, arah, dan kecepatan arus Sungai Progo pada *groundsill* Ngapak hingga *groundsill* Bantar Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta yang meliputi wilayah Nanggulan dan Wates.

Tujuan penelitian hidrolika ini adalah untuk mengetahui perubahan hidrolika aliran di wilayah sesudah *groundsill* Ngapak sampai sebelum *groundsill* Bantar di sungai progo seperti :

1. Ketinggian muka air,
2. Kecepatan aliran,
3. Pola aliran sungai.

Manfaat dari penelitian angkutan sedimen ini adalah sebagai berikut :

a. Dapat memberikan informasi tentang besarnya perubahan pada hidrolika aliran Sungai Progo.
b. Dapat dimanfaatkan sebagai refrensi untuk memprediksi perubahan Sungai Progo.

Pada penelitian ini permasalahan penulis batasi pada beberapa hal berikut ini.

a. Segmen sungai yang diteliti mulai *groundsill* Ngapak hingga *groundsill* Bantar.
b. Pada penelitian ini hanya meninjau pola hidrolika dan tidak meninjau pola erosi sedimentasi sungai.

2. Teori

Penelitian mengenai software SMS (*surface water modeling system*) dan analisis hidrolika telah banyak dilakukan dengan judul, metode dan tempat yang berbeda-beda. Tetapi parameter yang digunakan dalam penelitian tetap sama, yaitu mengenai perubahan hidrolika baik pola aliran, arah aliran, dan kecepatan aliran. *Surface water modeling system* dapat digunakan untuk menganalisis sungai dan pantai. Perubahan hidrolika berbeda-beda sesuai kondisi pasang surut air. Nilai kecepatan di lapangan cenderung memiliki kesamaan dengan hasil simulasi. Simulasi dapat dapat dilakukan dengan adanya *groundsill* atau tanpa *groundsill* untuk mendapatkan hasil yang baik. Nilai *manning* sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi.

Hidrometri

Hidometri adalah cabang ilmu (kegiatan) pengukuran air, atau pengumpulan dan dasar bagi analisis hidrologi (Brotowiryatmo, 1993). Dalam pengertian sehari-hari, kegiatan hidrometri pada sungai diartikan sebagai kegiatan untuk mengumpulkan data mengenai sungai, baik yang menyangkut tentang ketinggian muka air maupun debit sungai serta serdimentasi atau unsur aliran lain. Beberapa pengukuran yang dilakukan dalam kegiatan hidrometri adalah sebagai berikut :

a. Kecepatan aliran
b. Penggukuran tinggi muka air
c. Pengukuran lebar saluran
d. Pengukuran debit

Pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya adalah pengukuran menggunakan pelampung (*float*). Pelampung digunakan sebagai alat pengukuran kecepatan aliran apablia diperlukan kecepatan aliran dengan tingkat ketelitian yang relatif kecil. Hitung kecepatan aliran sungai dengan mengalikan antara jarak titik pengamatan dengan waktu tempuh rata-rata (Triatmodjo, 1993).

Kecepatan aliran (v) dapat dihitung dengan :

$$v = \frac{L}{t} \text{ (m/d)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.1)$$

Keterangan :

L = jarak

t = waktu

Batimetri

Batimetri adalah pengukuran kedalaman laut dan memetakannya

berdasarkan kondisi dan topografi dasar laut (Thurman, 2004). Sebuah peta batimetri umumnya menampilkan relief lantai atau dataran dengan garis-garis kontur (*contour lines*) yang disebut kontur kedalaman (*depth contours* atau *isobath*), dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan

Teori Dasar *Resources Management Associates*

RMA2 adalah sebuah modul yang ada dalam aplikasi software SMS 10.1 untuk memodelkan hidrodinamika 1D/2D menggunakan metode elemen hingga (Fahmi, 2010). Model tiga dimensi (3D) jauh lebih baik jika dibandingkan dengan model dua dimensi (2D) dalam Pemodelan hidrodinamik, hal ini disebabkan aliran air tidak konstan terhadap kedalaman (Cahyana, 2005).

Resources Management Associates (RMA2) merupakan model hidrodinamik numerik dua dimensi untuk rata-rata kedalaman dengan metode elemen hingga. RMA2 menghitung solusi elemen hingga untuk bentuk *Reynold* dari persamaan *Navier-Stokes* untuk aliran turbulensi dan koefisien viskositas olakan digunakan untuk mendefinisikan karakteristik turbulensi. Sistem persamaan yang digunakan dalam RMA2 terdiri dari dua persamaan gerak dalam persamaan *Cartesian* (King, 2009). Persamaan umum oleh RMA2 dipecahkan dengan mengikuti rumus-rumus berikut ini (Aquaveo,2014).

$$h + \frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho}\left(E_{xx}\frac{\partial u^2}{\partial x^2} + E_{yy}\frac{\partial u^2 C}{\partial y^2}\right) + gh\left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gun^2}{\left(1.486h^{\frac{1}{6}}\right)^2} + (u^2 + \mathrm{v}^2)^{1/2} - \zeta Va^2 \sin\psi + 2h\omega v \sin\phi = 0 \quad \ldots\ldots (2.2)$$

$$h + \frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho}\left(E_{xx}\frac{\partial u^2}{\partial x^2} + E_{yy}\frac{\partial u^2 C}{\partial y^2}\right) + gh\left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gun^2}{\left(1.486h^{\frac{1}{6}}\right)^2} + (u^2 + \mathrm{v}^2)^{1/2} - \zeta Va^2 \sin\psi + 2h\omega v \sin\phi = 0 \quad \ldots\ldots (2.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad \ldots (2.4)$$

Dimana :
h = kedalaman air
u,v = kecepatan lokal dalam kordinat kartesian x,y
t = waktu
ρ = densitas fluida
E = koefisien viskositas olakan
g = percepatan gravitasi
z = elevasi dasar laut
n = koefisien kekasaran manning
ζ = koefisien gesekan angin empiris
Va = kecepatan angin
Ψ = arah angin
ω = laju rotasi angular bumi
φ = garis lintang local

Persamaan-persamaan tersebut dapat diselesaikan melalui metode elemen hingga dengan menggunakan Galerkin Method. Elemen yang digunakan berupa garis satu dimensi, segi empat atau sisi melengkung. Fungsi dari bentuk elemen kuadratik untuk kecepatan dan linear untuk kedalaman. Integral Gaussian dipakai untuk pengintegrasian persamaan.

3. Metode Penelitian

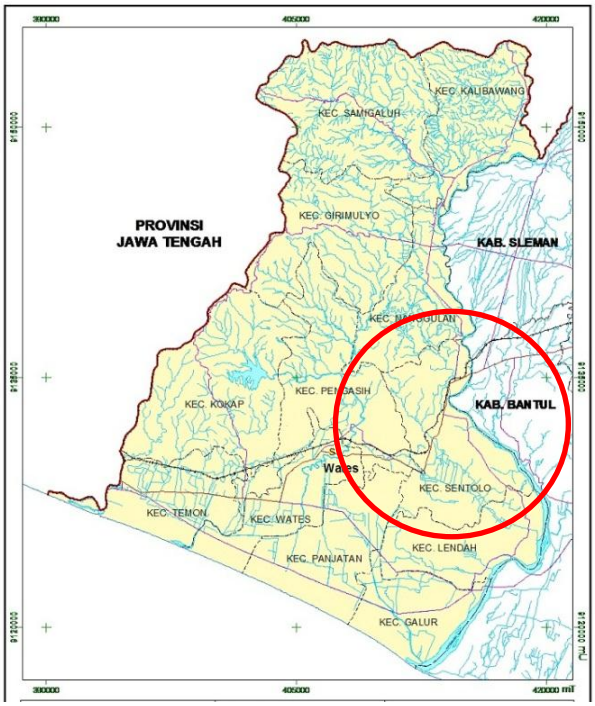
Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui beberapa perubahan hidrolika pada Sungai Progo dengan cara analisis menggunakan software SMS 10.1 (*Surface Water Modeling System*).

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Sungai Progo mulai dari *groundsill* Ngapak sampai *groundsill* Bantar. Data yang diambil berupa

data hidrometri dan batimetri. Lokasi penelitian dapat ditunjukkan dalam lingkaran merah pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian Sungai Progo hilir

Data penelitian

Data-data yang didapatkan berupa, titik koordinat sungai disetiap elevasi, kedalaman/elevasi penampang sungai dan debit sungai. Pengambilan peta topografi RBI Yogyakarta. Debit sungai diambil dari data debit harian selama 1 pada bulan November di Stasiun Hujan Duwet pada tahun 2010.

Data yang diambil dari tanahair.indonesia.go.id berupa kontur peta RBI Yogyakarta, kemudian data kontur akan diperkecil ke dalam ruang lingkup DAS sungai progo dengan menggunakan ArcGIS 10.1. Selanjutnya di convert ke dalam format AutoCad. Data yang dapat diimpor ke dalam program SMS 10.1 berupa file AutoCad (*dwg,dxf), file gambar (*jpeg), selain itu juga dapat berupa koordinat dan elevasi dalam bentuk *notepad* (*xyz). File

yang akan diinput kali ini adalah file *notepad* (*xyz) yang sudah diconvert dari AutoCad.

Tabel 3.1 Contoh input SMS 10.1 Berupa koordinat dan elevasi

X	Y	Elevasi
413338,8	9143823,6	97,4
413349,9	9143823,6	97,3
413360,9	9143812,6	96,8
413372,0	9143790,5	96,2
413383,0	9143779,4	95,7
413394,1	9143768,4	95,3

413405,1	9143757,4	94,8
413449,2	9143757,4	93,9
413493,3	9143768,6	93,0
413504,4	9143757,5	92,5

Debit aliran sungai, diberi notasi Q, adalah jumlah air yang mengalir melalui penampang melintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (Triatmodjo, 2008).

Tabel 3.2 Data debit harian di Stasiun Duwet pada bulan November 2010

Tanggal	Debit m^3/s	Tanggal	Debit m^3/s	Tanggal	Debit m3/s
1	154,61	11	139,64	22	226,07
2	140,97	12	134,37	23	214,67
3	136,99	13	153,22	24	261,83
4	105,81	14	188,08	25	231,03
5	100	15	219,52	26	232,7
6	131,76	16	153,22	27	185,05
7	151,84	17	183,55	28	185,05
8	144,18	18	163,06	29	201,96
9	182,05	19	165,92	30	234,37
10	179,06	20	173,17	31	227,72
11	139,64	21	192,65		
Maksimum			234,37		
Minimum			100		
Rata-rata			177,23		

Pemodelan Hidrolika

Sungai Progo pada pias *groundsill* Ngapak sampai *groundsill* Bantar akan disimulasikan dengan *software* SMS 10.1 yang menganalisis kecepatan dan muka air. Analisa menggunakan metode elemen hingga dengan model satu dimensi atau dua dimensi pada kondisi *dynamic*. Kondisi *dynamic* merupakan kondisi dimana kecepatan, kedalaman, dan debit aliran berubah terhadap waktu. Variabel dari aliran air berubah menurut waktu disebut sebagai aliran (*unsteady flow*) (Mustofa, 2015). Hasil dari pemodelan tersebut akan dibahas pada penelitian ini.

Geometri model

Berdasarkan dari data *notepad* yang berisi koordinat dan elevasi sungai selanjutnya dilakukan analisa hidrolika yang terjadi pada pias Sungai Progo yang diteliti. Hal ini dilakukan dalam upaya mendapatkan informasi tentang elevasi muka air, kecepatan aliran, dan kondisi dasar Sungai Progo pada pias *Groundsill* Ngapak sampai *Groundsill* Bantar. Koordinat sungai harus sesuai dengan kondisi sebenarnya dengan menggunakan sistem proyeksi koordinat UTM (*Universal Transverse Mecator*). Hal ini dilakukan agar pemodelan dapat ditampilkan pada Google Earth.

Membuat Model Model dalam SMS Versi 10.1

Pemodelan pada SMS versi 10.1 menggunakan modul RMA2 (*Resources Management Associates*) yang bertujuan untuk mensimulasikan elevasi muka air, komponen arus horizontal subkritis, aliran permukaan dan kecepatan aliran.

Membuat daerah domain yang akan di modelkan

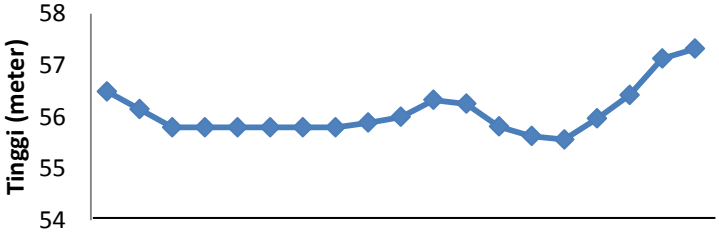
Langkah yang perlu dilakukan adalah membuat garis pembatas daerah yang di modelkan. Bisa persegi atau semi *circle* atau sesuai keinginan kita. Bentuk aliran sungai nantinya akan menjadi acuan untuk seluruh proses pemodelan. Model awal akan dirubah menjadi *mesh modul* agar dapat disimulasikan dan proses. Jika sudah tidak ada kesalahan, maka selanjutnya adalah *Run* RMA2.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data debit harian pada bulan November di Stasiun Hujan Duwet pada tahun 2010. Hasil contoh pemodelan kali ini hanya mengambil di daerah 50 meter dengan lebar sungai 105,63 meter sebelum jembatan Bantar (Gambar 4.1).

Running dilakukan selama 1 hari dengan 24 tahapan (*step*). Hasil yang diperoleh dari *running* SMS yaitu, kecepatan aliran, elevasi muka air, kedalaman air dan pola aliran. Berikut ini akan dipaparkan hasil *running* SMS secara detail pada lokasi tersebut.

Gambar 4.1 Titik tinjauan sebelum jembatan Bantar



Gambar 4.2 Penampang pada titik tinjauan

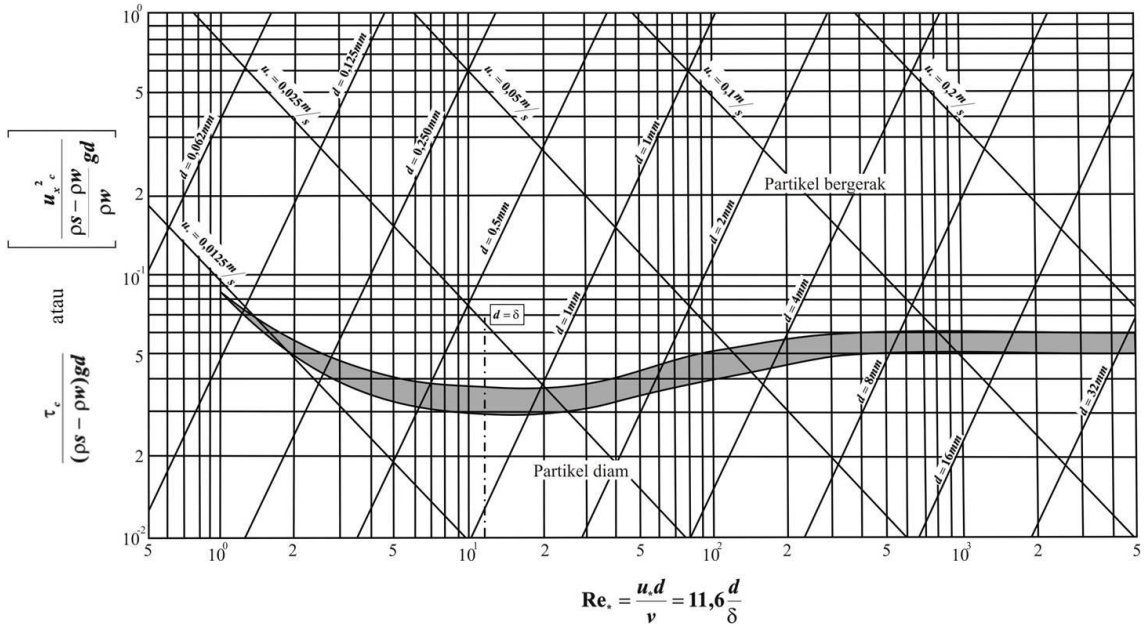
Parameter Aliran

Hasil *running* di pengaruhi oleh berbagai parameter-parameter yang diinput ke dalam SMS, yang paling mempengaruhi hasil pemodelan ini adalah nilai n (*Manning*) dan ε (*Eddy Viscosity*). Nilai kekasaran *manning* untuk saluran yang ditumbuhi tanaman menurut Chow (1997) adalah 0,03-0,5. Nilai n (*Manning*) 0,2 pada menu *material properties* dan 0,045 pada *model control*, sedangkan Nilai ε (*Eddy Viscosity*) yang diambil sebesar 10000 karena perbedaan elevasi yang signifikan dari satu titik ke titik berikutnya.

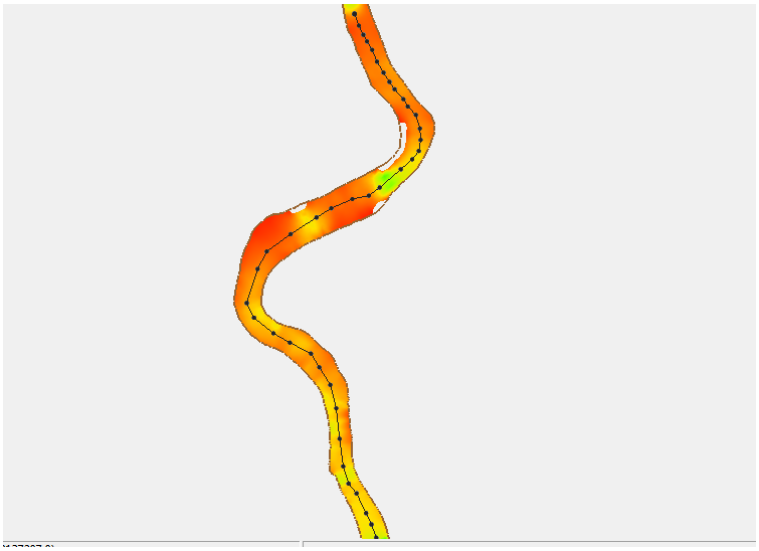
Kecepatan aliran

Faktor penting penyebab gerusan adalah kecepatan aliran. Kecepatan aliran juga berpengaruh terhadap hasil sedimen (Adinegara, 2005). Semakin besar kecepatan aliran, maka akan membuat kecepatan geser semakin bertambah. Kecepatan aliran juga dipengaruhi oleh besar atau kecilnya debit yang datang dari hulu. Pada suatu titik dipengaruhi oleh besar debit aliran dari hulu dan luas tampang basahnya, dengan debit tertentu apabila luas tampang basah pada titik tersebut lebih kecil maka kecepatan aliran akan lebih besar, Sedangkan besar atau kecilnya luas tampang basah dipengaruhi oleh kedalaman air (*water depth*). Menurut Legono (1996), umumnya pengaruh arus sekunder menyebabkan kecepatan pada sisi dalam belokan lebih kecil dari sisi luar belokan. Menurut Seibold dan Berger (1993) bahwa kecepatan arus dapat mempengaruhi pergerakan sedimen, dimana ukuran butir sedimen sebesar 1 mm dapat bergerak jika kecepatan arus minimal sebesar 0,5 m/detik.

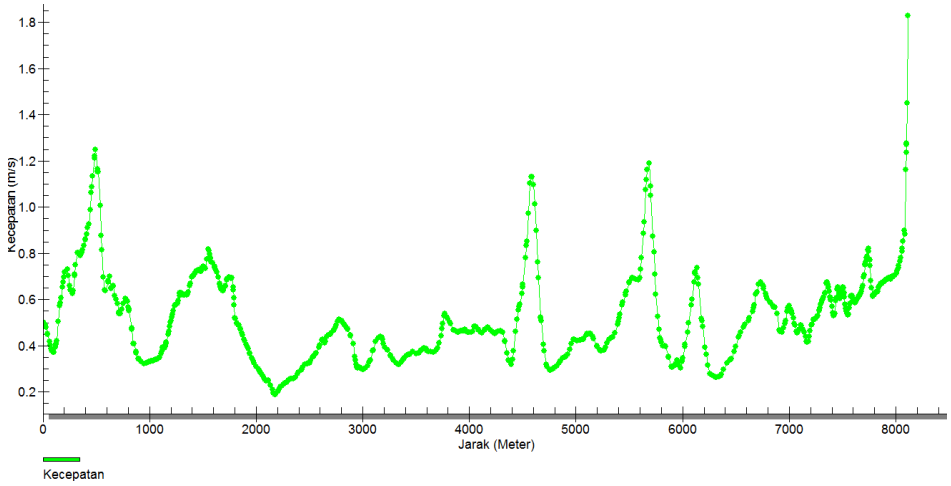
Kecepatan tertinggi selama 24 tahapan (*step*) berada pada lokasi jembatan Bantar sebesar 0,70 m/detik, dengan rata-rata diameter material sekitar jembatan Bantar adalah 0,218 mm (Arnel, 2017). kecepatan tersebut relative kecil sehingga aman terhadap potensi gerusan. Menganalisa kecepatan aliran merupakan tahap awal menentukan penanganan terhadap gerusan (Shaleh, 2016). Perubahan pada dasar sungai diakibatkan oleh pergerakan sedimen yang terbawa oleh arus sungai dan pengendapan terjadi karena material jauh lebih berat dibanding gaya penyebab pergerakan (Humairah, 2014). Bangunan peredam energi dapat melindungi dasar saluran dari gerusan, terutama pada bagian hilir (Pamungkas, 2014).



Gambar 4.3 Grafik Shield



Gambar 4.4 Pengambilan titik tinjauan kecepatan pada waktu maksimum di tengah sungai

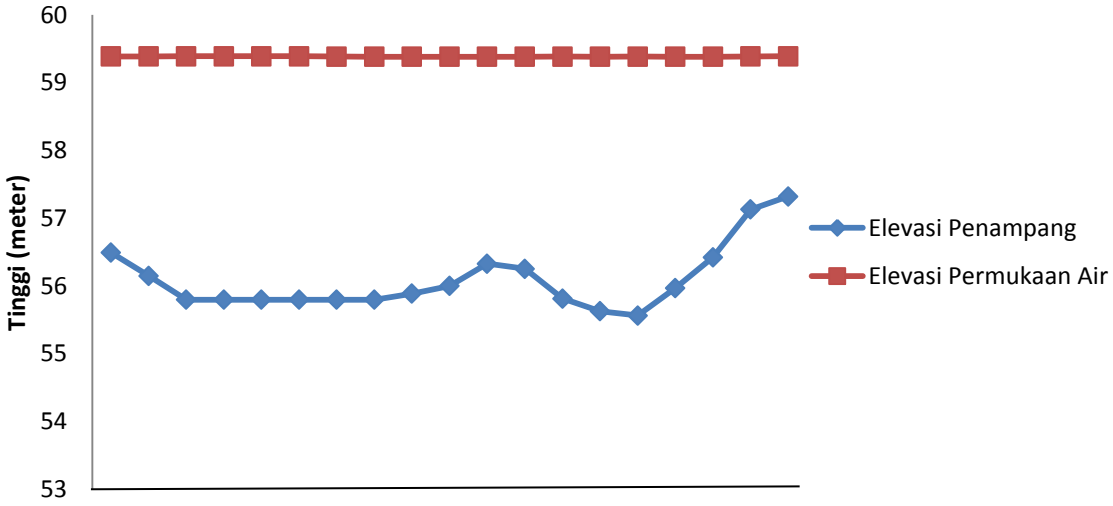


Gambar 4.5 Kecepatan pada waktu maksimum di tengah sungai

Kecepatan seluruh aliran dari hulu ke hilir di tengah sungai dapat dilihat pada Gambar 4.5 Peningkatan kecepatan terjadi jika debit naik dan luas tampang basah pada titik tersebut lebih kecil maka, kecepatan aliran juga akan naik sehingga terjadi potensi erosi sedimentasi pada titik tersebut, sedangkan jika debit kecil dan luas tampang basah besar maka potensi erosi sedimentasinya menjadi mengecil. Besar atau kecilnya luas tampang basah dipengaruhi oleh kedalaman air (*water depth*).

Elevasi permukaan air (*water surface elevation*)

Elevasi permukaan air dari hulu ke hilir cenderung menurun. Permukaan air menurun diakibatkan tidak adanya penghalang pada ujung pemodelan, maka kecepatan semakin tinggi dan membuat elevasi permukaan pada ujung pemodelan menjadi rendah. Hasil pemodelan akan berubah jika pada ujung sungai diberi groundsill atau elevasi dinaikan, maka kecepatan akan cenderung lebih kecil dan elevasi permukaan air tinggi. Elevasi permukaan air pada daerah sekitar jembatan Bantar tertinggi adalah 59,38 meter dengan elevasi dasar sungai 57,31 meter.



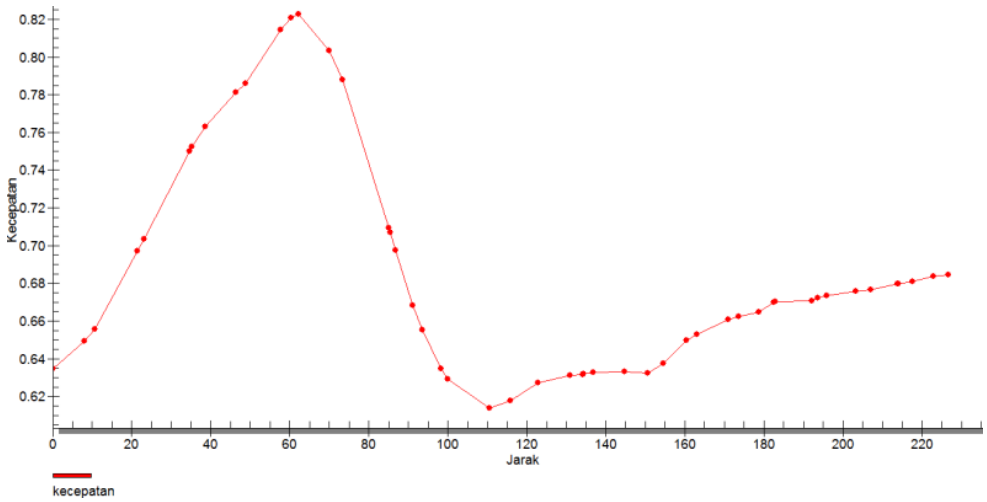
Gambar 4.6 Elevasi permukaan air terhadap penampang sungai pada waktu maksimum

Elevasi permukaan air pada awal *step* sangat tinggi karena pada grafik tersebut awal *step* merupakan salah satu kelemahan dari SMS 10.1, yaitu tidak dapat menganalisis elevasi aliran yang tidak terdapat aliran air didalamnya, sehingga cara mengatasinya dengan memberikan elevasi buatan pada ujung pemodelan , yaitu elevasi yang paling besar pada pemodelan tersebut kemudian menurun bertahap sampai elevasi yang diinginkan. Aliran dianggap stabil setelah *running* berjalan sempurna dan nilai dari setiap hasil *running* mencapai batas wajar.

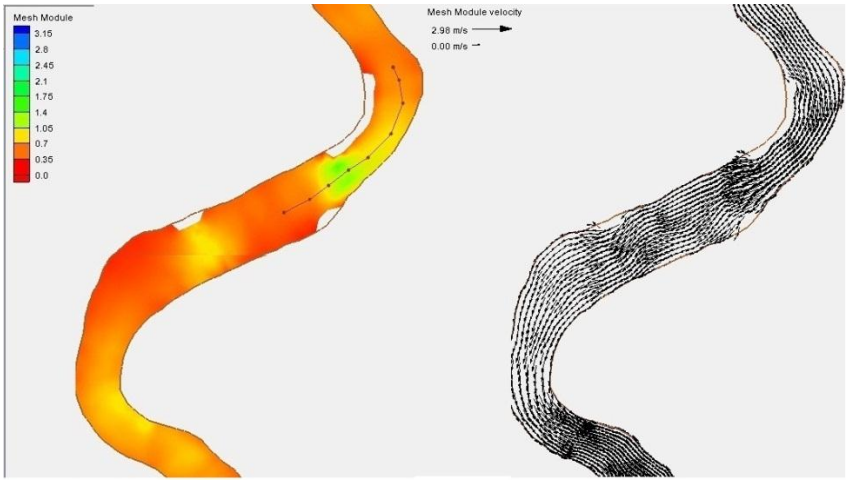
a. Pola aliran pada titik tinjauan dan tikungan

Pada Gambar 4.7 di titik tinjauan pola aliran terlihat normal. Hal ini dikarenakan elevasi pada titik tinjauan perbedaannya tidak begitu besar, sehingga tidak mempengaruhi pola aliran air. Berbeda dengan pola aliran pada Gambar 4.8 ditikungan, pola aliran berbelok karena kecepatan ditikungan naik diakibatkan luas tampang basah lebih kecil menyebabkan gerusan pada sisi luar sungai dan endapan sedimen pada sisi dalam sungai. Pada Gambar 4.9 juga terdapat ruang kosong yang artinya elevasi dasar sungai lebih tinggi pada ruang tersebut dan tidak ada air.

Gambar 4.7 Vektor kecepatan aliran dititik tinjauan



Gambar 4.8 Kecepatan aliran di sekitar titik tinjauan



Gambar 4.9 Pola aliran di tikungan dengan warna dan vektor

Gambar 4.10 Pola aliran di tikungan

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pemodelan menggunakan software SMS 10.1 di Sungai Progo Hilir bagian setelah groundsill Ngapak sebagai hulu dan sebelum groundsill Bantar sebagai hilir, maka beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian sebagai berikut :

a. Kecepatan aliran tertinggi pada daerah sekitar jembatan Bantar 0,70 m/detik, kecepatan tersebut relatif kecil sehingga aman terhadap potensi gerusan.
b. Elevasi permukaan air tertinggi dititik tinjauan 59,38 meter, dengan elevasi dasar sungai 57,31 meter.
c. Kedalaman aliran (*water depth*) tertinggi titik tinjauan sebesar 3,82 meter, sedangkan terendah sebesar 2,89 meter.
d. Pola aliran di titik tinjauan cenderung stabil/normal, hal ini karena tidak ada bangunan sungai di sekitar titik tinjauan yang dapat mempengaruhi pola aliran.
e. Pola aliran di belokan sungai progo dipengaruhi oleh bentuk sungai yang berubah. Kecepatan pada belokan naik diakibatkan luas penampang basah mengecil.

6. Daftar Pustaka

Adinegara, S., 2005, Volume Angkutan Sedimen Dipengaruhi Oleh Kecepatan (Kajian Laboratorium), *Media Komunikasi Teknik Sipil dan Lingkungan*, 13(2), 94-105.

Aquaveo, 2014, *SMS User Manual (v11.1)*, Utah, Aquaveo.

Arnel, Y.P., 2017, *Studi Morfologi Sungai Pada Sungai Progo Hilir*, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Cahyana, C., 2005, Model Hidrodinamika Laut, *Buletin Limbah*, 9(2), 24-31.

Chow, V.T., 1997, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.

Fahmi, M.B., 2010, *Modul Pelatihan Surface water Modeling System (SMS) 11.1*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Harsanto, P., Ikhsan, J., Pujianto A., Hartono, E., Fitriadin, A., Kuncoro, A.H.B., 2015, *Karakteristik Bencana Sedimen Pada Sungai Vulkanik*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil V, Surakarta, 19 Mei 2015, H210-H217.

Brotowiryatmo, S.H., 1993, *Analisi Hidrologi, Gramedia Pustaka Utama*, Jakarta.

Humirah, A.M., 2014, Analisis Hidrolika Bangunan Krib Permeabel Pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2 (3), 382-388.

King, I., 2009, *Users Guide to RMA2 version 4.5* US Army, Engineer and Development Center – Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory, Wex Tech System. New York.

Legono, D., 1996, *Modul Kuliah Teknik Sungai*, Universitas Gadjah Mada,Yogyakarta.

Manonama, T., Legono, D., Rahardjo, A.P., 2003, *Fenomena Alamiah Erosi dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir*, Jurnal dan Pengembangan Keairan, 10(1), 1-15.

Mustofa, M.J., 2005, Analisis Hidrologi dan Hidrolika pada Saluran Drainase Ramanuju Hilir Kotabumi (Menggunakan Program HEC-RAS), *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3 (2), 303-312.

Pamungkas, E.J.W., 2014, Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe USBR-IV (Uji Model Laboratorium), *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3), 389-396.

Shaleh, C., dan Saputra, A,.H,. 2016, Penggunaan Bendung Konsolidasi Sebagai Kontrol Muka Air Untuk Mengurangi Resiko Longsor Palung Sungai Brantas Di Kampus III Universitas Muhammadiyah Malang, *Media Teknik Sipil* , 14(2), 130-139.

Siebold, E. and Berger, W.H., 1993, *The Sea Floor. An Introduction to Marine Geology*. Second Edition. Springer - Verlag Berlin. Jerman.

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

Thurman, H.V and Alan P.T., 2004. *Introductory Oceanography.10ed*. Pearson Education, Inc. New Jersey.

Triatmodjo, B., 1993, *Hidraulika I*, Beta Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.

.