

# Analisis Kapasitas Tampang Sungai Winongo dengan SMS AQUAVEO 10.1

*Full Bank Capacity Analysis of The Winongo River by SMS AQUAVEO 10.1*

**Muhammad Fikry Al Tarsyah, Puji Harsanto**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Kapasitas tampang tiap sungai berbeda-beda sesuai dengan karakteristik sungai. Penelitian ini dimaksudkan untuk memetakan kapasitas tampang Sungai Winongo. Sungai terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan panjang sungai  $\pm 35,6$  km dan berhulu di daerah Kaliurang dan bermuara di Sungai Opak pada daerah Kretek. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan simulasi RMA2 pada *software* SMS AQUAVEO 10.1 dengan data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I Yogyakarta (BBWSSO-DIY). Data berupa cross hasil pengukuran dan Skema debit banjir Sungai Winongo. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa Sungai Winongo mempunyai kapasitas yang berbeda-beda di tiap segmen. Hasil mengikuti debit langsung pada tampang adalah  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $67 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ . Debit kapasitas tampang Sungai Winongo mendekati debit kala ulang 2 tahun dan 10 tahun.

Kata – kata kunci: elevasi muka air, kapasitas tampang sungai, debit, kala ulang, RMA2.

**Abstract.** *The capacity of each river looks different according to the characteristics of the river. This research was intended to map the appearance capacity of the Winongo River. The river is located in the Province of Yogyakarta Special Region with a river length of  $\pm 35.6$  km and upstream in the Kaliurang area and empties into the Opak River in the Kretek area. The method used is by performing an RMA2 simulation on the SMS AQUAVEO 10.1 software with secondary data obtained from the Central Hall of the Serayu River Opak D.I Yogyakarta (BBWSSO-DIY). Data in the form of cross measurement results and Scheme of the Winongo River flood discharge. The modeling results show that Winongo River has different capacities in each segment. The results of the direct discharge on the look were  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $67 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ , and  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ . The discharge capacity of the Winongo River approached a 2-year and 10-year return period.*

*Key words: water surface elevation, full bank capacity, discharge, return period, RMA2.*

## 1. Pendahuluan

Sungai Winongo terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Panjang sungai  $\pm 35,6$  km dan dengan berhulu didaerah Kaliurang atau sekitar Turi/Pakem dan bermuara di Sungai Opak pada daerah Kretek. Perkembangan kota Sleman dan Yogyakarta menyebabkan tekanan laju aliran air terhadap Sungai Winongo semakin meningkat. Aktivitas pertanian, industri, dan limbah perkotaan menyebabkan kualitas lingkungan Sungai Winongo mengalami penurunan. Kualitas perairan sungai penting untuk dipantau secara terus menerus. Kualitas perairan yang mulai mengalami degradasi sehingga pengamatan dan monitoring perlu untuk dilakukan.

Pada saat musim hujan, sungai memiliki aliran yang cukup besar dan sering menimbulkan banjir yang menggenangi daerah bantaran sungai karena banyaknya pemukiman penduduk yang dibangun pada bantaran sungai. Hal ini menyebabkan fungsi tata guna lahan berubah dan dapat berdampak pada meluapnya air sungai karena penampang Sungai Winongo yang semakin sempit tidak bisa menampung air secara optimal. Oleh karena itu, alur sungai biasanya menerima sejumlah air limpasan yang berawal dari aliran permukaan, aliran bawah tanah dan aliran antara Akibat banjir menyebabkan kerusakan, kerugian materi, korban jiwa, dan menghambat kegiatan sosial

ekonomi masyarakat. Salah satu sungai bermasalah adalah Sungai Winongo.

Penelitian ini menganalisis kapasitas tampang di Sungai Winongo. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik program Software SMS AQUAVEO 10.1 untuk memodelkan kapasitas tampang. Pemodelan hidraulika menggunakan analisis numerik dengan program komputer dapat digunakan secara efektif untuk simulasi aliran air sehingga dapat menganalisis perilaku hidraulika dan kualitas air pada suatu saluran. Menurut Wardhani (2012) simulasi numerik dapat menggambarkan keadaan nyata dari suatu kondisi apabila terdapat parameter-parameter yang memadai dan diperlukannya validasi data berdasarkan data lapangan yang ada. Penelitian ini dilakukan dalam rangka meninjau kapasitas tampang sungai akibat permasalahan banjir yang terjadi pada Sungai Winongo.

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.

Analisa pola arus dan sedimentasi di pantai Losari Makasar dilakukan oleh Suyuti (2006). Hasil yang diperoleh menunjukkan kecepatan dan nilai sedimen berbeda-beda sesuai kondisi pasang surut. Dilokasi yang berbeda, analisa sedimen menggunakan *surface water modeling system* juga dilakukan di muara kali porong oleh (Riyadi dkk, 2013). Memprediksi pola aliran dan kecepatan juga bisa menggunakan SMS seperti yang dilakukan di muara kali progo oleh Kurniawan (2004). Kesamaan dari berbagai penelitian yang telah dilakukan adalah debit dan pasang surut air laut yang menyebabkan elevasi muka air berubah dapat mempengaruhi kecepatan. Pola aliran dan nilai sedimen. Simulasi 2-dimensi transport sedimen dilakukan oleh Nurhady (2008), Kesalahan hasil simulasi yang diakibatkan karena kesalahan input koefisien *manning* masih dapat ditolerir, karena dengan perubahan 100 % koefisien *manning*, kecepatan aliran hanya berubah 15 %, demikian halnya juga

dengan koefisien difusi turbulen. Hasil mengenai pengaruh pola aliran terhadap perubahan morfologi sungai oleh Aristi (2013), nilai kecepatan di sisi luar belokan sungai lebih kecil daripada di sisi dalam belokan sungai dan distribusi kecepatan di lapangan memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi. LeFavour dan Alsdorf (2005) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan nilai kemiringan (*slope*) dan debit (*water discharge*). Penelitian ini dilakukan di Sungai Amazon, Amerika Selatan. Dalam penelitian digunakan alat berupa *shuttle radar topography (SRTM)* guna melakukan pencitraan untuk menggambarkan lokasi penelitian. Talumepa dkk. (2017) melakukan analisa mengenai debit banjir dan tinggi muka air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara yang biasanya sungai tersebut sering meluap dan membanjiri kawasan hilir DAS. Analisa dilakukan dengan mencari frekuensi hujan dengan metode *Log Pearson III* yang kemudian dilakukan simulasi hujan aliran air dengan *HSS Synder* menggunakan *software HEC-HMS*. Debit puncak yang didapat dari hasil analisa kemudian dimasukkan kedalam software *HEC-RAS* untuk simulasi tinggi muka air.

Penelitian di daerah sekitar pelabuhan menggunakan SMS tidak sedikit yang menggunakannya. Penelitian pola arus pasang urut di daerah pelabuhan salah satunya dilakukan oleh (Supiyati dkk, 2012), Pola sirkulasi arus di pelabuhan pada berbagai kondisi pasut terlihat adanya kesamaan pola. Model sebaran panas air kanal pendingin instalasi pembangkit listrik ke badan laut dilakukan oleh Cahyana (2011), dalam penelitiannya arah dan kecepatan arus hasil pemodelan dan hasil pengukuran dilapangan menunjukkan selisih yang tidak terlalu signifikan.

Terdapat beberapa metode dalam menentukan kapasitas tampang pada suatu sungai. Dengan adanya beberapa metode ini, dapat diperoleh metode yang digunakan. Metode evaluasi kapasitas penampang sungai digunakan yaitu analisa hidrologi yang menggunakan data curah hujan sebanyak 3 data di lokasi berbeda selama 15 tahun yang

kemudian dianalisa menggunakan metode polygon thiesen. (Dimas Wisudho dkk,2017).

Dalam menentukan debit aliran pada sungai terdapat beberapa metode yang menjadi acuan dalam penentuan debit aliran sungai. Penelitian ini menggunakan software HEC-RAS untuk menganalisis kapasitas tampung sungai didasarkan pada nilai kala ulang (Evi dkk, 2016). Uji tren bertahap (uji Mann-Kendall) dan uji perubahan mendadak (uji Pettitt) dapat digunakan meneliti pada tren penurunan debit air karena debit aliran terkadang mengalami tren penurunan debit (Shurong dkk,2007).

Letak geografis menyebabkan sungai tersebar dibebberapa daerah maupun di daerah yang terletak dekat dengan gunung berapi. Widodo dkk (2011) melakukan penelitian tentang daya tampung sungai akibat erupsi Gunung Merapi dan membutuhkan waktu untuk mengembalikan keadaan sungai seperti saat sebelum terjadi banjir lahar. Parameter penentuan kapasitas tampung sungai karena daerah sungai sekitaran Gunung Merapi tidak hanya menampung air, melainkan menampung banjir lahar. Akibat dari banjir lahar akan berdampak pada daya tampung sungai. Prediksi risiko terhadap tiga komponen utama, yaitu banjir lahar hujan, tingkat kerentanan dan kapasitas sungai yang menggunakan metode yang bersifat kualitatif berupa analisis skoring dan overlay hasil pemodelan HEC-RAS (Fahrul dkk, 2013). Ichsan (2015) mengkaji tentang kemampuan sungai dalam menampung air tergantung pada kemampuan tampung sungai tersebut. Analisa ini menggunakan *software* HEC-RAS untuk menganalisa hidraulika

Penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai kapasitas tampung Sungai Winongo. Analisis ini menggunakan simulasi numerik menggunakan program *Software* SMS AQUAVEO 10.1 untuk memodelkan kapasitas tampung. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I Yogyakarta (BBWSSO–DIY) yaitu data cross hasil gambar pra-desain pengukuran Sungai Winongo dan Skema Sungai Winongo yang berisi tentang gambar aliran Sungai Winongo dan menggambarkan beberapa anak sungai yang aliran airnya yang bermuara di Sungai Winongo. Penelitian ini

dapat dijadikan sebagai referensi dalam penanggulangan banjir di Sungai Winongo karena nilai kapasitas tampung sungai ditunjukkan dengan nilai debit (Q) yang menggambarkan kondisi muka air yang memiliki elevasi yang sama dengan tebing sungai. Debit (Q) yang diperoleh kemudian disesuaikan dengan nilai kala ulang yang tersedia.

## **2. Dasar Teori**

### ***Kapasitas Tampung***

Kapasitas tampung sungai merupakan kemampuan sungai untuk mengalirkan aliran sungai. Apabila kapasitas tampung tidak mampu menampung debit aliran air sungai, maka akan terjadi luapan pada sungai dan menyebabkan genangan pada daerah bantaran sungai. Pengurangan kapasitas tampung sungai dapat disebabkan oleh pengendapan berasal dari erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai (Kodoatie dkk, 2002).

Penampang basah yaitu penampang aliran air, sedangkan keliling basah diartikan sebagai panjang sisi penampang melintang sungai yang bersinggungan dengan air (SNI 2830:2008). Kapasitas tampung sungai kemudian diartikan sebagai kondisi sungai yang mampu menampung debit aliran sesuai dengan keadaan elevasi tebing sungai, atau bisa dikatakan elevasi muka air yang melewati sungai sama dengan elevasi tebing sungai.

### ***Sungai***

Sungai menurut PP N0.38 Tahun 2011 adalah alur atau wadah air alami dan atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta didalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai merupakan titik vital dan sumber kehidupan, karena segala aktifitas manusia bergantung pada sungai, seperti rumah tangga, irigasi pertanian, industri, pariwisata, olahraga, perikanan, transportasi, sanitasi lingkungan, dan pembangkitan tenaga listrik. Pemanfaatan dan pemberlakuan yang salah pada sungai dapat memberikan dampak buruk terhadap ekosistem di dalam sungai, atau bagi manusia yang memanfaatkan sungai sebagai sumber air.

### Debit aliran Sungai

Debit aliran Sungai menurut Triadmodjo (2008) merupakan jumlah air yang melalui tampang lintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasa dinyatakan dalam meter kubik per detik ( $m^3/d$ ). Debit Sungai, dengan distribusi dalam ruang waktu, merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumberdaya air.

### Angka Manning

Kekasaran *manning* suatu saluran tergantung dari jenis material atau kondisi permukaan saluran. Permukaan saluran yang halus, misalnya saluran beton mempunyai nilai kekasaran *manning* yang berbeda jika dibanding dengan saluran terbuat dari pasangan batu kali atau material yang lain. Berdasarkan kesetimbangan gaya-gaya yang terjadi tersebut dapat diturunkan rumus Manning untuk menghitung kecepatan yang terjadi sebagai berikut:

Tabel 1 Nilai koefisien *manning*  
(Triadmojo, 2008)

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tuang dilapis	0.014
Kaca	0.010
Saluran beton	0.013
Bata dilapis mortal	0.015
Pasangan batu disemen	0.025
Saluran tanah bersih	0.022
Saluran tanah	0.030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.040
Saluran pada galian batu padas	0.040

Kalibrasi data untuk kondisi eksisting didapatkan nilai *manning* sungai dari jenis material atau kondisi permukaan saluran adalah saluran tanah, maka didapat nilai *manning* sungai sebesar 0.03.

### Pemodelan Matematik

Pemodelan hidraulika menggunakan analisis numerik dengan program komputer dapat digunakan secara efektif untuk simulasi aliran air sehingga dapat menganalisis perilaku hidraulika dan kualitas air pada suatu saluran. Menurut Wardhani (2012) simulasi numerik dapat menggambarkan keadaan nyata dari suatu kondisi apabila terdapat parameter-parameter yang memadai dan diperlukannya validasi data berdasarkan data lapangan yang ada.

### SMS AQUAVEO 10.1 RMA 2

SMS AQUAVEO 10.1 adalah software untuk mensimulasikan model permukaan air, namun SMS juga dapat digunakan untuk memvisualisasikan, memanipulasi, menganalisa dan memahami data numerik dan pengukuran terkait. SMS dapat digunakan pada model numerik untuk sungai, pantai, inlet, teluk, muara dan danau. Terdapat beberapa fitur pemodelan yaitu 1 dimensi dan 2 dimensi.

RMA2 merupakan model numerikal dua dimensi untuk aliran rata-rata kedalaman dan level ketinggian air. RMA2 adalah model numerik hidrodinamik elemen hingga kedalaman rata-rata dua dimensi yang biasa digunakan untuk menghitung ketinggian permukaan air dan kecepatan aliran air. RMA2 merupakan solusi untuk memecahkan persamaan *Reynolds* dari *Navier-Stokes* untuk aliran turbulensi. RMA2 digunakan untuk menghitung *Manning* atau persamaan *Chezy*, dan koefisien viskositas yang digunakan pada karakteristik turbulensi.

RMA2 merupakan model hidrodinamik secara dua dimensi yang digunakan untuk simulasi pergerakan aliran. Input data berupa cross sungai, laju aliran yang ditentukan, elevasi permukaan air, turbulensi dan nilai kekasaran *manning*, suhu, iterasi perhitungan aliran, parameter konvergensi kedalaman, waktu perhitungan, kedalaman kering dan kedalaman aktif. Model ini dapat melakukan perhitungan elevasi muka air dan kedalaman rata-rata suatu aliran untuk daerah subkritik dan aliran permukaan bebas. Selain itu, RMA2 dapat menganalisis pola pergerakan aliran dengan data yang yang ditujukan oleh besarnya kecepatan baik perhitungan secara vektor maupun skalar. Vektor kecepatan aliran

tersebut ditampilkan secara horizontal tanpa mempertimbangkan kedalaman (Kim dkk, 2011).

RMA2 (*Resouce Management Associate*) merupakan model hidrodinamika secara dua dimensi yang digunakan untuk simulasi pergerakan aliran. Model ini dapat melakukan perhitungan elevasi muka air dan kedalaman rata-rata suatu aliran untuk daerah subkritik dan aliran permukaan bebas. Persamaan kontinuitas untuk aliran dua dimensi rata-rata kedalaman (*averaged continuity equation*) menurut Franchitika (2017) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

Persamaan momentum untuk aliran dua

dimensi pada arah x dan y dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2.3)$$

dengan :

u = kecepatan horisontal aliran arah-x ,

v = kecepatan horisontal arah-y,

t = fungsi waktu ,

g = percepatan gravitasi ,

h = kedalaman air,

a<sub>0</sub> = elevasi dari dasar tampang,

ρ = massa jenis,

ε<sub>xx</sub> = koefisien pertukaran turbulensi normal arah-x,

ε<sub>xy</sub> = koefisien pertukaran turbulensi tangensial arah-x,

ε<sub>yx</sub> = koefisien pertukaran turbulensi tangensial arah-y,

ε<sub>yy</sub> = koefisien pertukaran turbulensi normal arah-y

C = koefisien kekasaran Chezy (atau koef. *Manning*,  $n = 1/C h^{1/6}$ )

Penggunaan program SMS ini, diperlukan suatu nilai parameter-parameter yang berpengaruh pada hasil simulasi. Parameter tersebut yaitu :

### 1. Koefisien Kekasaran Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (2.4)$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/det)

n = angka kekasaran *manning*

R = Jari-jari hidraulik (m)

i = kemiringan garis energi

### 2. Koefisien Viskositas

Dapat disebut juga dengan perpindahan momentum. Dalam suatu aliran terbuka nilai koefisien viskositas dapat menjadi indikator terjadinya tingkat turbulensi. Nilai parameter ini dapat didekati sesuai dengan kondisi permasalahannya.

### 3. Uji kesesuaian/Kalibrasi

Pengukuran tingkat kesesuaian model dapat dilakukan dengan menggunakan indikator Root Mean Square Error (RMSE). RMSE sebagai rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran (output model) terhadap nilai target ( lapangan). Nilai RMSE semakin kecil menunjukkan bahwa rata-rata nilai model yang dihasilkan dekat dengan nilai sebenarnya.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_i)^2}{n}} \quad (2.5)$$

dimana :

i = nomor data

N = jumlah data

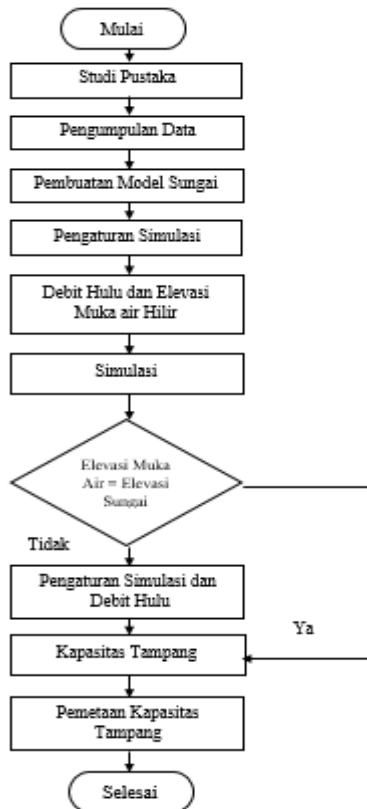
X<sub>i</sub> = data kecepatan ke-i

$\bar{X}_i$  = nilai prediksi kecepatan/ arus ke-i

### 3. Metode Penelitian

#### Langka Umum

Dalam penelitian ini metode umum yang digunakan ditampilkan dalam bagan alir sebagai berikut :



Gambar 1 Bagan alir penelitian

#### Lokasi dan Data penelitian

Lokasi Penelitian adalah Sungai Winongo dengan berhulu didaerah Kaliurang atau sekitar Turi/Pakem dengan koordinat  $7^{\circ} 44' 10.223''$  BT dan  $110^{\circ} 22' 8.212''$  LS hingga bermuara di Sungai Opak pada daerah Kretek  $7^{\circ} 59' 22.407''$  BT dan  $110^{\circ} 18' 46.780''$  LS . koordinat UTM (*Universal Tranverse Mercator*) pada zona 49S WGS1984 dengan satuan meter. Lokasi Penelitian dan Sub-DAS Winongo ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Data Penelitian ini berupa data sekunder diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I Yogyakarta (BBWSSO - DIY) yaitu peta ikhtisar Sungai Winongo dan data *cross* hasil gambar pra-desain pengukuran Sungai Winongo dalam format *.dwg* yang dibuat oleh PT. Sarana Bagja Bumi. Data pengukuran berupa *cross section* Sungai Winongo yang berjumlah 797 *cross section*.

*Cross section* memiliki jarak antara 25 m sampai 50 m dan memiliki lebar antara 20 m sampai 30 m. Dalam proses analisis tidak dimungkinkan dalam menganalisis *cross section* secara keseluruhan karena pengaruh beda tinggi. Maka untuk memudahkan proses analisis dibagi tiga bagian yaitu bagian hilir menggunakan data antara *cross* 27 – 51. bagian tengah menggunakan *cross* 377 – 401 dan bagian hulu menggunakan *cross* 752 – 776. Contoh hasil potongan melintang dan Beberapa potongan melintang *cross section* antara ditampilkan pada Gambar 3.4 sd. Gambar 3.10. Skema lokasi pemodelan hidrologi Sungai Winongo berupa skema lokasi analisis pada bagian hilir, tengah, dan hulu pada Sungai Winongo akan ditampilkan pada Gambar 3.11 dan Skema data debit banjir di sistem Sungai Winongo yang berisi mengenai data debit banjir pada 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun dan 50 tahun. Skema Sungai Winongo akan ditampilkan pada Gambar 3.12.



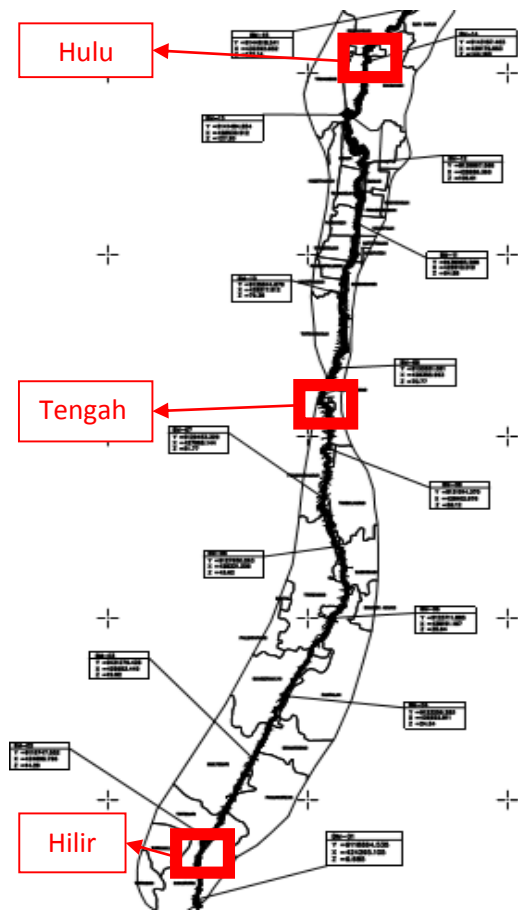
Gambar 2 Lokasi Penelitian

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)

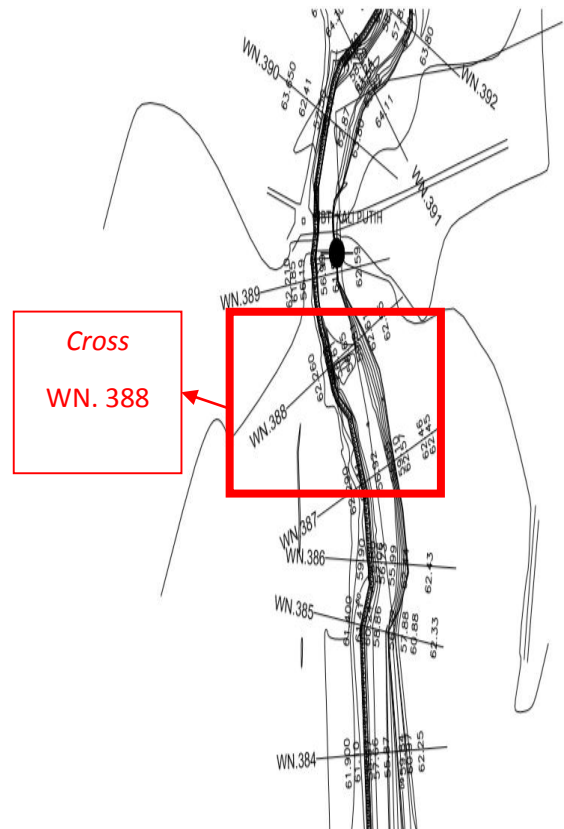


Gambar 3 Sub-DAS Winongo

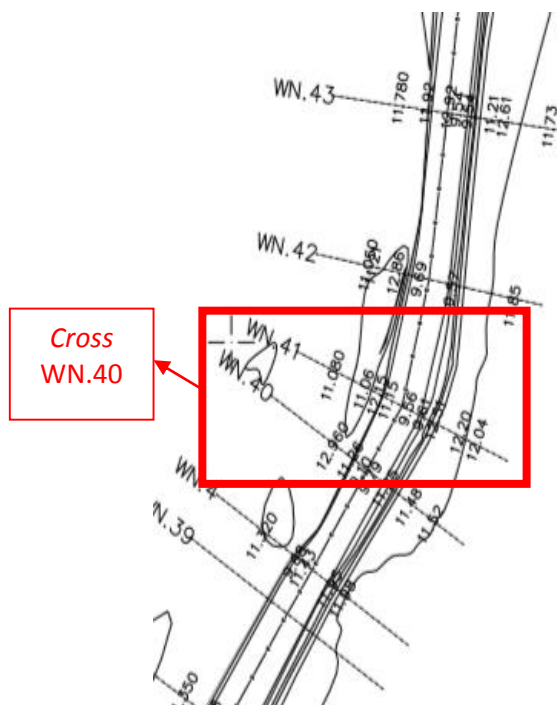




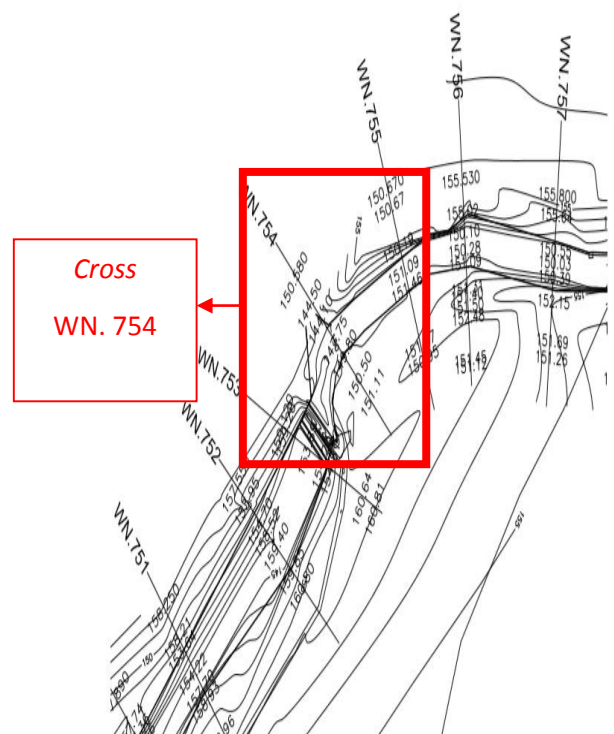
Gambar 4 Peta ikhtisar Sungai Winongo  
(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



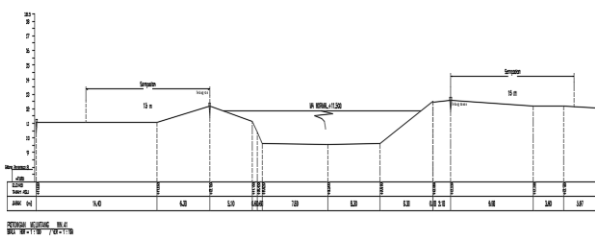
Gambar 6 Contoh hasil pengukuran tampang melintang Sungai Winongo bagian tengah  
(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



Gambar 5 Contoh hasil pengukuran tampang melintang Sungai Winongo bagian hilir  
(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)

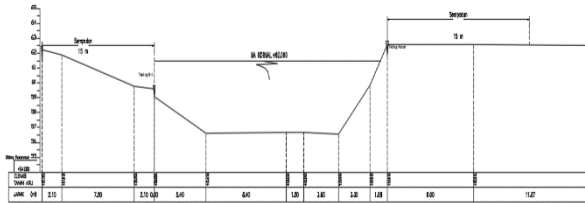


Gambar 7 Contoh hasil pengukuran tampang melintang Sungai Winongo bagian hulu  
(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



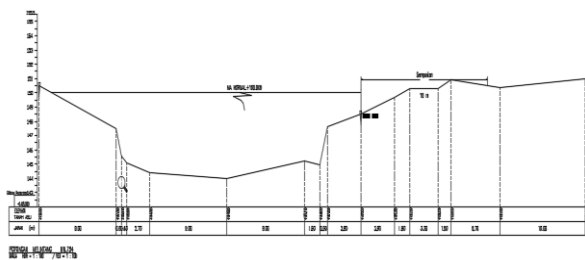
Gambar 8 Potongan melintang *cross* 41 Sungai Winongo bagian hilir

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



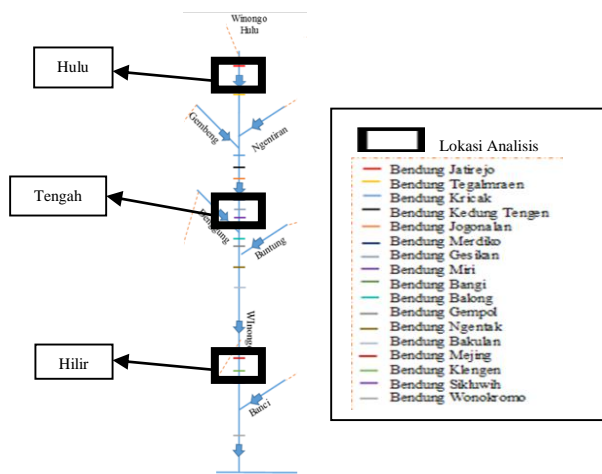
Gambar 9 Potongan melintang *cross* 388 Sungai Winongo bagian tengah

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



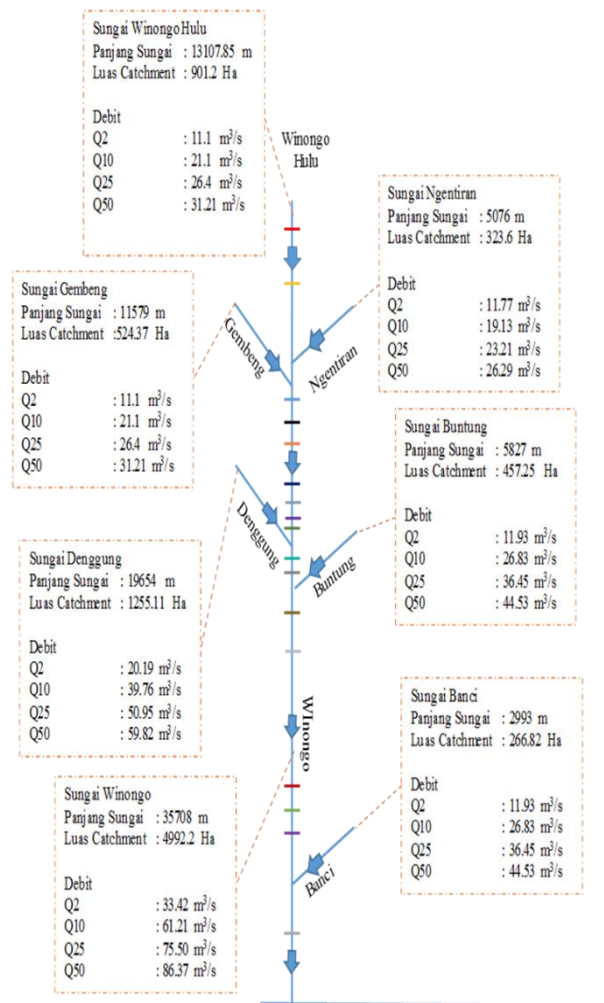
Gambar 10 Potongan melintang *cross* 754 Sungai Winongo bagian hulu

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



Gambar 11 Skema lokasi pemodelan hidrologi Sungai Winongo

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)



Gambar 12 Skema data debit banjir di sistem Sungai Winongo

(Sumber: Data BBWSSO-DIY, 2017)

## Analisis Data

### Identifikasi Gambar

Identifikasi gambar pra-desain Sungai Winongo dilakukan dengan mengamati detail gambar yang berupa peta situasi ikhtisar Sungai Winongo dan potongan melintang Winongo dengan memanfaatkan *software AutoCAD 2010*.

### Identifikasi Koordinat dan Elevasi

Identifikasi koordinat dan elevasi dilakukan dengan mengambil koordinat sungai pada gambar peta ikhtisar Sungai Winongo yang menggambarkan dari hulu hingga hilir sungai. Data elevasi sungai berasal dari gambar potongan melintang Sungai Winongo yang berupa elevasi tebing sungai dan elevasi dasar sungai. Data notepad akan ditampilkan pada Gambar 13.

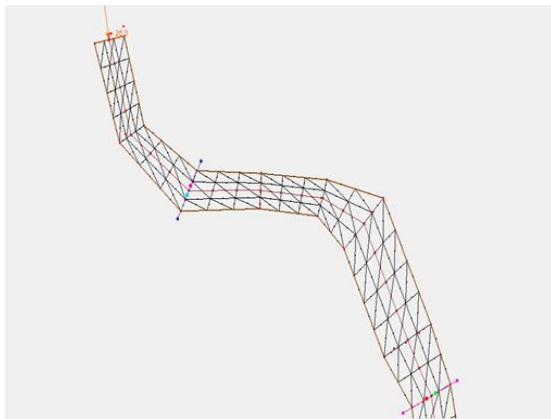


File	Edit	Format	View	Help
424288.855			9116793.4832	10.18
424301.125			9116795.3157	1.69
424308.0273			9116795.2451	1.64
424315.5096			9116796.3276	1.71
424297.0311			9116850.7938	9.17
424307.2279			9116848.2603	2.37
424307.8151			9116848.1368	2.30
424316.5053			9116847.1853	2.41
424325.4103			9116844.3395	2.54
424330.0683			9116843.1653	11.31
424311.6358			9116899.4527	8.95
424317.3921			9116899.1533	5.31
424324.229			9116898.1474	5.11
424340.7364			9116893.5164	5.07

Gambar 13 Data *notepad*

### Pembuatan Model Sungai Winongo

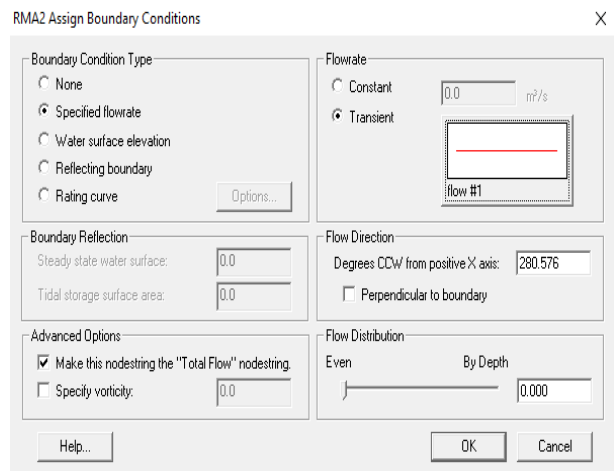
Data masukan yang digunakan dalam pembuatan Sungai Winongo berupa koordinat dan elevasi dengan memanfaatkan software SMS AQUAVEO 10.1. Proses pembuatan sungai dilakukan dengan menghubungkan titik-titik antar koordinat sehingga membentuk sebuah elemen utuh. Model Sungai Winongo akan ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Model Sungai Winongo

### Data Debit dan Muka air

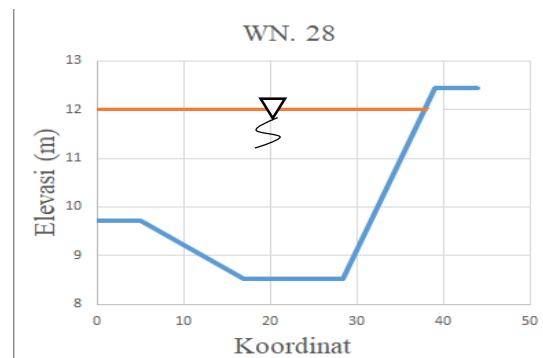
Data debit yang digunakan dalam analisis kapasitas tampang sungai yaitu berupa masukan debit yang dilakukan secara *trial and check*. Data debit dimasukkan ke dalam software SMS AQUAVEO 10.1 dengan beberapa kemungkinan angka sehingga nilai debit yang didapatkan mendekati atau bahkan melampaui nilai debit kala ulang yang sudah ditentukan. Masukkan data debit ditampilkan pada Gambar 15.



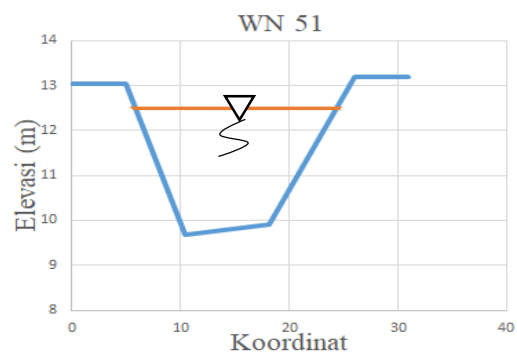
Gambar 15 Masukkan data debit

### Potongan Melintang dan Elevasi Muka Air

Potongan melintang sungai dan elevasi muka air sungai disimulasikan dalam bentuk grafik dalam microsoft excel, hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam melihat hasil running dari software SMS AQUAVEO 10.1. Data-data yang digunakan dalam pembuatan grafik yaitu meliputi titik *horizontal* sungai, elevasi sungai dan elevasi muka air. Hasil potongan melintang kondisi elevasi tebing kiri dan kanan berbeda dan kondisi elevasi tebing kiri dan kanan sama akan ditampilkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



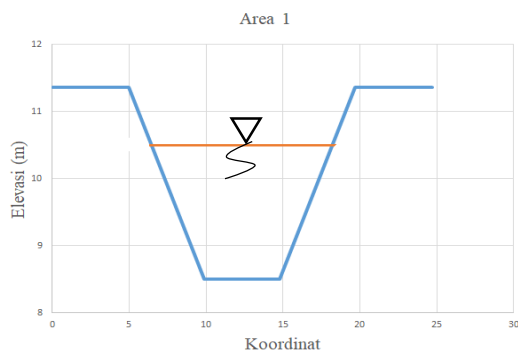
Gambar 16 Kondisi elevasi kiri dan kanan berbeda



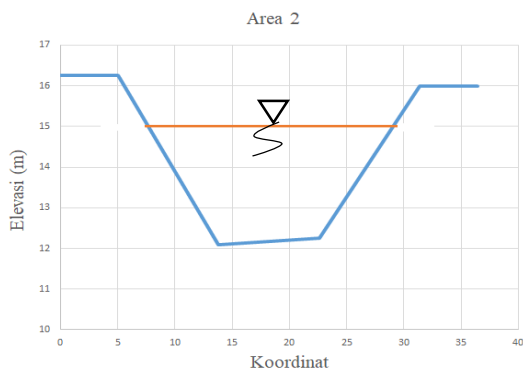
Gambar 17 Kondisi elevasi tebing kiri dan kanan sama

### Kapasitas Tampang Sungai

Kapasitas tampang sungai ditunjukkan saat elevasi muka air sama dengan elevasi tebing terendah atau elevasi muka air tidak melebihi dari elevasi tebing terendah pada tampang sungai. Pada kondisi elevasi tebing kanan dan kiri berbeda, maka dalam menganalisis kapasitas tampang terdiri dari beberapa tebing yang dirata – rata dan berbentuk area. Kapasitas tampang dinyatakan dalam bentuk debit (Q) dikarenakan debit diartikan sebagai jumlah air yang melalui tampang bentang satu satuan waktu, yang dinyatakan dalam meter kubik per detik ( $m^3/d$ ). Model area kapasitas tampang akan ditampilkan pada Gambar 18 dan Gambar 19



Gambar 18 Model area kapasitas tampang 1



Gambar 19 Model area kapasitas tampang 2

### Debit Kala Ulang

Debit kala ulang digunakan terdiri dari debit dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 50 tahun. Debit kala ulang digunakan untuk mencocokkan nilai debit yang didapatkan dari hasil *running software* SMS AQUAVEO 10.1 sehingga dengan nilai debit hasil *running* tersebut dapat diklasifikasikan bahwa Sungai Winongo sudah mencapai pada debit kala ulang mencapai kala ulang tertentu. Data debit kala ulang akan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Debit kala ulang DAS Winongo

Kala Ulang (Tahun)	Debit ( $m^3/s$ )
2	76.46
10	143.06
25	179.84
50	234.07

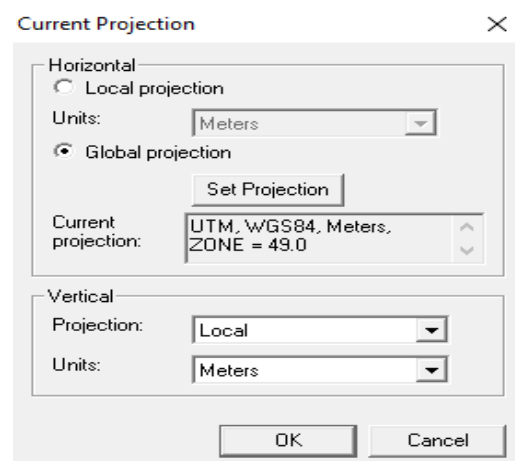
## 4. Hasil dan Pembahasan

### Simulasi Software SMS AQUAVEO 10.1

Simulasi dengan menggunakan *software SMS AQUAVEO 10.1* dilakukan dengan pemodelan dua dimensi. Sungai yang akan dimodelkan menggunakan *software* akan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian hulu, tengah dan hilir. Pembagian sungai bertujuan untuk bertujuan untuk mencari kapasitas tampang sungai berdasarkan elevasi muka air. Pemodelan yang dilakukan secara terpisah dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas tampang pada tiap-tiap bagian sungai. Proses pemodelan terhadap ketiga bagian sungai dilakukan dengan cara yang sama, hanya saja berbeda pada pengaturan simulasi dan data masukan/ *input* berupa debit dan elevasi muka air. Untuk proses pemodelan akan dijelaskan sebagai berikut :

#### a. Pengaturan awal Pemodelan

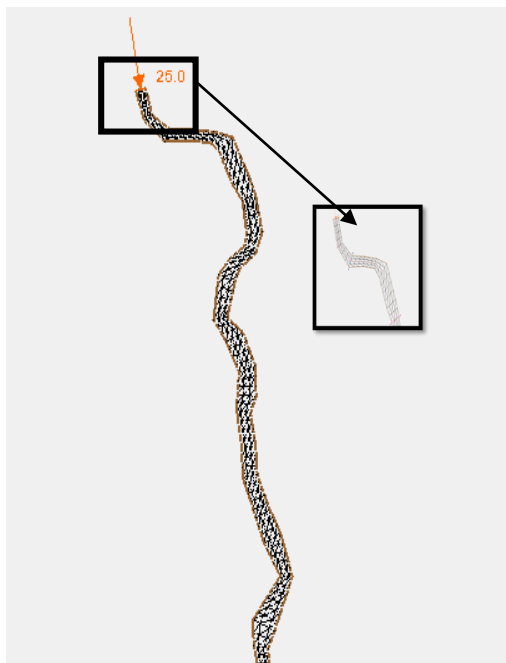
Tahap awal pemodelan dengan memproyeksi model yang diatur berdasarkan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) terhadap perekaman muka bumi sesuai dengan lokasi penelitian yaitu Zona 49 WGS84 dengan satuan meter. Menu *Current Projection* akan ditampilkan pada Gambar 20.



Gambar 21 Menu *current projection*

## b. *Pemodelan Topografi*

Pemodelan topografi dalam tahap ini memasukkan koordinat geometri (x, y dan z), sehingga titik-titik koordinat dapat membentuk sungai sehingga sama dengan aslinya, dalam membentuk pemodelan ini hanya menggunakan *create mesh node*. *Node* yang sudah dibuat selanjutnya dibentuk *mesh* (pias-pias segitiga) dengan menggunakan *triangulate*. *Mesh* yang dibuat membentuk segitiga atau persegi yang dibelah diagonal akan ditampilkan pada Gambar 22. Semakin banyak elemen yang dibuat semakin bagus analisisnya, namun tergantung kemampuan komputer (RAM dan *processor*). Model yang disimulasikan merupakan Sungai Winongo.

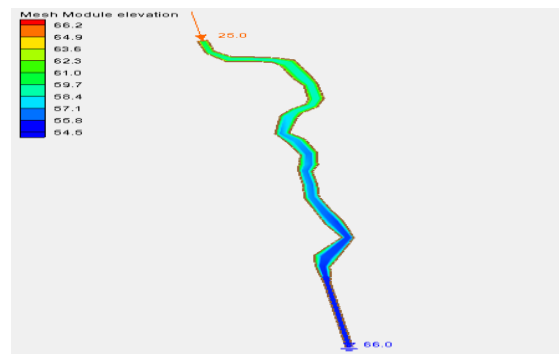


Gambar 22 Tampilan *mesh* yang dibuat

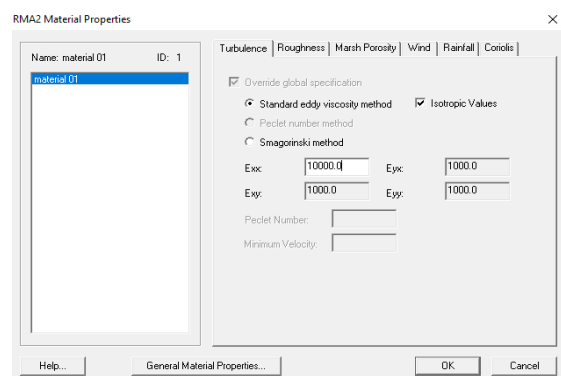
## c. *Input Data*

Input data pada pemodelan ini menggunakan data sekunder dan memasukkannya di pemodelan RMA2, data yang di input menggunakan boundary condition. Data sekunder yang di input data water surface elevation pada hilir sungai, data specified flowrate pada hulu Sungai Winongo akan ditampilkan pada Gambar 23. Beberapa parameter running RMA2 menggunakan simulasi trial and check. Simulasi trial and check yaitu mencoba dengan berbagai kemungkinan sehingga mendapatkan nilai kalibrasi parameter

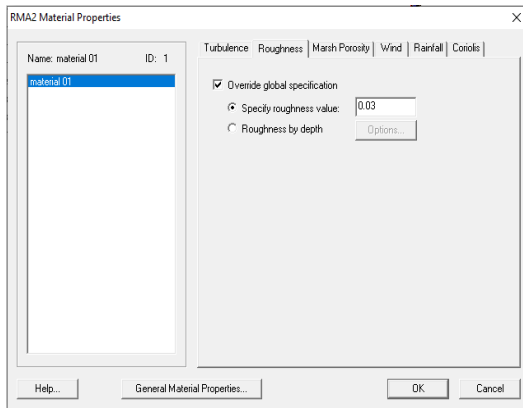
sehingga diperoleh akurasi pemodelan yang lebih baik. Kalibrasi data untuk kondisi eksisting didapatkan nilai manning sungai dari jenis material atau kondisi permukaan saluran adalah pasangan batu disemen, maka didapat nilai manning sungai sebesar 0.03. Pada pengaturan material properties untuk input angka manning menggunakan roughness dan parameter viscosity menggunakan turbulence akan ditampilkan pada Gambar 24 dan Gambar 25, nilai angka manning disesuaikan dengan daerah material sungai dan material saluran irigasi. Pengaturan model control digunakan untuk mengatur temperature, density, dan specify initial water surface for coldstart di menu general akan ditampilkan pada Gambar 26, pada menu timing digunakan untuk mengatur simulation type, computation time, iteration for flow calculation, dan dept convergence parameters akan ditampilkan pada Gambar 27 dan pada menu global methods untuk mengatur elemental wet/dry check dan default roughness value akan ditampilkan pada Gambar 28. Apabila semua data sudah dimasukan maka lakukan model check, jika tidak ada lagi *error*, maka pemodelan sudah siap untuk running.



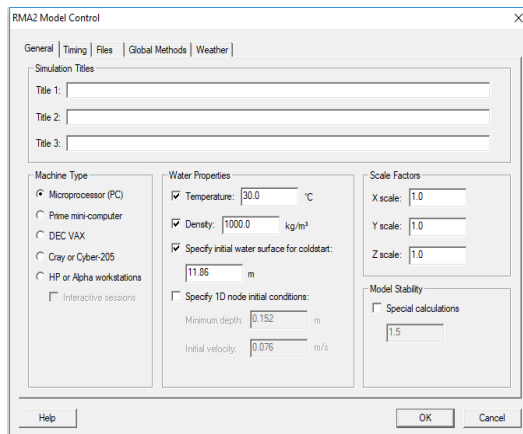
Gambar 23 Input *boundary condition*



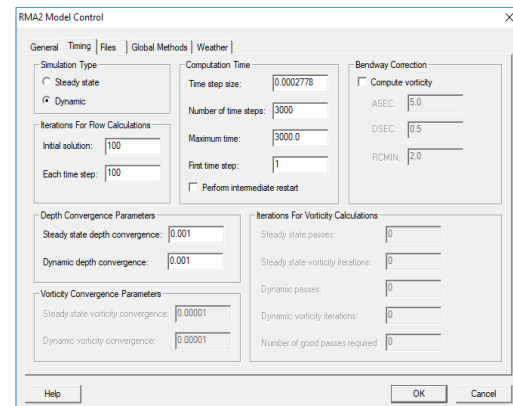
Gambar 24 Menu *turbulence*



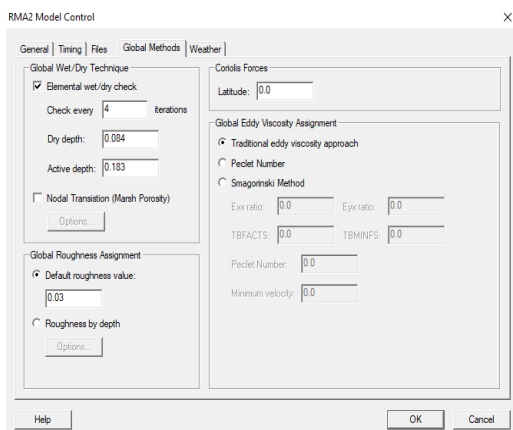
Gambar 25 Menu *roughness*



Gambar 26 Menu *general*



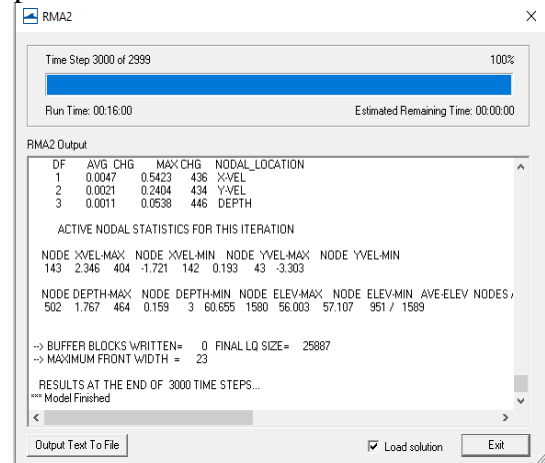
Gambar 27 Menu *timing*



Gambar 28 Menu *global methods*

#### d. Simulasi Model

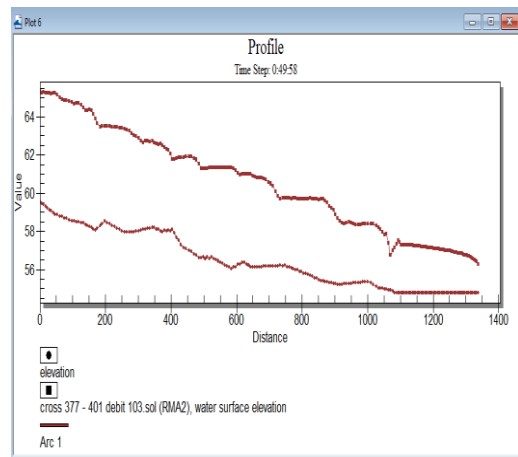
Tahap ini dilakukan apabila pemodelan sudah tidak ada *error* dan sudah melakukan input data. Simulasi dilakukan selama 50 jam dalam interval waktu satu detik sehingga didapat data sekitar 3000 time steps. Model simulasi menggunakan RMA2. Selanjutnya dilakukan kalibrasi data terlebih dahulu agar data yang di running sudah sesuai dengan data di lapangan. Running model akan ditampilkan pada Gambar 29.



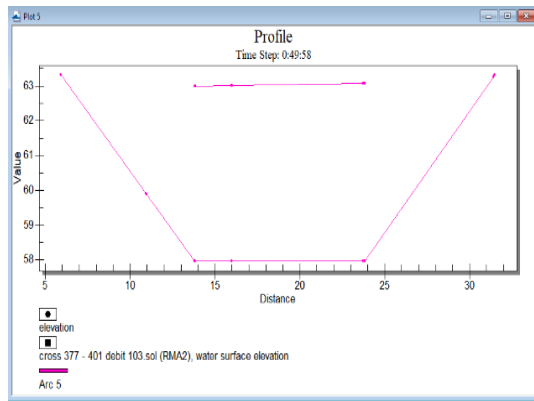
Gambar 29 *Running model RMA2*

#### e. Output Data

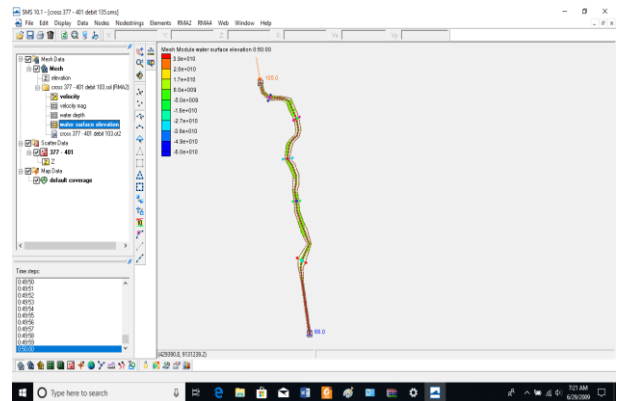
Hasil *running* dan *output* RMA2 menghasilkan tampilan dalam bentuk visual sehingga dapat memberikan gambaran secara aktual, seperti pola aliran di Sungai Winongo pada waktu tertentu sesuai dengan data debit yang di *input*, sehingga tampak sungai memenuhi kondisi kapasitas tampang. Hasil running akan ditampilkan pada Gambar 30 sd. Gambar 35.



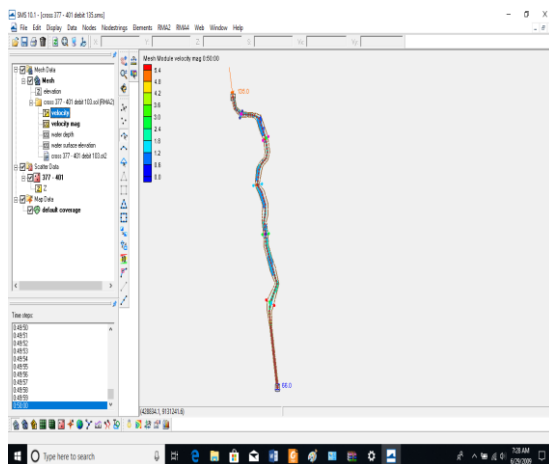
Gambar 30 Hasil *running* potongan memanjang



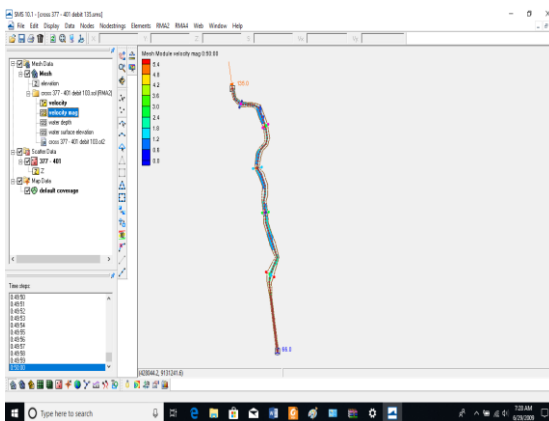
Gambar 31 Hasil *running* potongan melintang



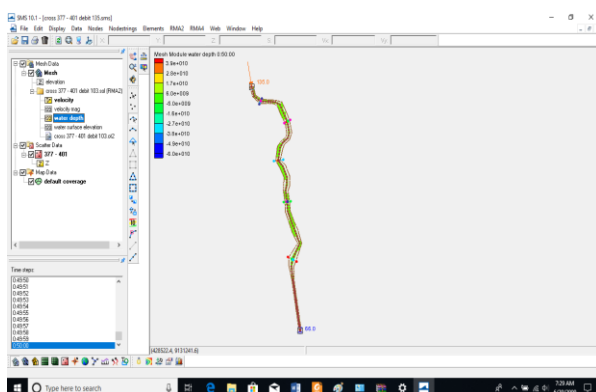
Gambar 35 Hasil *running* water surface elevation



Gambar 32 Hasil *running* velocity



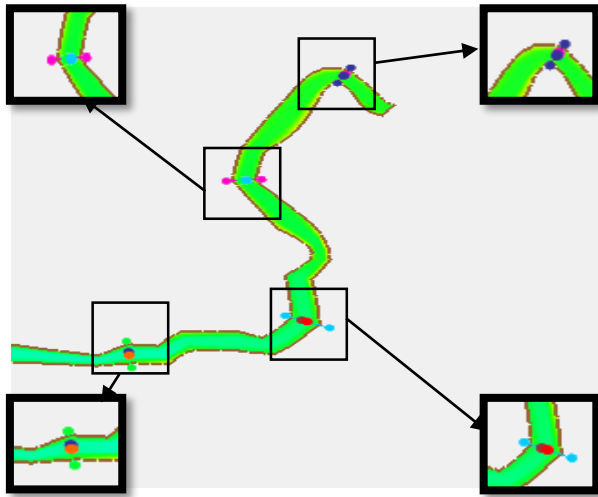
Gambar 33 Hasil *running* velocity mag



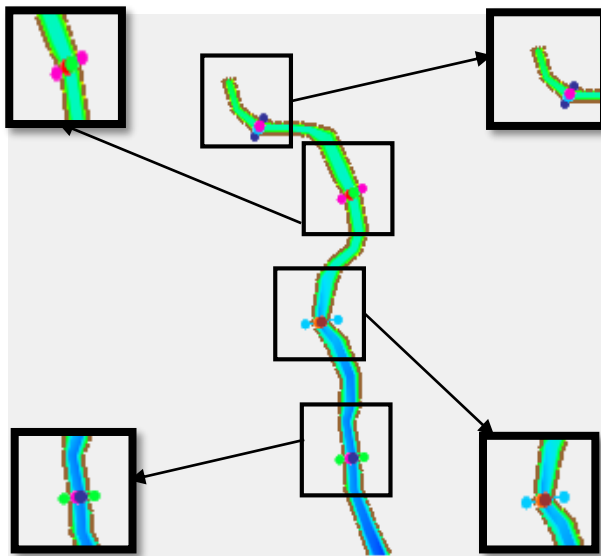
Gambar 34 Hasil *running* water depth

### Analisis Kapasitas Tampang Sungai

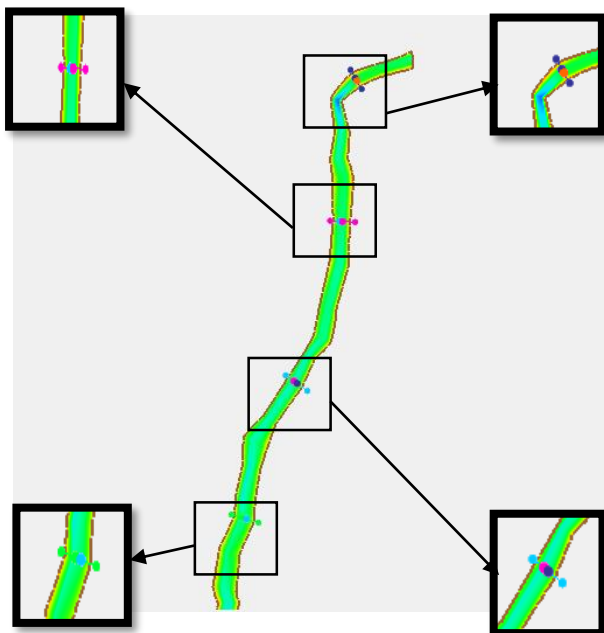
Analisis kapasitas tampang sungai yaitu analisis yang mencari nilai kapasitas sungai dalam menampung debit, dengan kondisi elevasi muka air memiliki ketinggian yang sama dengan elevasi tebing sungai (*full embankment*). Dalam penelitian ini sungai yang dimodelkan menggunakan *software* dibagi menjadi bagian hulu, tengah dan hilir yang terdiri dari 25 *cross* untuk tiap bagiannya. Masing-masing bagian kemudian dibagi menjadi 4 segmen yang berjumlah 5 *cross* untuk tiap segmennya. Hasil pembagian segmen analisis pada bagian hulu tengah dan hilir akan ditampilkan pada Gambar 36 sd. Gambar 38. Proses simulasi dilakukan per bagian yang terdiri dari 25 *cross* sungai. Pembagian segmen bertujuan untuk lebih mendetailkan kapasitas tampang dikarenakan untuk tiap pias sungai mempunyai kondisi tampang yang berbeda, baik dari lebar sungai atau kedalaman sungai. Simulasi sungai bagian hulu diwakili oleh *cross* 27 – *cross* 51, sungai bagian tengah diwakili oleh *cross* 377 – *cross* 401 dan sungai bagian hilir diwakili oleh *cross* 752 – *cross* 776. Hasil simulasi untuk tiap-tiap bagian kemudian dirangkum dan disajikan dalam bentuk Tabel pada Tabel 4.1 sd. Tabel 4.3.



Gambar 36 Segmen analisis bagian hulu



Gambar 37 Segmen analisis bagian tengah



Gambar 38 Segmen analisis bagian hulu

Tabel 4.1 Hasil simulasi kapasitas tampang bagian hilir

Bagian	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Muka air (m)			
		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3	Segmen 4
		12.292	11.99	12.443	13.075
Hilir	10	10.939	10.926	10.932	10.889
	20	10.845	10.969	11.388	11.535
	30	10.999	11.114	11.258	11.410
	40	11.266	11.448	11.612	11.820
	50	11.447	11.597	11.771	11.809
	60	11.617	11.760	11.972	12.005
	65	11.698	11.842	12.058	12.087
	67	11.731	11.877	12.091	12.373
	70	12.212	12.543	12.832	13.439
	75	12.279	12.571	12.868	13.525
	80	12.460	12.599	12.928	13.590
	90	12.679	12.846	13.115	13.515

Tabel 4.2 Hasil simulasi kapasitas tampang bagian tengah

Bagian	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Muka air (m)			
		Segmen 5	Segmen 6	Segmen 7	Segmen 8
Tengah	60.435	61.573	63.327	64.592	
	85	58.511	59.103	60.304	61.045
	90	58.598	59.373	60.392	61.144
	95	58.833	59.691	60.507	61.250
	100	58.870	59.606	60.586	61.340
	120	59.403	60.095	60.979	61.701
	125	59.209	60.184	61.103	61.814
	130	60.559	61.249	63.867	63.785
	140	60.688	61.382	63.067	64.028
	150	60.732	61.443	63.198	65.057
	160	60.681	61.197	63.235	65.069
	170	60.806	61.309	63.892	65.005
175	60.979	61.802	63.865	65.179	
180	61.031	61.849	63.930	65.068	



Tabel 4.2 Hasil simulasi kapasitas tampang bagian tengah

Bagian	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Muka air (m)			
		Segmen 9	Segmen 10	Segmen 11	Segmen 12
		155.282	155.572	157.302	156.729
	20	152.162	152.243	155.597	156.351
	30	152.844	154.063		157.322
	40	153.256	154.793	155.896	158.178
Hulu	50	154.289	155.339	157.196	158.842
	60	155.669	155.322	157.803	159.155
	70	155.829	156.602	158.183	159.446
	80	155.696	156.567	158.162	159.531

Dari hasil simulasi yang dimodelkan menggunakan *software* SMS AQUAVEO 10.1 didapatkan nilai debit simulasi dari *trial and check*. Dari Hasil analisis kapasitas tampang didapatkan nilai debit kapasitas tampang tiap segmen dalam tiap bagian. Debit pada sungai bagian hilir memiliki debit sebesar 67 m<sup>3</sup>/s dan 75 m<sup>3</sup>/s. Pada segmen 1 dengan debit 75 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 12.292 m. Pada segmen 2 dengan debit 67 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 11.99 m. Pada segmen 3 dengan debit 67 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 12.443 m. Pada segmen 4 dengan debit 67 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 13.075 m. Bagian tengah memiliki debit sebesar 120 m<sup>3</sup>/s, 140 m<sup>3</sup>/s dan 150 m<sup>3</sup>/s. Pada segmen 5 dengan debit 120 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 60.435 m. Pada segmen 6 dengan debit 150 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 61.573 m. Pada segmen 7 dengan debit 150 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 63.327 m. Pada segmen 8 dengan debit 140 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 64.208 m. Sedangkan Debit pada sungai bagian hulu memiliki debit sebesar 20 m<sup>3</sup>/s dan 50 m<sup>3</sup>/s. Pada segmen 9 dengan debit 50 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 155.282 m. Pada segmen 10 dengan debit 50 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi

tebing sebesar 155.572 m. Pada segmen 11 dengan debit 50 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 157.302 m. Pada segmen 12 dengan debit 20 m<sup>3</sup>/s didapatkan nilai muka air yang mendekati dengan elevasi tebing sebesar 156.729 m. Maka diketahui bahwa debit yang memiliki nilai paling rendah berada pada bagian hulu sebesar 20 m<sup>3</sup>/s dengan muka air 156.351 m di segmen 12, dan debit yang memiliki nilai paling tinggi berada pada bagian tengah sebesar 150 m<sup>3</sup>/s dengan muka air 61.443 m di segmen 6 dan 63.198 m di segmen 7.

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan Sungai Winongo dalam SMS AQUAVEO 10.1 dilakukan dengan Menggunakan Simulasi RMA2 dapat menghasilkan nilai velocity mag, velocity, water dept dan water surface elevation. Visual yang diperoleh pada pemodelan memperlihatkan water surface elevation pada model sungai memiliki muka air yang menurun dari hulu ke hilir sesuai dengan keadaan dasar sungai pada tampilan potongan memanjang.
2. Hasil analisis kapasitas tampang didapatkan nilai debit kapasitas tampang tiap segmen dalam tiap bagian. Debit pada sungai bagian hulu memiliki debit sebesar 20 m<sup>3</sup>/s dan 50 m<sup>3</sup>/s Pada sungai bagian tengah memiliki debit sebesar 120 m<sup>3</sup>/s, 140 m<sup>3</sup>/s dan 150 m<sup>3</sup>/s, sedangkan sungai bagian hilir memiliki debit sebesar 67 m<sup>3</sup>/s dan 75 m<sup>3</sup>/s
3. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa Sungai Winongo mempunyai kapasitas yang berbeda-beda di tiap segmen, hal ini tergantung dari penampang sungai yang ada. Berdasarkan hasil pemodelan, Sungai Winongo mempunyai debit kapasitas tampang yang berbeda - beda. Debit kapasitas tampang Sungai Winongo mendekati kala ulang 2 tahun dan 10 tahun.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian analisis kapasitas tampang Sungai Winongo menggunakan *software* SMS AQUAVEO 10.1

yang telah dilakukan maka terdapat saran dan hal yang harus diperhatikan, adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, saran yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya kalibrasi parameter simulasi sehingga diperoleh akurasi pemodelan yang lebih baik.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penampang sungai yang lebih detail.

## 5. Daftar Pustaka

- Aristi, S., 2013, Pengaruh pola Aliran Terhadap Perubahan Morfologi Sungai (Studi kasus Sungai Kampar Segmen Rantau Berangin – Kuok), Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau.Pekanbaru.
- Franchitika, R. 2017. Tutorial Penggunaan Software SMS 11.1 Modul RMA2 untuk Menganalisa Pola Pergerakan Arus di Pelabuhan Belawan. *Jurnal Education Building*, 3, 35-40
- Kodoatie, R. J., dan Sugiyanto, 2002, Banjir, beberapa penyebab dan metode dalam Perspektif lingkungan, Yogyakarta.
- Kurniawan, E., 2004, Kajian Pola Aliran Sungai Progo Hilir Dengan 2 Groundsill Menggunakan Software BOSS SMS , Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kim, K.-C., Park, G. -H., Jung, S.-H., Lee, J.-L. dan Suh, K.-S. 2011. Analysis on the characteristics of a pollutant dispersion in river environment. *Annals of Nuclear Energy*, 38(2-3), 232-237.
- LeFavour, G., dan Alsdorf, D., 2005, Water Slope and Discharge in the Amazon River Estimated Using The Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model. *Geophysical Research Letters*, 32, 1-5.
- Nurhadi, S., 2008, Simulasi 2-Dimensi Transpor Sedimen Di Sungai Mesuji Provinsi Lampung, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rahmawati, E. Dan Aritonang, N., 2016, Analisa Kapasitas Tampungan pada Sungai Pucang Kabupaten Sidoarjo dalam Menampung Debit banjir. *Rekayasa Teknik Sipil*, 02, 84-92.
- Riyadi, A. S., Sarwono, B., Sudiwaluyo., 2013, Permodelan Aliran sediment Di muara Kali Porong, Proseding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 26 Juni 2013, 345-355.
- Siregar, R. I., dan Indrawan, I. (2017). Studi Komparasi Pemodelan 1-D (Satu Dimensi) dan 2-D (Dua Dimensi) Dalam Memodelkan Banjir DAS Citarum Hulu. *Jurnal Education Building*, 3 (2), 31-37.
- Supiyati, Suwarsono, Hutami, K., 2012, Pola Arus PAsang Surut Di pelabuhan Pulau Baai Bengkulu Menggunakan Software Surface-Water Modeling System (SMS) 8.1, *Jurnal Gradien*, 8(2), 792-795.
- Suyuti, 2006, Analsis Pola arus Dan Sedimentasi Di Pantai Losari Makassar Dengan Menggunakan Metode Surface Modeling System (SMS) Dan Overlay Citra Lansat 7-ETM Pada Metode Sistem Informasi GEografis (GIS), Tesis S2, Teknik dan Manajemen Pantai, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Syahputra, I., 2015, Kajian Hidrologi dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Krueng langsa Berbasis HEC-HMS dan HEC-RAS. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1, 15-18.
- Talumepe, M. Y., Tanudjaja, L., Sumarauw, J. S. F., Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 5, 699-710.
- Triatmodjo, B., 2015, Hidrologi Terapan, Beta Offset, Yogyakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 Tentang Sungai.
- Wardhani, M. K. 2012. Formulasi Model Matematik 1 Dimensi Untuk Sebaran Polutan Di Estuaria. *Jurnal Kelautan*, 5(2), 175–181.
- Widodo, B., Ribut, L., Hamidin, 2011, Kemampuan Tampungan Sungai Code terhadap Material Lahar Dingin Pasca Erupsi Gunungapi Merapi Tahun 2010. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 3 81-87.
- Wisudho, D. D., Adli, P. F., Kurniani, D., Budienny, H., 2017, Evaluasi kapasitas Penampang Sungai Krengseng daerah

- Tirto Agung Banyumanik Semarang.  
*Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6, 35-44.
- Zhang, S., Lu, X. X., Higgitt D. L., Chen, C. A.,  
Han, J., Sun, H., 2008, Recent Changes of  
Water Discharge and Sediment Load in  
The Zhujiang (Pearl River) Basin China.  
*Global and Planetary Change*, 60, 365-  
380.