

Analisis Kapasitas Tampung Sungai Gajah Wong dengan SMS AQUAVEO 10.1

Full Bank Capacity Analysis of The Gajah Wong River by SMS AQUAVEO 10.1

Kresna Nurfauzi, Puji Harsanto

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

Abstrak. Sungai Gajah Wong merupakan salah satu sungai yang melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul yang pada tahun 2017 mengalami banjir. Oleh karena itu diperlukan analisa kapasitas tampung yang bertujuan untuk menganalisa kemampuan tampung sungai dalam menampung debit air yang melewati sungai tersebut. Analisa kapasitas tampung Sungai Gajah Wong dilakukan dengan simulasi RMA2 pada Software SMS AQUAVEO 10.1. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dasar sungai dan tebing sungai, elevasi muka air di hilir sungai dan debit aliran yang diperoleh dari hasil *trial and check* untuk mendapatkan elevasi muka air disepanjang sungai yang sesuai dengan kapasitas tampung sungai. Nilai kapasitas tampung sungai kemudian dicocokkan dengan data kala ulang yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum Balai Besar Wilayah Sungai (KPU-BBWS) Serayu-Opak. Berdasarkan hasil simulasi RMA2 diperoleh debit aliran yang memiliki kesamaan nilai elevasi muka air dan elevasi tebing sungai yaitu sebesar 5 m³/s, 6 m³/s, 8 m³/s, 10 m³/s, 11 m³/s dan 12 m³/s. Berdasarkan data debit tersebut diketahui bahwa Sungai Gajah Wong belum memasuki kala ulang, dikarenakan debit terbesar yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu sebesar 12 m³/s yang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan nilai kala ulang terkecil pada kala ulang 2 tahun sebesar 85,77 m³/s.

Kata-kata Kunci: elevasi muka air, debit air, kala ulang, kapasitas tampung sungai, RMA2

Abstract. Gajah Wong River is one of the rivers that crosses Sleman Regency, Yogyakarta City and Bantul Regency which in flooded in 2017. Therefore it is necessary to analyze the full bank capacity which aims to analyze the ability of the river to accommodate the water flow that passes through the river. The analysis of the full bank capacity of the Gajah Wong River was carried out by RMA2 simulation on the AQUAVEO 10.1 SMS Software. In this study, river and riverbank baseline modeling, downstream water level elevation and flowrate were obtained from the results of trial and check to obtain the water level along the river that corresponds to the full bank capacity. The value of the full bank capacity is then matched with the return data obtained from the Ministry of Public Works of the Serayu-Opak River Basin (KPU-BBWS). Based on the simulation results of RMA2, the flowrate that has the same water level elevation and river cliff elevation is obtained, which is 5 m³ / s, 6 m³ / s, 8 m³ / s, 10 m³ / s, 11 m³ / s and 12 m³ / s. Based on the discharge data it is known that the Gajah Wong River has not yet entered its return period, because the largest discharge obtained from the simulation results is 12 m³ / s which is smaller than the smallest return value at the 2-year return period of 85.77 m³ / s.

Keywords : water surface elevation, discharge, return period, full bank capacity, RMA2

1. Pendahuluan

Terdapat beberapa metode dalam menentukan debit pada suatu sungai, baik dilakukan secara langsung di lapangan ataupun dengan bantuan *software* dalam membuat pemodelan. LeFavour dan Alsdorf (2005) menggunakan alat berupa *shuttle radar topography (SRTM)* guna melakukan pencitraan untuk mengetahui debit di Sungai Amazon. Selain dengan metode pencitraan, dalam menentukan debit juga dapat dilakukan dengan metode pengukuran langsung

di sungai. Norhadi dkk. (2015) melakukan pengukuran kecepatan dengan menggunakan *current meter* di Sungai Antasan sebagai salah satu metode dalam menentukan debit. Dalam menentukan debit juga dapat dilakukan dengan cara mencari frekuensi hujan dengan metode *log pearson III* yang kemudian dilakukan simulasi hujan aliran air dengan *HSS Snyder* menggunakan *software HEC-HMS*. Hasil analisa tersebut kemudian dimodelkan menggunakan *software HEC-RAS* untuk simulasi muka air (Talumepa dkk, 2017). Debit aliran air selalu berubah-ubah dan terkadang

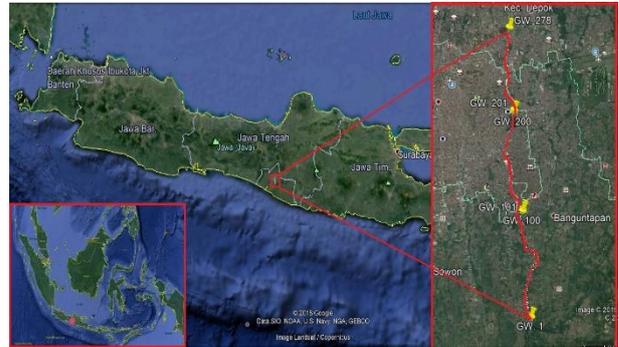
mengalami tren penurunan debit. Zhang dkk. (2007) meneliti pada tren penurunan debit air yang dilakukan dengan uji tren bertahap (uji *Man-Kendall*) dan uji perubahan mendadak (uji *Pettitt*).

Besar-kecilnya nilai debit sangat tergantung dari kemampuan sungai dalam menampung air yang mengalir. Salah satu cara untuk melakukan evaluasi kapasitas tampang yaitu dengan melakukan analisa hidrologi menggunakan *software HEC-HMS* dan analisa hidraulika menggunakan *software HEC-RAS* (Syahputra, 2015). Rivaldy dkk. (2018) meneliti tentang kapasitas tampang sungai dengan menggunakan *software HEC-HMS* dan *HEC-RAS*, namun sebelumnya perlu mencari frekuensi hujan dengan metode *log pearson III* yang dilanjutkan dengan *software HEC-HMS*. Wisudho dkk. (2017) meneliti tentang evaluasi kapasitas tampang dengan sedikit perbedaan metode, yaitu dengan analisa hidrologi yang menggunakan data curah di 3 lokasi berbeda selama 15 tahun yang kemudian dianalisa menggunakan metode *polygon thiessen*. Analisa kapasitas tampung sungai juga didasarkan pada nilai kala ulang yang dilakukan analisa hidrologi dan hidraulika menggunakan *software HEC-RAS* (Rahmawati dan Aritonang, 2016).

Letak geografis menyebabkan sungai tersebar di tiap daerah, bahkan tidak menutup kemungkinan bahwa ada sungai yang terletak dekat dengan gunung berapi. Hidayat dan Rudiarto (2013) metode yang bersifat kuantitatif berupa analisis *skoring* dan *overlay* hasil pemodelan *HEC-RAS* dapat menunjukkan prediksi risiko terhadap tiga komponen utama, yaitu bahaya banjir lahar hujan, tingkat kerentanan dan kapasitas. Sungai yang terletak dekat dengan gunung berapi pasti membutuhkan kemampuan tampung yang lebih karena tidak hanya menampung air, melainkan juga menampung banjir lahar atau material lahar. Banjir lahar yang melewati suatu sungai akan berdampak pada daya tampung sungai tersebut dan tentunya membutuhkan waktu untuk mengembalikan keadaan sungai seperti saat sebelum terjadi banjir lahar (Widodo dkk, 2011).

2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan Sungai Gajah Wong yang mengalir dari Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta hingga Kabupaten Bantul dengan letak geografis pada koordinat $-7^{\circ} 46' 29,06''$ dan $110^{\circ} 23' 54''$ hingga koordinat $-7^{\circ} 52' 33,87''$ dan $110^{\circ} 23' 43''$.



Gambar 1. Lokasi penelitian

3. Landasan Teori

Sungai

Dalam SNI 8066:2015 disebutkan bahwa pengertian sungai adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air didalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan (PP No. 38 Tahun 2011).

Kapasitas Tampung Sungai

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.

Koefisien Manning (*n*)

Koefisien *manning* merupakan nilai kekasaran dari suatu sungai atau saluran. Suatu saluran yang memiliki permukaan halus akan memiliki koefisien *manning* yang berbeda dengan saluran yang memiliki permukaan kasar, semakin kasar suatu permukaan saluran maka akan memiliki koefisien *Manning* yang semakin besar. Dalam penelitian ini dipilih

koefisien *Manning* sebesar 0,030 dikarenakan objek yang dimodelkan menggunakan *Software SMS* yaitu sungai alami yang keadaan dasar dan tebingnya berupa tanah. Penetapan nilai koefisien *Manning* akan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai koefisien *Manning* (Triatmodjo, 2008)

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran Beton	0,013
Bata dilapis mortar	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

Debit Aliran

Debit diartikan sebagai volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai/saluran terbuka per satuan waktu (SNI 8066:2015). Adapun menurut Triatmodjo (2008) tentang debit aliran sungai yaitu jumlah air yang melalui tampang bentang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasa dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/s).

SMS AQUAVEO 10.1

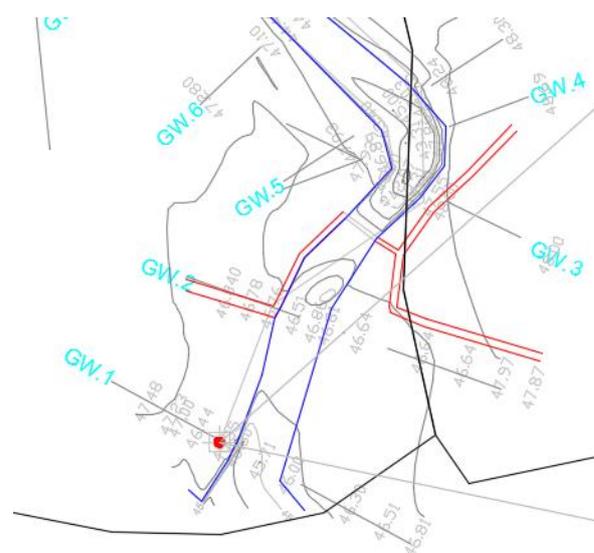
Surfacewater Modelling System (SMS) adalah *software* untuk mensimulasikan model permukaan air, namun *SMS* juga dapat digunakan untuk memvisualisasikan, memanipulasi, menganalisa dan memahami data numerik dan pengukuran terkait. *SMS* dapat digunakan pada model numerik untuk sungai, pantai, inlet, teluk, muara dan danau. Terdapat beberapa fitur pemodelan yaitu 1 dimensi dan 2 dimensi, beberapa model diantaranya yaitu *ADCIRC*, *BOUSS-2D*, *CGWAVE*, *CMS-Flow*, *CMC-WAVE (WABED)*, *FESWMS*, *GenCade*, *PTM*, *STWAVE*, *TABS*, and *TUFLOW*.

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

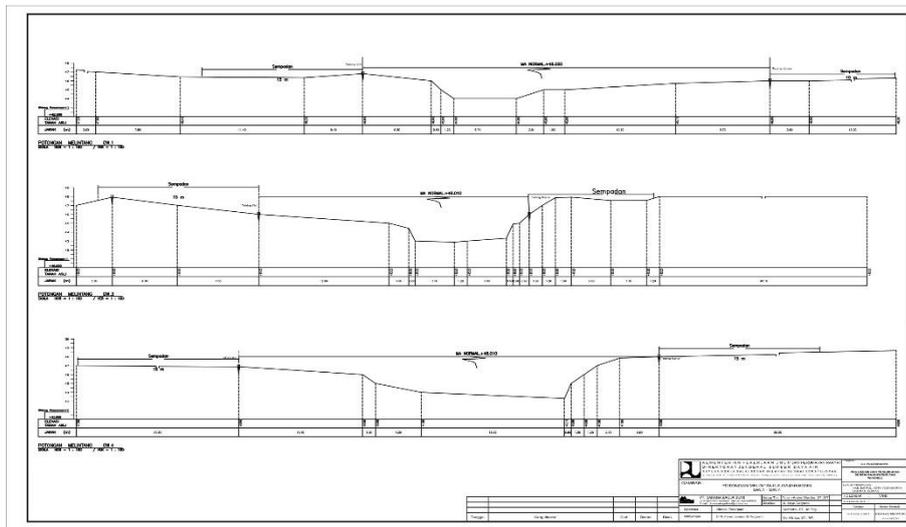
digunakan untuk menghitung ketinggian permukaan air dan kecepatan aliran air. *RMA2* merupakan solusi untuk memecahkan persamaan *Reynolds* dari *Navier-Stokes* untuk aliran turbulensi. *RMA2* digunakan untuk menghitung *Manning* atau persamaan *Chezy*, dan koefisien viskositas yang digunakan pada karakteristik turbulensi. Terdapat beberapa macam pemodelan, diantaranya yaitu pemodelan 1 dimensi dan pemodelan 2 dimensi. Menurut Siregar dan Indrawan, (2017) pemodelan 1 dimensi adalah pemodelan dengan satu arah yaitu arah aliran sepanjang jalur utama, sedangkan pemodelan 2 dimensi adalah pemodelan dengan dua arah yaitu arah aliran sepanjang jalur utama dan area di sekitar aliran.

4. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan menggunakan data sekunder hasil pengukuran Sungai Gajah Wong dari Kementerian Pekerjaan Umum Balai Besar Wilayah Sungai (KPU-BBWS) Serayu – Opak yang untuk kemudian dimasukkan pada pemodelan *RMA2* dalam *software SMS AQUAVEO 10.1*. Data sekunder yang digunakan diantaranya adalah koordinat dan elevasi dasar dan tebing sungai yang kemudian disimpan dalam file berbentuk *.txt*. Data sekunder akan ditampilkan pada Gambar 2 – Gambar 4, sedangkan untuk bagan alir penelitian akan ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 2. Contoh hasil pengukuran memanjang sungai



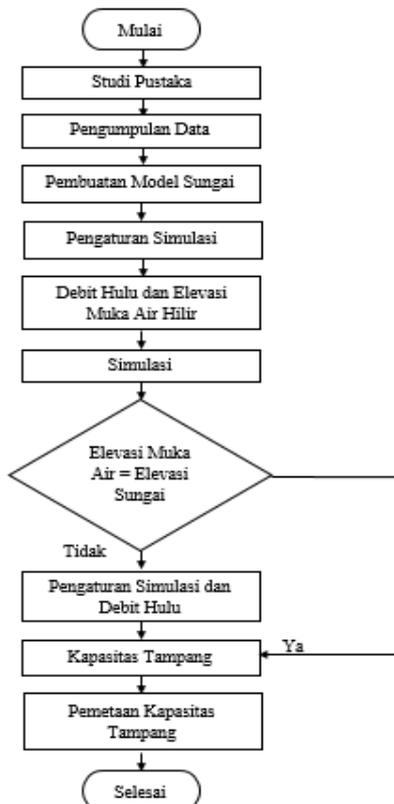
Gambar 3. Contoh potongan melintang *cross* 1, 2 dan 3

Koordinat running.txt - Notepad

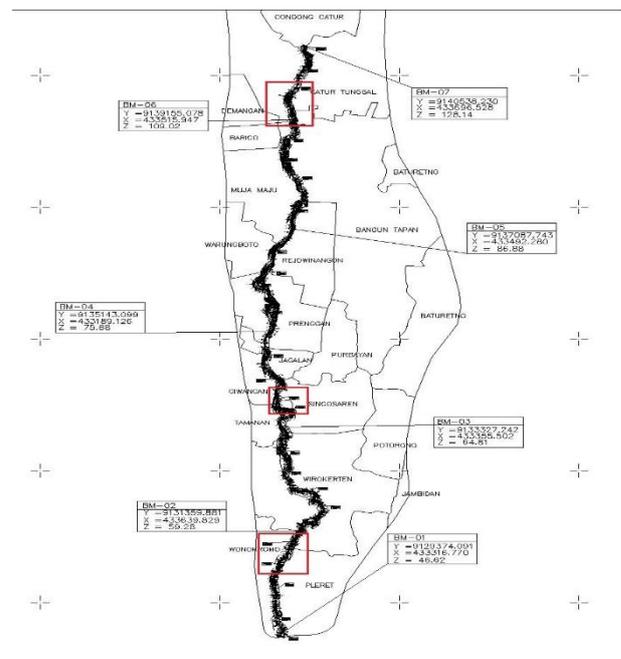
File	Edit	Format	View	Help
433322.4955	9129364.2272	46.80		
433331.4752	9129359.4651	45.71		
433342.4384	9129353.8887	46.00		
433336.2374	9129417.8440	46.76		
433345.5659	9129415.4809	46.51		
433352.7681	9129412.4128	46.86		
433358.1064	9129411.3606	46.81		
433379.5895	9129470.3968	45.00		
433384.6468	9129467.1000	42.87		
433389.2329	9129465.5341	43.31		
433392.1794	9129464.0483	47.00		
433381.9888	9129478.5385	46.89		

Gambar 4. Koordinat dan elevasi

Pemodelan Sungai Gajah Wong dalam *SMS AQUAVEO 10.1* dilakukan dengan menggunakan simulasi *RMA2* yang berfungsi untuk mencari kecepatan aliran, kedalaman air dan elevasi muka air. Sebelum dilakukan simulasi dilakukan pembagian sungai menjadi bagian hulu (*cross* 201-278), bagian tengah (*cross* 101-200) dan bagian hilir (*cross* 1-100). Wilayah sungai yang dilakukan simulasi akan ditampilkan pada hasil gambar pra-desain dan pada *Google Earth Pro* pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Bagan alir penelitian



Gambar 6. Hasil gambar pra-desain



Gambar 7. Pembagian wilayah sungai

Adapun tahapan simulasi sebagai berikut.

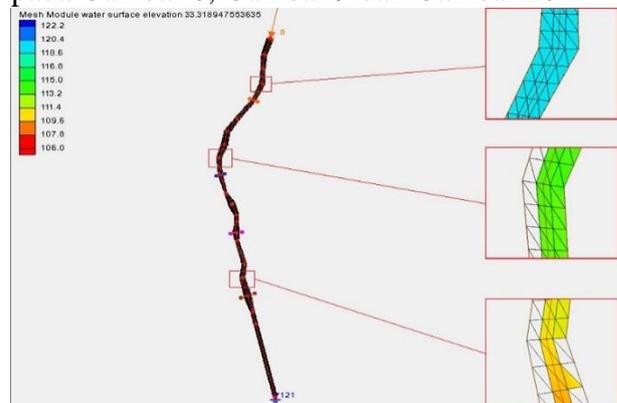
- a. Pengaturan awal pemodelan
Tahap awal dalam pemodelan yaitu melakukan pengaturan koordinat wilayah yang akan ditinjau dan penentuan satuan yang digunakan.
- b. Input koordinat dan elevasi
Koodinat dan elevasi berbentuk *file .txt* atau format *file* lain yang mendukung dalam memuat data koordinat x, y dan elevasi.
- c. Merubah modul pemodelan
Koordinat dan elevasi yang telah dimasukkan dalam *SMS AQUAVEO 10.1* berbentuk *Scatter Module*, oleh karena itu data tersebut harus dirubah menjadi *Mesh Module* sehingga data tersebut membentuk jaring-jaring elemen yang saling terhubung.
- d. Melakukan interpolasi data
Dalam melakukan analisa diperlukan ukuran jaring-jaring elemen yang cenderung sama, oleh karena itu perlu dilakukannya proses interpolasi agar jaring-jaring elemen memiliki ukuran yang kurang lebih sama. Proses interpolasi dilakukan diantara dua titik antar *cross* sungai dengan arah memanjang sungai.
- e. Membuat *nodestring*
Nodestring digunakan untuk melakukan penomeran elemen, memasukkan data debit/ *specified flowrate* dan elevasi muka air/ *water surface elevation*. Pembuatan *Nodestring* dilakukan pada *cross* sungai bagian hulu dan bagian hilir dengan cara menghubungkan titik antar tebing.
- f. Melakukan *renumber* elemen
Renumber/ penomoran berfungsi untuk memberikan nomor secara urut pada setiap

elemen yang ada yang dilakukan pada *Nodestring* bagian hulu sungai.

- g. Melakukan pengaturan simulasi
Pengaturan simulasi yang dilakukan antara lain pengaturan pada *Material Properties* seperti *Turbulence* dan *Roughness*, selain itu pengaturan dilakukan pada *Model Control* seperti *General*, *Timing* dan *Materials*.
- h. Memasukkan debit dan elevasi muka air
Data debit/ *specified flowrate* dan elevasi muka air/ *water surface elevation* dimasukkan pada *Nodestring* bagian hulu dan hilir sungai.
- i. Merubah pemodelan sungai
Sebelum melakukan simulasi maka terlebih dahulu merubah pemodelan sungai yang semula *liner* menjadi *quadratic*.
- j. Menjalankan simulasi *RMA2*
Setelah pengaturan selesai maka model sungai bisa dilakukan simulasi dengan cara *running RMA2*.
- k. Hasil simulasi
Hasil setelah melakukan simulasi dapat ditampilkan dengan tampilan sesuai kebutuhan.
- l. Membuat potongan melintang
Potongan melintang dibuat untuk mengecek kondisi elevasi muka air.

2. Hasil simulasi *RMA2*

Hasil simulasi akan menampilkan beberapa hasil diantaranya *velocity*, *velocity mag*, *water depth* dan *water surface elevation*. Fokus dalam penelitian ini yaitu pada *water surface elevation* yaitu keadaan elevasi muka air disepanjang sungai yang akan ditampilkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



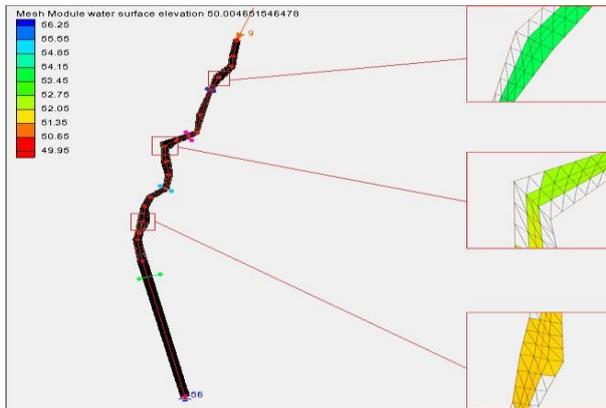
Gambar 8. *Water surface elevation* bagian hulu



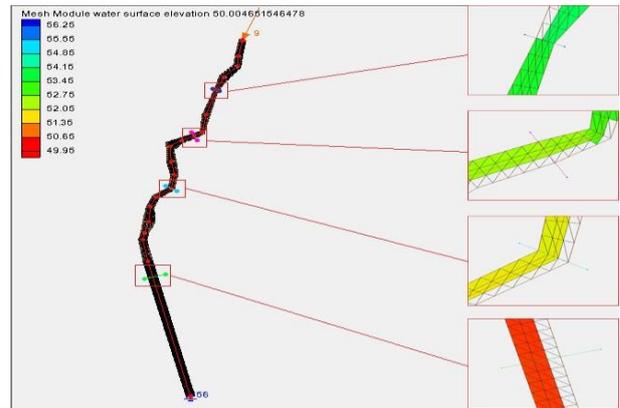
Gambar 9. Water surface elevation bagian tengah



Gambar 12. Hasil *create feature arc* bagian tengah



Gambar 10. Water surface elevation bagian hilir



Gambar 13. Hasil *create feature arc* bagian tengah

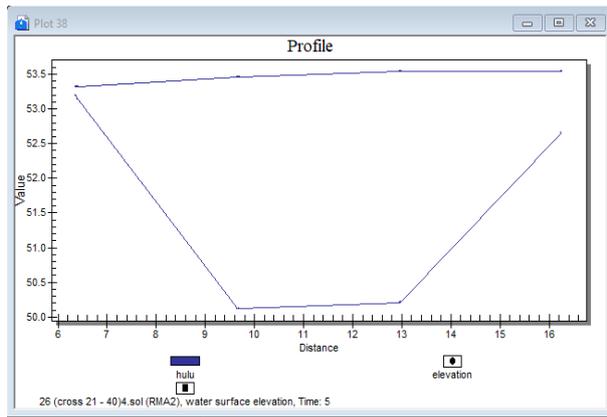
Untuk mendetailkan nilai elevasi muka air pada sungai maka dapat ditambahkan potongan melintang dengan menambahkan *create feature arc* pada sungai. Hasil *create feature arc* akan ditampilkan pada Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13.



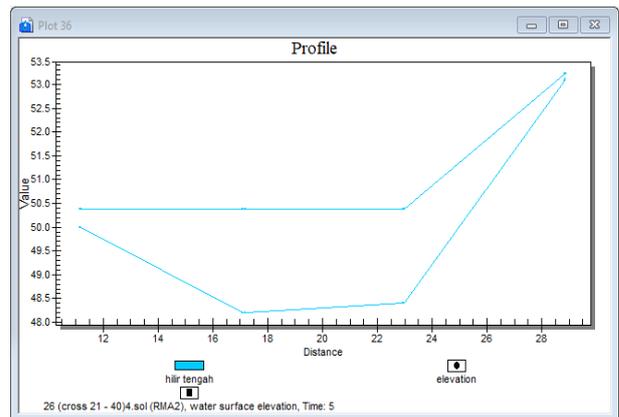
Gambar 11. Hasil *create feature arc* bagian hulu

Dalam mencari kapasitas tampung sungai terlebih dahulu memperhatikan elevasi muka air dan elevasi tebing sungai. Nilai kapasitas tampung diperoleh ketika elevasi muka air memiliki ketinggian yang kurang lebih sama dengan elevasi tebing sungai.

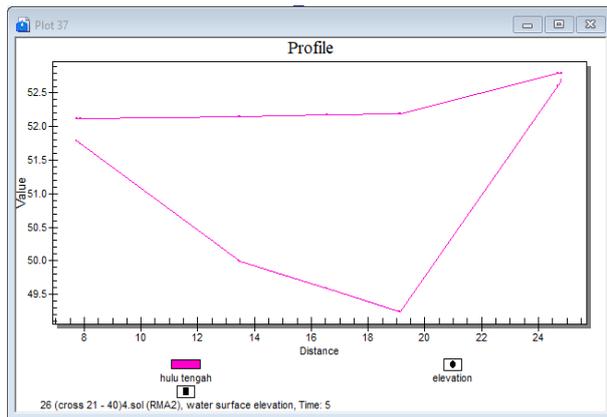
Untuk mempermudah dalam mengamati hasil simulasi maka akan dilakukan pembagian segmen berdasarkan bagian sungai masing-masing. Untuk sungai bagian hulu akan diwakili oleh segmen 1 hingga segmen 4, kemudian sungai bagian tengah diwakili oleh segmen 5 hingga segmen 8 dan untuk sungai bagian hilir diwakili oleh segmen 9 hingga segmen 12. Hasil dari pembuatan potongan akan ditampilkan pada Gambar 13 – Gambar 16, dan kapasitas tampang akan ditampilkan pada Tabel 2 – Tabel 4.



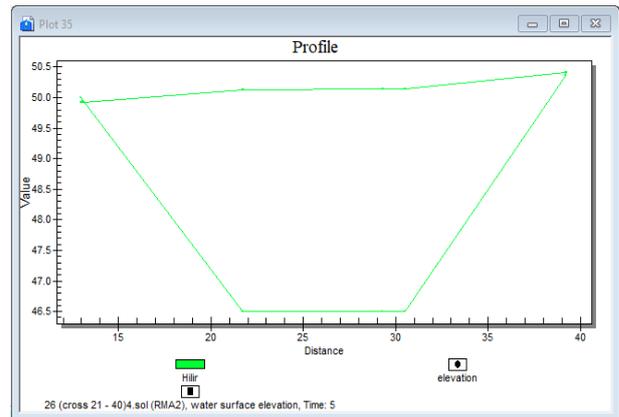
Gambar 13. Create feature arc segmen 9



Gambar 15. Create feature arc segmen 11



Gambar 14. Create feature arc segmen 10



Gambar 16. Create feature arc segmen 12

Tabel 2. Hasil simulasi sungai bagian hulu

Segmen	Debit (m ³ /s)	Elevasi Tebing (m)	Elevasi Muka Air (m)			
			Hulu	Tengah Hulu	Tengah Hilir	Hilir
1	5	116	117.74	117.72	110.41	108.35
2	6	110.3	118.06	111.39	110.46	108.46
3	5	109	117.74	117.72	110.41	108.35
4	8	108	118.34	112.47	110.44	108.34

Tabel 3. Hasil simulasi sungai bagian tengah

Area	Debit (m ³ /s)	Elevasi Tebing (m)	Elevasi Muka Air (m)			
			Hulu	Tengah Hulu	Tengah Hilir	Hilir
5	5	67	66.78	65.92	65.69	64.78
6	6	65.3	67.7	65.87	65.66	64.79
7	6	65	67.7	65.87	65.66	64.79
8	9	64.5	68.25	65.95	65.7	64.84

Tabel 4. Hasil simulasi sungai bagian hilir

Area	Debit (m ³ /s)	Elevasi Tebing (m)	Elevasi Muka Air (m)			
			Hulu	Tengah Hulu	Tengah Hilir	Hilir
9	11	52.7	53.54	52.23	51.45	50.34
10	12	51.8	53.6	52.2	51.55	50.34
11	10	50	51.06	50.7	50.38	50.15
12	10	50	51.06	50.7	50.38	50.15

3. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

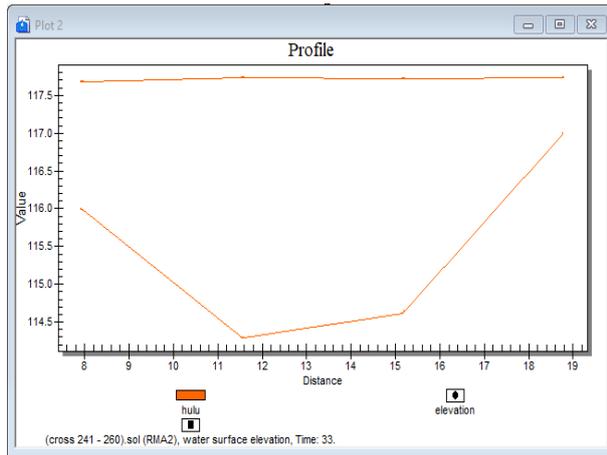
- Pemodelan RMA2 mampu memodelkan sungai sehingga menghasilkan nilai *velocity mag*, *velocity*, *water dept* dan *water surface elevation*. Visual yang diperoleh pada pemodelan memperlihatkan *water surface elevation* pada model sungai memiliki muka air yang menurun dari hulu ke hilir sesuai dengan keadaan dasar sungai pada tampilan potongan memanjang.
- Debit pada sungai bagian hulu memiliki debit sebesar 5 m³/s, 6 m³/s dan 8 m³/s. Pada sungai bagian tengah memiliki debit sebesar 5 m³/s dan 6 m³/s, sedangkan sungai bagian hilir memiliki debit sebesar 10 m³/s, 11 m³/s dan 12 m³/s.
- Berdasarkan debit yang diperoleh dari hasil simulasi maka dapat disimpulkan bahwa Sungai Gajah Wong belum memasuki kala ulang. Data Skema Sungai Gajah Wong dari Kementerian Pekerjaan Umum Balai Besar Wilayah Sungai (KPU-BBWS) Serayu-Opak menunjukkan bahwa kala ulang 2 tahun untuk Sungai Gajah Wong yaitu sebesar 85,77 m³/s, sedangkan hasil simulasi menunjukkan debit terbesar yang diperoleh yaitu 12 m³/s.

4. Daftar Pustaka

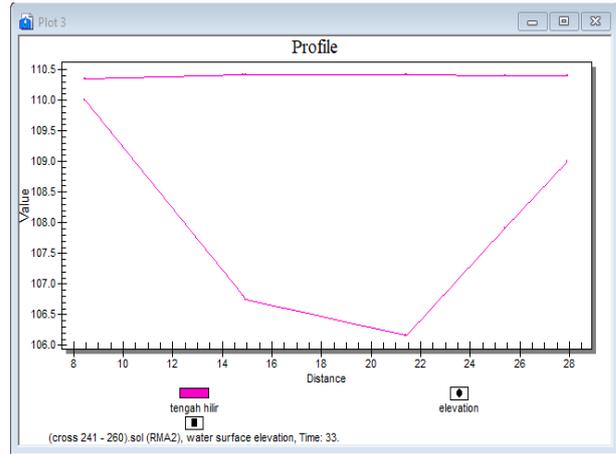
- Franchitika, R. (2017). Tutorial Penggunaan Software SMS 11.1 Modul RMA2 untuk Menganalisa Pola Pergerakan Arus di Pelabuhan Belawan. *Jurnal Education Building*, 3, 35-40.
- Hidayat, F. Rudiarto, I., 2013, Pemodelan Resiko Banjir Lahar Hujan pada Alur Kali Putih Kabupaten Magelang. *Jurnal PWK*, 2, 895-904.
- 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.
- Norhadi, A., 2015, Studi Debit Aliran pada Sungai Antasan Kelurahan Sungai Andai Banjarmasin Utara. *Jurnal Poros Teknik*, 7, 1-53.
- Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 Tentang Sungai
- Rahmawati, E. Dan Aritonang, N., 2016, Analisa Kapasitas Tampungan pada Sungai Pucang Kabupaten Sidoarjo dalam Menampung Debit banjir. *Rekayasa Teknik Sipil*, 02, 84-92.
- Rivaldy, D. R., Jansen, T., Sumarauw, J. S. F., 2018, Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Tugurara Kota Ternate terhadap Debit Banjir. *Jurnal Sipil Statik*, 6, 397-410.
- SMS User Manual (12.1)
- SNI 8066:2015, Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung.
- SNI 2830:2008, Tata Cara Perhitungan Tinggi Muka Air Sungai dengan Cara Pias Berdasarkan Rumus *Manning*.
- 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.

- 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.
- Talumepa, 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., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- 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.

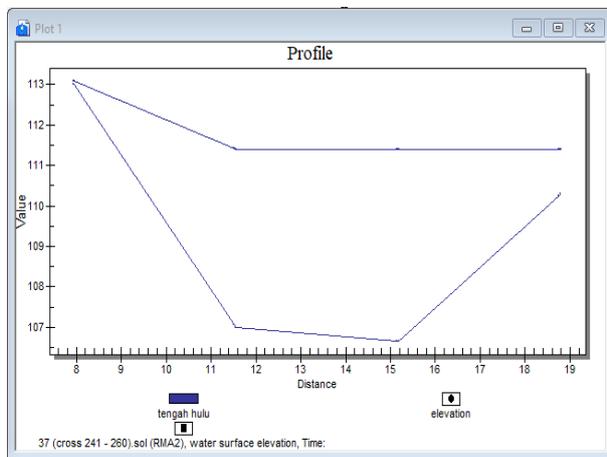
Lampiran 1. Hasil simulasi sungai bagian hulu



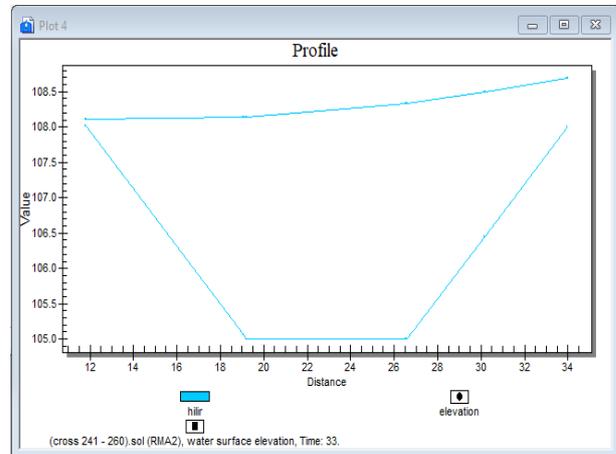
Gambar potongan sungai segmen 1



Gambar potongan sungai segmen 3

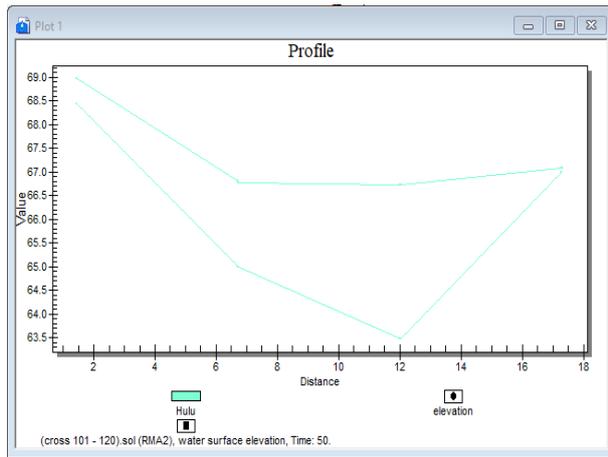


Gambar potongan sungai segmen 2

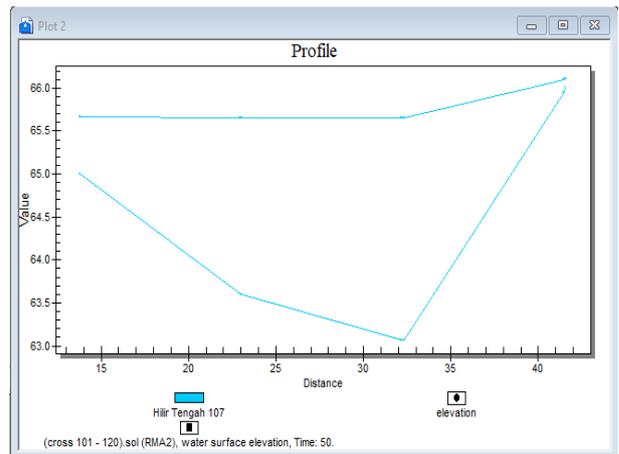


Gambar potongan sungai segmen 4

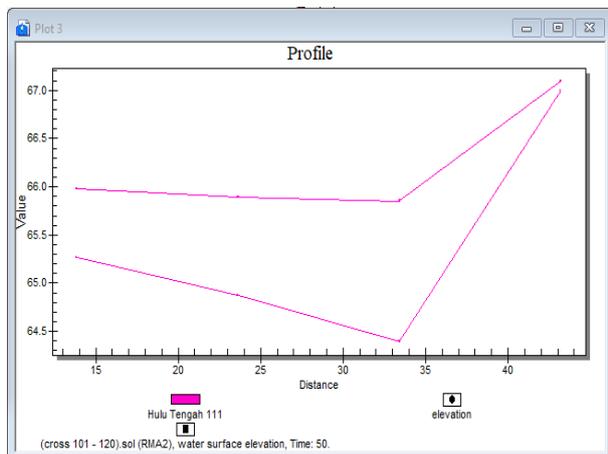
Lampiran 2. Hasil simulasi sungai bagian tengah



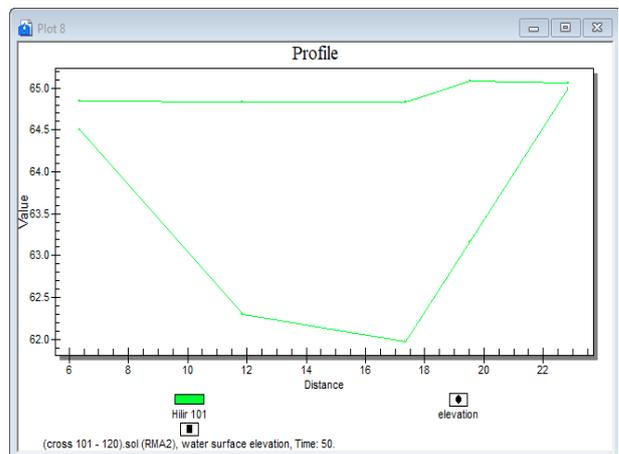
Gambar potongan sungai segmen 5



Gambar potongan sungai segmen 7

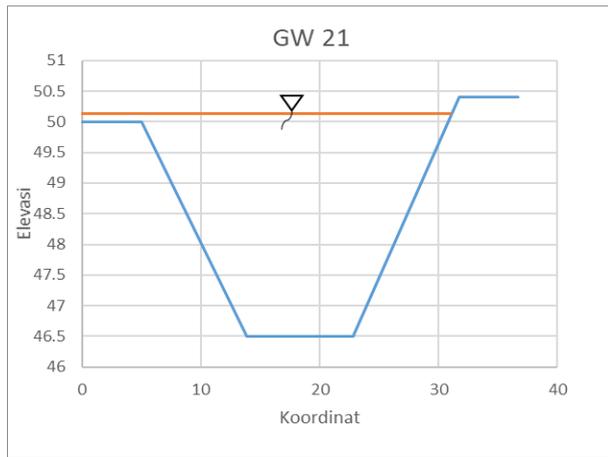


Gambar potongan sungai segmen 6

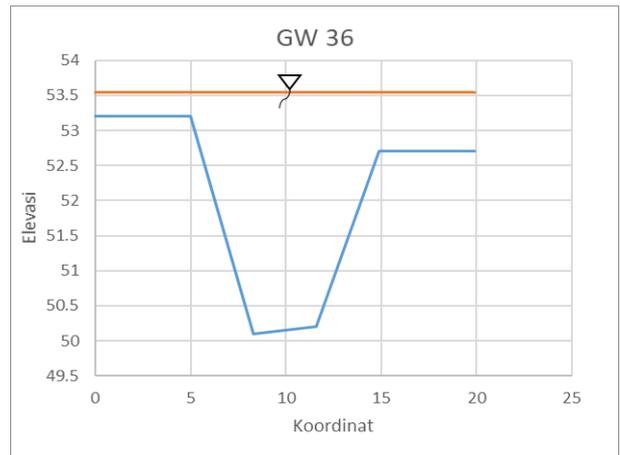


Gambar potongan sungai segmen 8

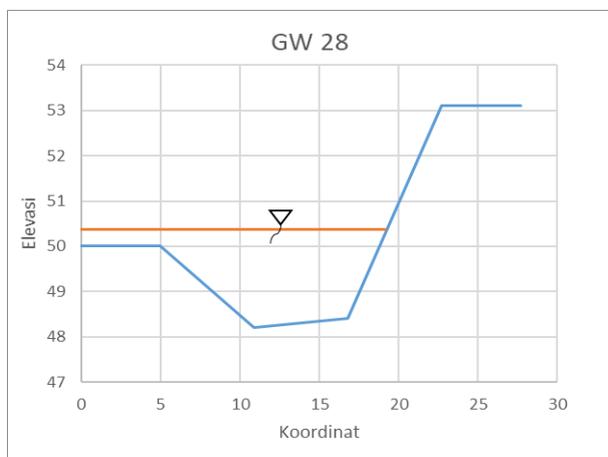
Lampiran 3. Potongan Melintang



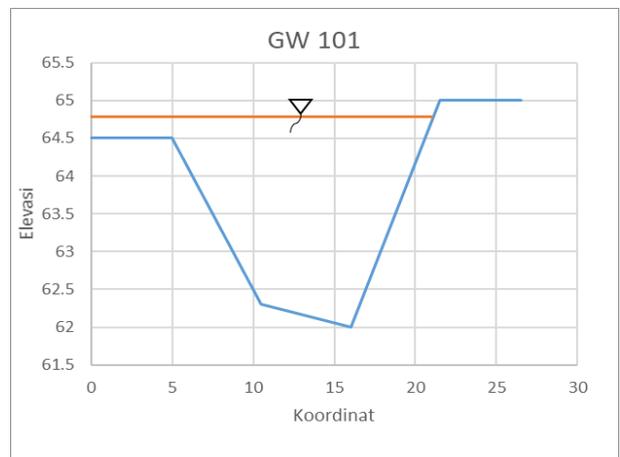
Cross 21



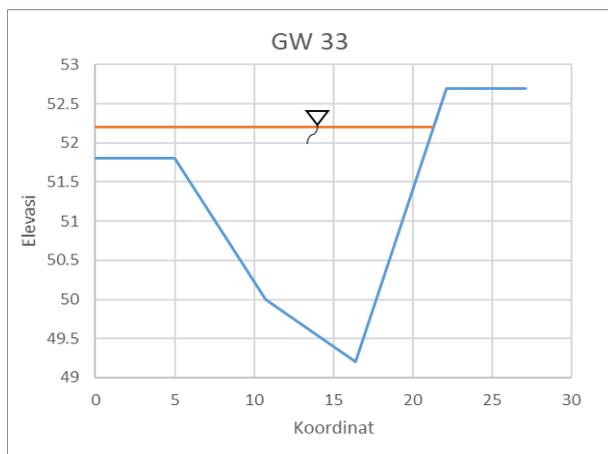
Cross 36



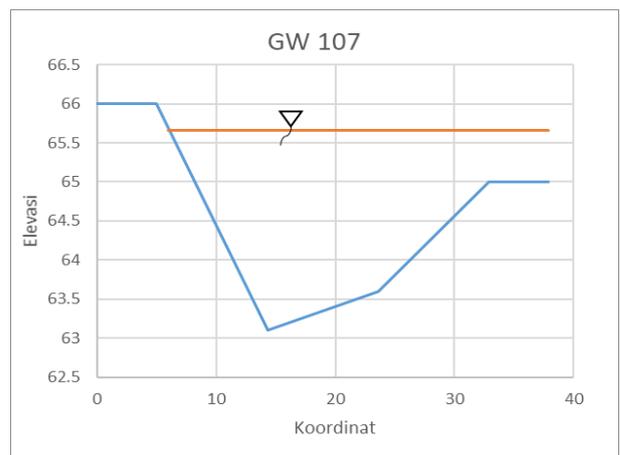
Cross 28



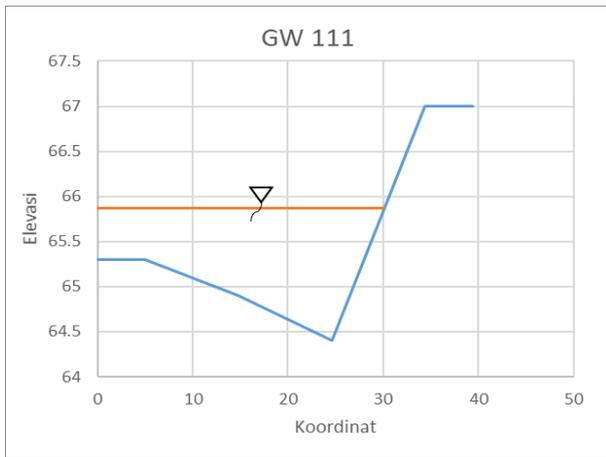
Cross 101



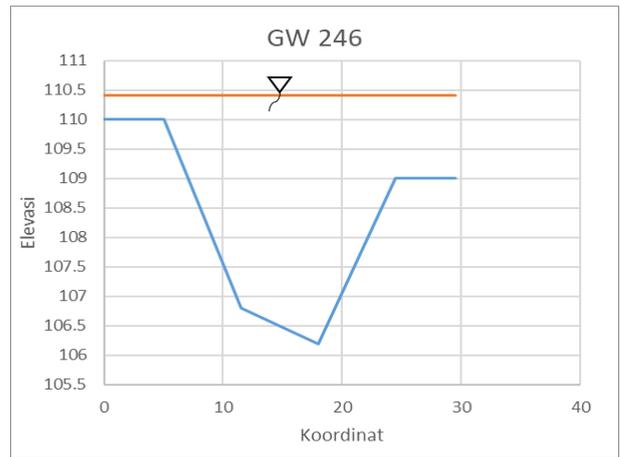
Cross 33



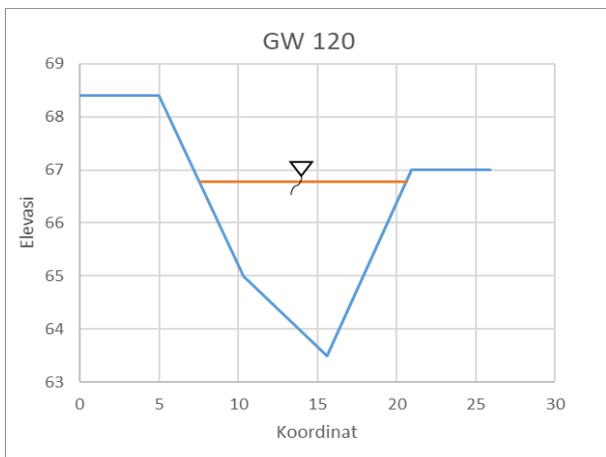
Cross 107



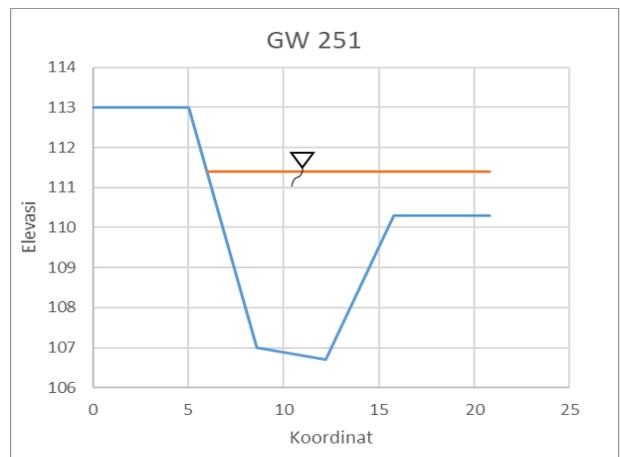
Cross 111



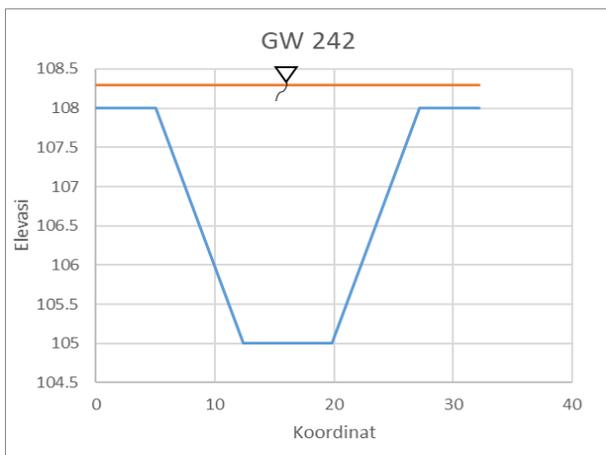
Cross 246



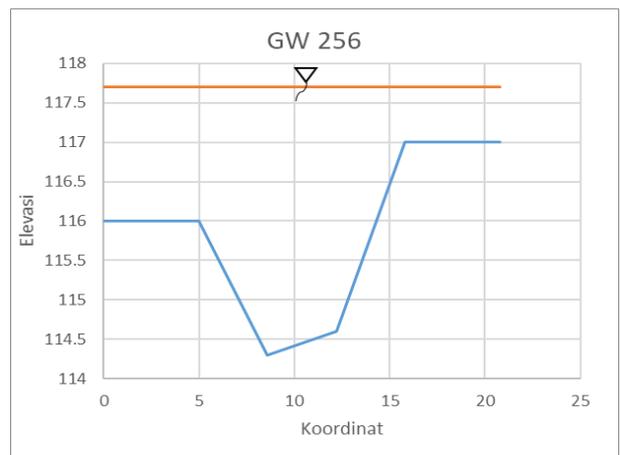
Cross 120



Cross 251



Cross 242



Cross 256

Lampiran 4. Lokasi potongan melintang

Cross	Lokasi
21	Kanggotan, Pleret, Kab. Bantul, DIY
28	Kanggotan, Pleret, Kab. Bantul, DIY
33	Bedakan, Pleret, Kab. Bantul, DIY
36	Soreyan, Wonokromo, Pleret, Kab. Bantul, DIY
101	Singosaren, Banguntapan, Kab. Bantul, DIY
107	Nglebeng, Tamanan, Banguntapan, Kab. Bantul, DIY
111	Nglebeng, Tamanan, Banguntapan, Kab. Bantul, DIY
120	Sayangan, Jagalan, Banguntapan, Kab. Bantul, DIY
242	Baciro, Gondokusuman, Kota Yogyakarta, DIY
246	Tegal Tanda, Banguntapan, Kab. Bantul, DIY
251	Papringan, Condongcatur, Depok, Kab. Sleman, DIY
256	Ambarukmo, Caturtunggal, Depok, Kab. Sleman, DIY