

TA/TL/2023/1657

TUGAS AKHIR
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI
GAJAHWONG UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGGUNAKAN HEC-RAS 4.1.0

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik
Lingkungan



INTAN PURNAMA DEWI

19513194

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2023

TUGAS AKHIR
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI
GAJAHWONG UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGGUNAKAN HEC-RAS 4.1.0

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik
Lingkungan



INTAN PURNAMA DEWI
19513194

Disetujui,
Dosen Pembimbing


Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Tanggal : 12 Oktober 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII




Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng)., Ph.D.

Tanggal : 13 Oktober 2023

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI
GAJAHWONG UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGGUNAKAN HEC-RAS 4.1.0

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Kamis

Tanggal : 12 Oktober 2023

Disusun Oleh :

Intan Purnama Dewi

19513194

Tim Penguji :

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T. Ph.D.

Hudori, S.T., M.T. Ph.D.

Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian penulis sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali atas arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini penulis buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 17 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Intan Purnama Dewi

NIM : 19513194

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya serta shalawat kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi Pemodelan Kualitas Air Sungai Gajahwong untuk Parameter BOD dan DO Menggunakan HEC-RAS 4.1.0”.

Penyusunan tugas akhir ini sesuai dengan kurikulum yang berlaku di Program Studi Teknik Lingkungan dan menjadi salah satu dari hasil pemikiran dalam pemecahan masalah di bidang Teknik Lingkungan. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Wahyu Sujatmoko dan Ibu Ni Putu Suwandewi Natalia yang selalu memberikan dukungan, kepercayaan dan memanjatkan doa-doa terbaik serta kasih sayang kepada penulis. Kemudian, adik-adik penulis Niken Amalia Putri dan Muhammad Daffa Ibra Maulana yang selalu memberikan *support*.
2. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng)., Ph.D.
3. Dosen pembimbing penulis Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T. Ph.D dan dosen penguji Bapak Hudori, S.T., M.T. Ph.D serta Bapak Dr. Eng Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. Terima kasih atas segala dukungan, bimbingan dan kepercayaan yang telah diberikan.

4. Seluruh dosen, staf dan Keluarga Besar Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Terima kasih atas bantuan, pengajaran dan pengalaman yang telah diberikan.
5. Seluruh staf Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan dan pengalaman kepada penulis.
6. Doddi Yudianto, S.T. M.Sc., Ph.D, Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M.Eng, Mr. Hanief Ally, Mba Hana, Mas Albertus dan Mas Elang. Terimakasih telah meluangkan waktu dan membagikan ilmu tentang HEC-RAS.
7. Teruntuk teman seperjuangan Alina Ishma Syahidah. Terimakasih telah menemani dan kebersamai dalam suka dan duka selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman “Bimbingan TA Pak Adam” Dany, Ratih, Cholil, Hanif, Sabiq, Ferdit dan Bagas yang memberikan banyak bantuan dan berproses bersama dari awal pembentukan proposal hingga selesai.
9. Sahabat penulis Mas Rai, Elvira, Nova, Desty, Gita, Putri dan Rana yang selalu membantu dalam proses belajar dari awal semester hingga selesai.
10. Semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun serta menambah pengetahuan penulis terlebih dalam penyusunan tugas akhir.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 17 Oktober 2023

Intan Purnama Dewi

NIM : 19513194

ABSTRAK

Intan Purnama Dewi. Studi Pemodelan Kualitas Air Sungai Gajahwong untuk Parameter BOD dan DO Menggunakan HEC-RAS 4.1.0. Dibimbing oleh Adam Rus Nugroho, S.T., M.T. Ph.D.

Sungai Gajahwong merupakan salah satu dari tiga sungai utama yang melintasi Kota Yogyakarta dengan status tercemar, dimana peruntukannya sebagai sumber air golongan I pada bagian hulu sungai dan golongan II pada bagian tengah sampai hilir sungai. Potensi sumber pencemar yang terdapat di Sungai Gajahwong disebabkan oleh kepadatan penduduk yang menyebabkan menurunnya kuantitas dan kualitas air sungai dari pencemaran baik fisika, kimia dan biologi seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan daya tampung beban pencemar dan menilai kualitas air pada parameter bahan organik apakah memenuhi standar baku mutu air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menggunakan *software* HEC-RAS 4.1.0. Lokasi penelitian dibagi menjadi 6 segmen dengan jumlah titik sampling sebanyak 7 titik. Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan metode RMSPE dengan hasil yang didapatkan untuk parameter BOD adalah 4% dan DO 2% dengan ketentuan model diterima <50%. Penelitian ini menggunakan dua skenario pemodelan *software* HEC-RAS. Skenario 1 merupakan skenario dengan kondisi eksisting sedangkan skenario 2 merupakan skenario pembentukan model kualitas air agar sesuai dengan standar baku mutu air Kelas II (PP Nomor 22 Tahun 2021). Hasil perhitungan daya tampung menunjukkan bahwa parameter BOD pada segmen 1 hingga segmen 6 masih memiliki nilai daya tampung sebesar 37,32 kg/hari, 81,56 kg/hari, 107,08 kg/hari, 133,92 kg/hari, 212,34 kg/hari dan 216,09 kg/hari.

Kata kunci : BOD, Daya tampung, DO, HEC-RAS, Sungai Gajahwong

ABSTRACT

Intan Purnama Dewi. *Modeling Study of Gajahwong River Water Quality for BOD and DO Parameters Using HEC-RAS 4.1.0. Supervised by Adam Rus Nugroho, S.T., M.T. Ph.D.*

Gajahwong River is one of the three main rivers crossing Yogyakarta City with a polluted status, where its designation as a water source for class I in the upper reaches of the river and class II in the middle to lower reaches of the river. The potential source of pollution in Gajahwong River is caused by population density which causes a decrease in the quantity and quality of river water from physical, chemical and biological pollution such as Biochemical Oxygen Demand (BOD). The purpose of this study is to determine the capacity of pollutant load capacity and assess water quality in the organic matter parameter whether it meets the water quality standards according to Government Regulation Number 22 of 2021 using HEC-RAS 4.1.0 software. The research location is divided into 6 segments with a total of 7 sampling points. In this study, validation was carried out using the RMSPE method with the results obtained for the BOD parameter being 4% and DO 2% with the provisions of the model accepted <50%. This research uses two HEC-RAS software modeling scenarios. Scenario 1 is a scenario with existing conditions while scenario 2 is a scenario of establishing a water quality model to comply with Class II water quality standards (PP Number 22 of 2021). The results of the capacity calculation show that the BOD parameter in segment 1 to segment 6 still has a capacity value of 37.32 kg / day, 81.56 kg / day, 107.08 kg / day, 133.92 kg / day, 212.34 kg / day and 216.09 kg / day.

Keywords: *BOD, Capacity, DO, Gajahwong River, HEC-RAS*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sungai Gajahwong	5
2.2 Sumber Pencemaran Air Sungai	5
2.3 Parameter Kualitas Air Sungai	6
2.3.1 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	6
2.3.2 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	6
2.4 Baku Mutu Kualitas Air Sungai	6
2.5 <i>Self Purification</i>	8

2.6 Daya Tampung Beban Pencemar.....	9
2.7 Model Kualitas Air	11
2.8 Model HEC-RAS	11
2.8.1 Perbandingan HEC-RAS dengan Aplikasi Kualitas Air Lainnya.....	12
2.8.2 Persamaan Kontinuitas	13
2.8.3 Persamaan Momentum	14
2.8.4 Persamaan Energi	15
2.8.5 Koefisien Kekasaran Manning Dalam HEC-RAS.....	16
2.8.6 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi dalam HEC-RAS.....	17
2.8.7 Keseimbangan Massa	18
2.8.8 Parameter Transpor Polutan.....	19
2.8.9 <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	19
2.8.10 <i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	20
2.9 Penelitian Terdahulu	22
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.3 Penentuan Segmen Atau Ruas	28
3.4 Metode Pengumpulan Data	29
3.4.1 Data Primer	29
3.4.2 Data Sekunder.....	30
3.5 Pemodelan Dengan Program HEC-RAS 4.1.0.....	30
3.5.1 Membuat Project Baru (<i>Starting A New Project</i>)	31
3.5.2 Menginput Data Geometri (<i>Entering Geometric Data</i>).....	31

3.5.3 Melakukan Perhitungan Hidraulik.....	32
3.5.4 Peniruan Kualitas Air.....	33
3.5.5 Kalibrasi dan Validasi Perubahan Kualitas Air.....	33
3.5.6 Teknik Simulasi Skenario	34
3.6 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar	35
BAB IV	37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Kondisi Lokasi Titik Sampling di Sungai Gajahwong.....	37
4.2 Kondisi Hidraulik Lokasi Titik Sampling	39
4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai.....	44
4.3.1 Temperatur Air	44
4.3.2 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD).....	45
4.3.3 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	47
4.4 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong	48
4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Dengan HEC-RAS	50
4.5.1 Model Geometri Pada <i>Software</i> HECRAS	50
4.5.2 Penampang Melintang dan Penampang Memanjang.....	52
4.5.3 Jembatan	57
4.5.4 Bendung.....	60
4.5.5 Perhitungan Hidraulik.....	62
4.5.6 Peniruan Kualitas Air.....	63
4.5.7 Kalibrasi dan Validasi Model.....	69
4.5.8 Hasil Skenario Model	72
4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar.....	81
4.6.1 Beban Pencemar	81

4.6.2 Daya Tampung Beban Pencemar	82
BAB V.....	84
KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
5.1 Kesimpulan.....	84
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN A PERATURAN PEMERINTAH	90
LAMPIRAN B DOKUMENTASI KEGIATAN	93
LAMPIRAN C DATA SUMBER PENCEMAR.....	95
LAMPIRAN D KONDISI PENAMPANG SUNGAI GAJAHWONG	105
LAMPIRAN E DATA HEC-RAS	107
LAMPIRAN F MANUAL HEC-RAS 4.10	113
RIWAYAT HIDUP	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria Baku Mutu Air Berdasarkan Kelas	7
Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Kekasaran Manning pada Program HEC-RAS.....	17
Tabel 2. 3 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi	18
Tabel 2. 4 Parameter untuk Source dan Sink BOD	20
Tabel 2. 5 Parameter untuk source dan sinks DO	20
Tabel 2. 6 Rincian Penelitian Terdahulu	22
Tabel 3. 1 Ringkasan Penelitian	26
Tabel 3. 2 Segmentasi Sungai Gajahwong	28
Tabel 3. 3 Data Primer dan Alat yang Digunakan.....	30
Tabel 3. 4 Simulasi Model	35
Tabel 4. 1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Gajahwong	37
Tabel 4. 2 Data Hidrolik Sungai Gajahwong	40
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Temperatur Air di Sungai Gajahwong	44
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan BOD Sungai Gajahwong	46
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran DO di Sungai Gajahwong.....	47
Tabel 4. 6 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong	48
Tabel 4. 7 Faktor Effluent Pertanian	49
Tabel 4. 8 Data Koefisien Kekasaran Manning	52
Tabel 4. 9 Data Meteorologi.....	68
Tabel 4. 10 Data Observasi	69
Tabel 4. 11 Nilai Koefisien untuk Simulasi BOD	70
Tabel 4. 12 Nilai Koefisien untuk Simulasi DO	71
Tabel 4. 13 Validasi Model BOD dengan Metode RMSPE	71
Tabel 4. 14 Validasi Model DO dengan Metode RMSE	72
Tabel 4. 15 Beban Pencemar pada Simulasi Skenario 1	82
Tabel 4. 16 Beban Pencemaran pada Simulasi Skenario 2	82
Tabel 4. 17 Daya Tampung Beban Pencemar pada Parameter BOD	83
Tabel 4. 18 Daya Tampung Beban Pencemar pada Parameter BOD dengan Qual2kw	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Self Purification.....	9
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	25
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Penelitian	27
Gambar 3. 3 Titik Lokasi Sampling Sungai Gajahwong.....	28
Gambar 3. 4 Sketsa Segmentasi Sungai Gajahwong	29
Gambar 3. 5 Toolbars di Layar Utama HEC-RAS.....	31
Gambar 3. 6 Penampang Sungai	32
Gambar 4. 1 Nilai Debit Sungai Gajahwong	41
Gambar 4. 2 Keseimbangan Massa.....	42
Gambar 4. 3 Nilai Temperatur Air Sungai Gajahwong.....	45
Gambar 4. 4 Nilai BOD Sungai Gajahwong.....	46
Gambar 4. 5 Nilai DO Sungai Gajahwong.....	47
Gambar 4. 6 Alur Saluran Sungai Gajahwong.....	51
Gambar 4. 7 Data Tampang Melintang Bagian Hulu (RS Km 14,3)	53
Gambar 4. 8 Data Tampang Melintang Bagian Hulu (RS Km 10,5)	54
Gambar 4. 9 Tampang Memanjang Sungai Gajahwong	55
Gambar 4. 10 Profil X-Y-Z Sungai Gajahwong.....	56
Gambar 4. 11 Data Jembatan	57
Gambar 4. 12 Pemasukan Data Jembatan	58
Gambar 4. 13 Pemasukan Data Pilar	59
Gambar 4. 14 Data Culvert	60
Gambar 4. 15 Pemasukan Data Bendung.....	61
Gambar 4. 16 Pemasukan Steady Flow Data	62
Gambar 4. 17 Pemasukan Data Boundary Condition	63
Gambar 4. 18 Pemasukan Kondisi Batas	65
Gambar 4. 19 Pemasukan Kondisi Awal.....	66
Gambar 4. 20 Pemasukan Nilai Koefisien Dispersi.....	67
Gambar 4. 21 Parameter Nutrien	70
Gambar 4. 22 Model Skenario 1 Parameter BOD.....	73

Gambar 4. 23 Schematic Plot BOD	75
Gambar 4. 24 Model Skenario 1 Parameter DO	76
Gambar 4. 25 schematic plot DO	78
Gambar 4. 26 Model Simulasi 2 Parameter BOD	79
Gambar 4. 27 Model Simulasi 2 Parameter DO	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.....	90
Lampiran 2 Klasifikasi Mutu Air	92
Lampiran 3 Peraturan Gubernur DIY Nomor 22 Tahun 2007.....	92
Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan Sampling	93
Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan Laboratorium.....	94
Lampiran 6 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya	95
Lampiran 7 Perhitungan Debit Non-Point Source	96
Lampiran 8 Perhitungan Beban Pencemar NPS BOD	98
Lampiran 9 Penampang Basah Sungai Gajahwong	105
Lampiran 10 Cross section.....	107
Lampiran 11 Jembatan dan Bendung	110
Lampiran 12 Schematic Plot	112
Lampiran 13 Manual HEC-RAS	113

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, masalah Sumber Daya Air (SDA) secara umum dibagi menjadi dua bagian utama yaitu kuantitas air dan kualitas air. Salah satu bentuk infrastruktur sumber daya air adalah sungai. Di Indonesia, sungai merupakan sumber air yang digunakan untuk berbagai keperluan. Seiring waktu, pertumbuhan penduduk dan perubahan tata guna lahan telah memberikan tekanan pada kondisi lingkungan seperti perubahan ekosistem sungai dengan penurunan kuantitas dan kualitas aliran (Widodo, 2013). Menurut PERGUB DIY No. 22 Tahun 2007 Sungai Gajahwong merupakan salah satu dari tiga sungai utama yang melintasi Kota Yogyakarta dengan status tercemar, dimana peruntukannya sebagai sumber air golongan I pada bagian hulu sungai dan golongan II pada bagian tengah sampai hilir sungai. Sungai ini membelah Kota Yogyakarta dengan bagian hulu berada di Kabupaten Sleman dan hilirnya berada di Kabupaten Bantul.

Pencemaran yang disebabkan oleh kepadatan penduduk yang meningkat pesat menyebabkan pencemaran baik fisik, kimia dan biologi yang menyebabkan penurunan kuantitas dan kualitas Sungai Gajahwong. Penelitian kualitas air Sungai Gajahwong menunjukkan bahwa hasil zat mengandung beberapa unsur yang mempengaruhi kualitas air, dilihat dari hasil pengukuran parameter *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), parameter DO berada pada kisaran 0,5 – 5,6 mg/L, dan parameter BOD berkisar 1,5 – 6,6 mg/L, sedangkan kondisi ideal parameter DO dan BOD agar dapat masuk ke Sungai Gajahwong adalah 4 mg/L dan 3 mg/L (Sagala, 2019). Pemerintah telah berupaya mengatasi permasalahan kualitas air namun permasalahan tersebut belum dapat teratasi secara optimal.

Dari uraian diatas, maka diperlukan suatu upaya untuk mempertahankan kualitas air Sungai Gajahwong agar sesuai dengan peruntukannya. Salah satu strategi pengendalian pencemaran air adalah dengan monitoring kualitas air dan

menetapkan daya tampung beban pencemaran. Dengan menentukan daya tampung beban pencemarannya, maka dapat ditentukan batas maksimum limbah yang boleh dimasukkan agar sungai tersebut tidak tercemar dan mampu memperbaiki kondisi kualitas air secara alami (*self-purification*). Salah satu strategi melakukan perhitungan daya tampung beban pencemaran sumber air adalah dengan pemodelan kualitas air menggunakan metode *Hydraulic Engineering Center-River Analysis System* (HEC-RAS) 4.1.0. Dari berbagai macam metode pemodelan kualitas air seperti Qual2Kw, SWAT dan MIKE 11, HEC-RAS merupakan salah satu aplikasi yang berfokus pada sistem hidraulik dan hidrologi sungai. Dimana HEC-RAS menyediakan berbagai macam fitur selain menghitung kualitas air seperti menghitung profil muka aliran, simulasi banjir dan transport sedimen.

Kelebihan HEC-RAS sendiri pada menu kualitas air dibandingkan dengan aplikasi lainnya adalah HEC-RAS mampu memprediksi kualitas air berdasarkan waktu yang diinginkan untuk mengantisipasi terjadinya kualitas air yang buruk kedepannya terhadap dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan serta mampu mengetahui penyebaran polutan yang dapat dilihat pada *schematic plot* sesuai dengan penampang yang dibuat. Selain itu, HEC-RAS juga menampilkan beberapa hasil luaran dengan tampilan yang bervariasi (USACE, 2006). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini *software* HEC-RAS digunakan untuk menentukan alokasi beban pencemar yang diperlukan untuk mengendalikan zat pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar dan menilai kualitas air pada parameter bahan organik apakah memenuhi standar baku mutu air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu dari paparan latar belakang di atas, masalah yang dapat diidentifikasi antara lain :

1. Bagaimana pemodelan kualitas air menggunakan HEC-RAS di Sungai Gajahwong?
2. Bagaimana menentukan daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Gajahwong menggunakan HEC-RAS?

3. Berapakah nilai daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Gajahwong menggunakan HEC-RAS?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya :

1. Mengetahui pemodelan kualitas air menggunakan HEC-RAS di Sungai Gajahwong.
2. Mengetahui cara penentuan daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Gajahwong menggunakan HEC-RAS.
3. Mengetahui nilai daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Gajahwong menggunakan HEC-RAS.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain :

1. Lokasi penelitian dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Gajahwong dengan bagian hulu berada di Kota Yogyakarta dan hilirnya berada di Kabupaten Bantul sepanjang 14,3 km.
2. Pengambilan sampel di mulai dari Jembatan Pelang, Depok, Kota Yogyakarta hingga Jembatan Kanggotan, Wonokromo, Pleret, Bantul.
3. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Maret 2023.
4. Parameter kualitas air yang ditinjau adalah DO dan BOD.
5. Pengujian sampel parameter BOD yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UII mengacu pada SNI 6989 : 72 : 2009 Tentang Cara Uji Kebutuhan BOD.
6. Program yang digunakan HEC-RAS 4.1.0.
7. Pemodelan aliran hanya dalam satu dimensi.
8. Simulasi pada pemodelan adalah aliran permanen tak seragam (*steady non uniform*) dan aliran tunak (*steady flow*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi pembelajaran tentang lingkungan hidup khususnya mengenai kualitas air sungai.
2. Diharapkan sebagai bentuk masukan kepada pemerintah akibat dari kegiatan pencemaran kontaminan bahan organik terhadap kualitas air permukaan (sungai).
3. Sebagai gambaran sebaran bahan pencemar kualitas air di Sungai Gajahwong dan mengenalkan fitur *water quality simulation* dari HEC-RAS 4.1.0.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Gajahwong

Sungai Gajahwong merupakan sungai yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dengan luas sekitar 49.08 Km² dan Panjang sungai kurang lebih 22,81 Km. Rata-rata kedalaman Sungai Gajahwong ialah 7 meter dengan ketinggian muka air rata-rata sekitar 4 meter pada musim penghujan. Sungai Gajahwong ini melewati tiga Kabupaten/Kota yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Pada Kabupaten Sleman, Sungai Gajahwong melintasi 4 (empat) kecamatan, di antaranya yaitu Pakem, Ngaglik, Depok dan Ngemplak. Pada Kota Yogyakarta Sungai Gajahwong melintasi 3 (tiga) wilayah kecamatan yaitu Gondokusuman, Umbulharjo dan Kota Gede. Sedangkan untuk wilayah Kabupaten Bantul, Sungai Gajahwong hanya melintasi 1 (satu) wilayah kecamatan yaitu Banguntapan (Ahdiaty & Fitriana, 2020). Sungai Gajahwong merupakan sungai yang keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kegiatan manusia di daerah aliran sungainya (DAS).

2.2 Sumber Pencemaran Air Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan. Pencemaran pada suatu perairan dapat menimbulkan kerusakan yang akan berdampak pada penurunan kualitas perairan tersebut. Secara umum, ada dua penyebab utama pencemaran air. Sumber pencemaran air (*point source*) dari titik tetap/tetap dan sumber pencemaran air (*non-point source*) dari titik tetap/bergerak. Sumber pencemar dari titik tetap antara lain pabrik, fasilitas pengolahan air limbah, sistem tangki septik dan sumber lain yang jelas membuang polutan ke sumber air. Sumber tidak tetap termasuk limpasan sedimen, pupuk, bahan kimia dan limbah dari peternakan hewan.

2.3 Parameter Kualitas Air Sungai

2.3.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Menurut penelitian pada buku Metcalf & Eddy (1991) menjelaskan bahwa BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang sangat diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik (polutan) selama waktu tertentu. Menganalisis sebuah BOD untuk menentukan pencemaran limbah merupakan suatu uji untuk mengevaluasi daya tampung badan air. BOD biasanya dalam pengujiannya berlangsung selama 5 hari dengan anggapan bahwa selama waktu itu persentase reaksi cukup besar dari total BOD. Nilai BOD5 adalah 70 – 80% dari nilai BOD total. Semakin banyak zat organik yang terdapat dalam air, semakin besar kebutuhan oksigen, semakin tinggi nilai BOD menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi.

2.3.2 *Dissolved Oxygen (DO)*

Menurut buku Sugiharto pada tahun 1987 *Dissolved Oxygen (DO)* merupakan jumlah oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan milligram per liter. Oksigen terlarut digunakan sebagai indikator kontaminasi atau keadaan dekomposisi limbah yang ada. Semakin banyak oksigen terlarut, maka semakin sedikit kotoran yang ada di limbah. Jadi, besarnya DO berbanding terbalik dengan BOD. Oksigen terlarut dalam air berasal dari fotosintesis, difusi udara dan turbulensi. Dengan bertambahnya kedalaman, kadar oksigen terlarut menurun karena proses fotosintesis melambat dan bisa juga disebabkan oleh banyaknya limbah organik yang berasal dari limbah domestik dan industri melebihi kapasitas *self purification* sungai, serta adanya bahan kimia yang teroksidasi di bawah pengaruh oksigen.

2.4 Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Kualitas air adalah keadaan kualitas air yang diukur dan/atau diuji berdasarkan parameter dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-

undangan. Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar organisme, zat, energi, komponen, dan/atau pencemar yang boleh ada di dalam air. Kelas air adalah penilaian kualitas air yang dapat terus digunakan untuk peruntukan tertentu. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kualitas air diklasifikasikan menjadi empat kelas berdasarkan tingkat kualitas air.

- a. Kelas Satu, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum atau tujuan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama.
- b. Kelas Dua, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama.
- c. Kelas Tiga, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan tujuan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama.
- d. Kelas Empat, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama.

Selain itu, terdapat kriteria baku mutu air berdasarkan kelas menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Kriteria Baku Mutu Air Berdasarkan Kelas

No.	Parameter	Unit	Kelas Air				Keterangan
			1	2	3	4	
1.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
2.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Angka batas minimum

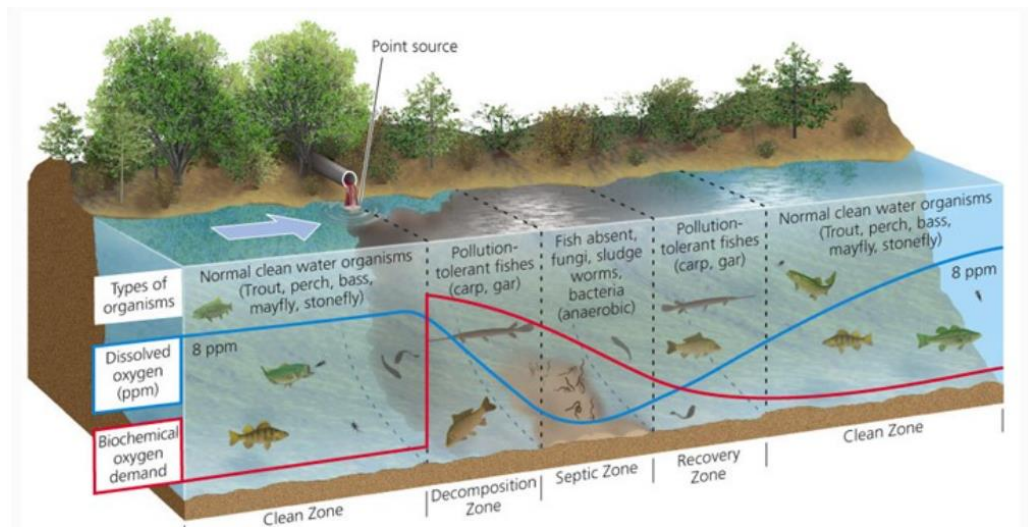
Menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007 Bab IV Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Pasal 8 Bagian 5 menjelaskan bahwa :

- (1) Sungai Gajahwong mulai dari bagian hulu ke hilir sampai Dusun Ngebel Gedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman menurut peruntukannya sebagai sungai kelas satu.
- (2) Sungai Gajahwong mulai Dusun Ngebel Gedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman ke arah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Karet, Wonokromo, Pleret, Bantul menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua.

2.5 Self Purification

Self Purification adalah upaya pemurnian air dari zat pencemar yang terkandung di dalamnya melalui proses alami tanpa pengaruh aktivitas manusia (Hendrasarie & Cahyarani, 2019). Kemampuan lingkungan untuk pulih dari pencemaran harus didukung oleh daya tampung dari lingkungan. Konsentrasi oksigen terlarut mempengaruhi terjadinya beban polutan di badan air karena ketersediaan konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi dapat mendukung proses pemurnian air. *Self purification* terdiri dari beberapa zona, yaitu :

1. Zona air bersih, zona ini berada jauh di hulu sungai dan jauh dari sumber pencemaran.
2. Zona dekomposisi, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemar yang akan didekomposisi oleh bakteri dari mikroorganisme.
3. Zona biodegradasi, pada daerah ini terjadi penurunan oksigen terlarut (DO).
4. Zona pemulihan, zona ini kualitas air kembali bersih dan nilai oksigen terlarut kembali normal.



Gambar 2. 1 Ilustrasi *Self Purification*
 Sumber : (Caldwell, A. 2015)

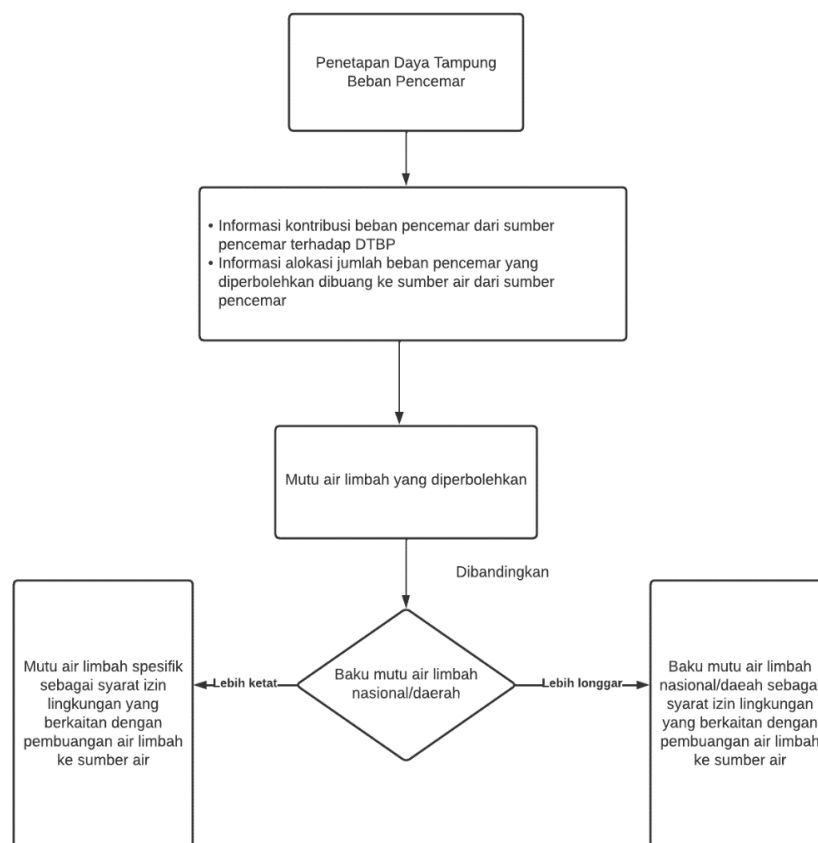
2.6 Daya Tampung Beban Pencemar

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 bahwa daya tampung beban pencemaran air merupakan suatu kemampuan air untuk menerima masukan beban pencemar tanpa mengakibatkan air tersebut tercemar. Penetapan daya tampung beban pencemaran digunakan untuk :

- Penetapan rencana tata ruang,
- Pemberian izin kegiatan yang lokasinya secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi kualitas sumber air
- Pemberian izin lingkungan yang berkaitan dengan pembuangan air limbah ke sumber air,
- Penetapan mutu air sasaran serta kebijakan pengendalian pencemaran air.

Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) digunakan untuk menetapkan mutu air limbah sebagai salah satu persyaratan pemberian izin. Perhitungan DTBP digunakan sebagai dasar pengalokasian beban pencemar yang diperbolehkan masuk ke sumber air agar tindakan pengendalian dapat dilaksanakan sehingga baku mutu air yang telah ditetapkan terpenuhi. Faktor-faktor yang menentukan daya tampung beban pencemar adalah sebagai berikut :

- a. Kondisi hidrologi dan morfologi sumber air termasuk kualitas air yang ditetapkan DTBP-nya
- b. Kondisi klimatologi sumber air seperti suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban udara
- c. Baku mutu air untuk sungai, muara, danau dan waduk
- d. Beban pencemar sumber tertentu/*point source*
- e. Beban pencemar sumber tak tentu/*non-point source*
- f. Karakteristik zat pencemar yang dihasilkan sumber pencemar
- g. Pemanfaatan sumber air
- h. Faktor pengaman, merupakan nilai ketidakpastian dalam perhitungan



Gambar 2. 2 Penetapan Daya Tampung Beban Pencemar

Sumber : (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010)

2.7 Model Kualitas Air

Model didefinisikan sebagai gambaran sederhana dari sistem yang kompleks. Pemodelan kualitas air merupakan model yang dapat diterapkan untuk menyederhanakan kondisi sebenarnya dari suatu sumber air seperti sungai, danau atau waduk dan muara. Penurunan kualitas air permukaan sungai dan pencemaran sungai dapat diprediksi dengan memodelkan kualitas air dalam pendekatan yang berbeda untuk mengetahui solusi pengelolaan air di berbagai wilayah sungai yang tercemar. Model kualitas air didasarkan pada keseimbangan antara kandungan oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen untuk proses biokimia (BOD) dalam air sungai yang dikenal dengan model BOD-DO (Loucks, 1981). Salah satu cara untuk memodelkan kualitas air sungai adalah dengan memodelkan kondisi lapangan dalam model laboratorium. Ada dua jenis pemodelan, yaitu model fisik dan model matematik. Model matematik lebih praktis daripada model fisik, terutama dalam hal pelaksanaan dan waktu yang dibutuhkan (Luknanto, 2013). HEC-RAS (*River Analysis System of the Hydrological Engineering Center*) merupakan salah satu perangkat lunak yang paling banyak digunakan untuk pemodelan aliran sungai dan banjir. Selain itu, beberapa aplikasi lain yang dapat digunakan untuk memodelkan kualitas air sungai seperti QUAL2Kw, MIKE 11, SWAT dan lain sebagainya.

2.8 Model HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, River Analysis System (RAS), yang dibuat oleh Hydrologic Center (HEC), sebuah divisi dari Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS adalah model aliran satu dimensi yang stationer dan transien. HEC-RAS Version 4.1.0, memiliki 4 (empat) komponen model satu dimensi yaitu :

- a. Hitungan profil muka air aliran permanen,
- b. Simulasi aliran tak permanen,
- c. Hitungan transport sedimen, dan
- d. Hitungan kualitas air.

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, *software* HEC-RAS diperbarui sehingga dapat memodelkan kualitas air sungai dan memprediksi perubahan kualitas air sungai yang disebabkan oleh beban pencemar dan dapat memodelkan analisis temperatur dan penyebaran bahan polutan (*Algae, Dissolved Oxygen, Carbonaceous Biological Oxygen Demand, Dissolved Orthophosphate, Dissolved Organic Phosphorus, Dissolved Ammonium Nitrate, Dissolve Nitrite Nitrogen, Dissolved Nitrate Nitrogen, dan Dissolved Organic Nitrogen*).

2.8.1 Perbandingan HEC-RAS dengan Aplikasi Kualitas Air Lainnya

Dalam memodelkan kualitas air sungai diperlukan sebuah aplikasi yang dapat mengetahui seberapa besar beban pencemar yang dihasilkan, daya tampung beban pencemar yang diizinkan masuk ke badan sungai serta penyebaran polutan beban pencemar. Aplikasi tersebut berupa aplikasi HEC-RAS, Qual2Kw, SWAT dan MIKE 11. Berikut merupakan perbedaan tiap-tiap aplikasi apabila dilihat berdasarkan fokus dan fitur yang ditawarkan.

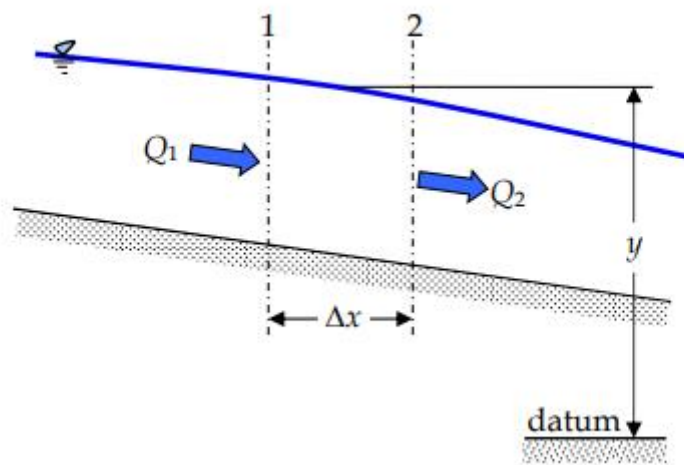
1. HEC-RAS berfokus pada sistem hidraulik dan hidrologi sungai serta perencanaan infrastruktur. HEC-RAS juga dapat memodelkan kualitas air sungai dengan menganalisis temperatur air dan simulasi transpor berbagai konstituen kualitas air. Dalam input aplikasi HEC-RAS dapat melakukan pemodelan pada empat komponen dengan menggunakan data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik lainnya. HEC-RAS juga dapat menampilkan fitur dalam bentuk 1D, 2D dan 3D serta dalam komponen kualitas air HEC-RAS dapat memprediksi kualitas air dengan beban pencemar sesuai waktu yang kita inginkan untuk mengantisipasi kedepannya bahwa kualitas air akan berubah seiring dengan musim kemarau dan penghujan. Selain itu, HEC-RAS memiliki berbagai macam tampilan output dari beberapa fitur yang digunakan.
2. Qual2Kw merupakan aplikasi yang berfokus pada kualitas air dan dampak pencemaran terhadap ekosistem sungai dengan menggunakan 15 parameter fisik, kimia dan biologi yang tersedia. Aplikasi ini tidak berkaitan dengan sistem penampang sungai dan infrastruktur sungai. Metode pemodelan ini

menggunakan *Visual Basic for Applications (VBA)*. Untuk menghasilkan model yang siap dijalankan dan divalidasi, peneliti perlu memasukkan parameter di beberapa lembar kerja Microsoft Excel (Syafi'i dkk, 2011).

3. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) merupakan sebuah model yang berfokus pada hidrologi sungai untuk memprediksi dampak pengelolaan lahan terhadap sumber daya air, sedimen pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang kompleks dengan jenis tanah dan penggunaan lahan (Neitsch dkk, 2005). Model ini juga dapat menghitung kualitas air di daerah perairan besar seperti seluruh dasar sungai dan cekungan. Akan tetapi, model ini tidak berfokus pada kualitas air hanya mengarah pada penggunaan tata guna lahannya saja.
4. MIKE 11 merupakan perangkat lunak yang memodelkan aliran air, sedimen, dan kualitas air termasuk polutan di sungai. Akan tetapi MIKE 11 berfokus pada aliran tak tunak yang berhubungan dengan debit per waktu atau hidrograf aliran dalam time series dan MIKE 11 tidak dapat menampilkan penampang yang luas dan harus menambahkan atau mengerjakan dengan aplikasi GIS terlebih dahulu. *Software* ini hamper mirip dengan HEC-RAS dikarenakan memiliki tampilan yang sama dan beberapa fitur yang digunakan sama dan lebih lengkap (Kamel, 2008)

2.8.2 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida yang mengalir masuk ke dalam suatu volume yang dilingkupi permukaan di titik tertentu akan keluar di titik lain. Pertimbangan suatu volume dasar berdasar pada jarak x yang di ukur sepanjang saluran pada titik tengah dari volume kontrol aliran dan luas total aliran. Luas total laju aliran yang mengalir di setiap titik dengan laju perubahan di dalam volume adalah sama atau konstan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Laju Aliran Pada Volume Kontrol
 Sumber : (Jurnal Model Matematika)

Persamaan kontinuitas menggambarkan kekekalan massa satu dimensi jika terdapat aliran sepanjang pias Δx perubahan massa pada batas, maka akan diperoleh persamaan kontinuitas yaitu :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - ql = 0 \quad (2.1)$$

dengan:

x : jarak sepanjang saluran (m)

t : waktu (det)

Q : debit aliran (m^3)

A : luas tampang basah (m^2)

ql : debit lateral dari samping kiri dan kanan (m^3)

2.8.3 Persamaan Momentum

Prinsip kekentalan momentum yang dijelaskan sebenarnya merupakan interpretasi dari gaya-gaya dan momentum yang beroperasi pada air dalam volume kontrol, sehingga menyebabkan air tersebut mengalir. Persamaan momentum dalam HEC-RAS 4.1 dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2.2)$$

dengan :

S_f : kemiringan garis energi

z : elevasi permukaan air (m)

g : gaya gravitasi (m²/det)

Dengan HEC-RAS, persamaan momentum dapat digunakan untuk beberapa masalah yang spesifik, terjadinya lompatan air, aliran rendah jembatan dan arus di pertemuan.

Sumber : USACE, 2006

2.8.4 Persamaan Energi

Dalam HEC-RAS dapat melakukan perhitungan profil muka air satu dimensi untuk aliran langgeng (*steady flow*) dengan subkritis, superkritis dan sistem gabungan. Profil muka air dapat dihitung dari satu *cross-section* ke *cross-section* berikutnya diselesaikan dengan persamaan energi yang dapat dilihat dari rumus sebagai berikut :

$$Y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.3)$$

dengan :

Y_1, Y_2 : tinggi kedalaman pada cross-section 1 dan 2

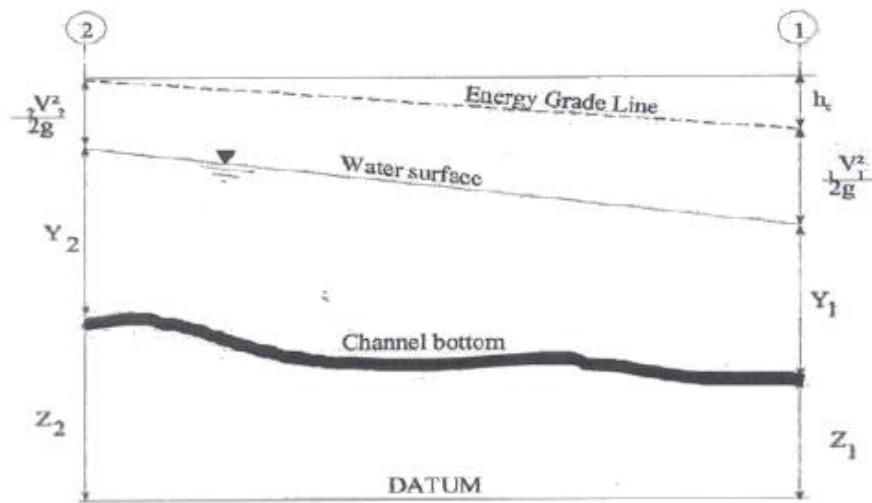
z_1, z_2 : elevasi dasar saluran pada cross-section 1 dan 2

α_1, α_2 : koefisien kecepatan

g : gravitasi

h_e : kehilangan energi

Diagram batas persamaan energi ditunjukkan pada Gambar 2.4, yaitu :



Gambar 2. 4 Komponen dalam Persamaan Energi

Sumber : (USACE, 2006)

2.8.5 Koefisien Kekasaran Manning Dalam HEC-RAS

Koefisien kekasaran manning menggambarkan kekasaran saluran. Koefisien ini digunakan untuk menghitung kecepatan rata-rata suatu segmen saluran. Salah satu pendekatan empiris yang dilakukan adalah dengan menggunakan rumus kecepatan kekasaran manning. Kesulitan terbesar dalam pemakaian rumus kecepatan kekasaran manning adalah menentukan koefisien kekasaran n. Rumus kecepatan yang dipengaruhi oleh koefisien kekasaran manning seperti persamaan berikut ini :

$$V = \frac{1}{n} R^2 \sqrt{sf} \quad (2.4)$$

dengan :

V : kecepatan (m²/det)

n : koefisien kekasaran manning (m^{-1/3} det)

R : jari-jari hidraulik (m)

Sumber : USACE, 2006

Pada Tabel 2.2 dapat dilihat nilai kekasaran manning yang dianjurkan pada program HEC-RAS 4.1.

Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Kekasaran Manning pada Program HEC-RAS

No.	Saluran alam untuk saluran di dataran	Minimum	Normal	Maksimum
1	Saluran lurus, terisi penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0,025	0,030	0,033
2	Seperti Nomor 1, banyak batu-batu, tanaman pengganggu	0,030	0,035	0,040
3	Bersih, berkelok-kelok, berceruk, bertebing	0,033	0,040	0,045
4	Seperti Nomor 3, dengan tanaman pengganggu, batu-batu	0,035	0,045	0,050
5	Seperti Nomor 3, tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang yang kurang efektif	0,040	0,048	0,055
6	Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0,050	0,070	0,080
7	Banyak tanaman pengganggu, ceruk dalam atau jalan air penuh kayu dan ranting	0,075	0,100	0,150

Sumber : USACE, 2006

2.8.6 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi dalam HEC-RAS

Bentuk penampang yang berubah-ubah berkontribusi terhadap kemiringan garis energi. Perubahan penampang dapat diartikan sebagai kontraksi (*contraction*) dan ekspansi (*expantion*). Tanda-tanda terjadinya kontraksi adalah ketika tinggi kecepatan (*velocity head*) di hulu lebih rendah daripada tinggi kecepatan di hilir dan untuk ekspansi sebaliknya. Nilai koefisien kontraksi dan ekspansi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

Aliran Sub Kritis	Kontraksi	Ekspansi
Tidak ada transisi	0,00	0,00
Gradual transisi	0,10	0,30
Jenis bagian jembatan	0,30	0,50
Transisi secara tiba-tiba	0,60	0,80

Sumber : USACE, 2006

2.8.7 Keseimbangan Massa

Konsep keseimbangan massa pada Gambar 2.5 mendasari terbentuknya persamaan angkutan limbah/polutan yang digunakan dalam program HEC-RAS.

Beban eksternal dapat dihitung dengan rumus :

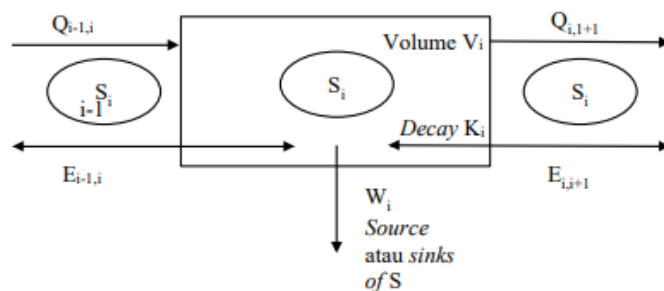
$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{npsi,j} \quad (2.5)$$

dengan :

$c_{ps,i,j}$: konsentrasi *point source* ke-j pada elemen i (mg/l),

$c_{nps,i,j}$: konsentrasi *non-point source* ke-j pada elemen i (mg/l)

Sumber : USACE, 2006



Gambar 2. 5 Keseimbangan Massa

Sumber : (USACE, 2006)

2.8.8 Parameter Transpor Polutan

Parameter transport polutan merupakan kombinasi antara reaksi fisik dan kimiawi antara alga, *nitrogen*, *phosphorus*, DO, BOD dan sedimen. Kontrol nilai konstanta *source* dan *sink* (S) dalam persamaan adveksi dan dispersi adalah :

$$D = 0,011 \frac{B^2 U^2}{hu_*} \quad (2.6)$$

dengan :

h : kedalaman air (m)

B : lebar sungai (m)

u* : kecepatan geser (m/det)

U : kecepatan rata-rata kedalaman (m/det)

Sf : *slope friction* (m/m)

Untuk mencari kecepatan geser dapat menggunakan rumus :

$$u_* = (g \cdot h \cdot Sf)^{0.5} \quad (2.7)$$

2.8.9 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Dalam pemodelan oksidasi pada BOD diasumsikan sebagai oksidasi karbon. Oksidasi karbon dipengaruhi oleh dua faktor yaitu *dissolved* BOD (K_1) dan *precipitant* BOD (K_3) atau *settling rate*. Pada *dissolved* BOD reaksi terjadi secara langsung tanpa terpengaruh partikel lain sedangkan *precipitant* BOD dapat bernilai negatif karena berpengaruh dengan partikel lain.

BOD adalah variabel tetap. Reaksi BOD pertama menggambarkan oksidasi dari BOD kehilangan BOD termasuk penurunan dan *decay* oleh oksigen.

$$\text{BOD}_{\text{source/sink}} = 1. K_1 \text{ BOD (oksidasi)} \quad (2.8)$$

2. K_2 BOD (pengendapan)

Kisaran nilai yang disarankan untuk parameter BOD dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan koefisien nilai *default-nya* diatur dalam kisaran nilai terendah.

Tabel 2. 4 Parameter untuk *Source* dan *Sink* BOD

Simbol	Deskripsi	Satuan	Kisaran yang disarankan	Nilai <i>default</i>	Koefisien koreksi temperatur (θ)
K_1^*	Laju deoksigenasi	/hari	0,02 – 3,4	0,02	1,047
K_3^*	Laju pengendapan	/hari	-0,036 – 0,36	0	1,024

Sumber : USACE, 2006

2.8.10 Dissolved Oxygen (DO)

Source pada oksigen terlarut merupakan reareasi atmosfer dan fotosintesis alga, konsentrasi oksigen terlarut dari tingkat jenuhnya, fotosintesis dapat menghasilkan konsentrasi oksigen terlarut melampaui kejenuhannya pada HEC-RAS 4.1. Rumus *source* dan *sinks* oksigen terlarut adalah sebagai berikut :

$$DO_{source/sink} = 1. K_2^* (O_{sat} - DO) \text{ (reareasi)} \quad (2.9)$$

2. $A (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)$ (fotosintesis dan respirasi)
3. K_1BOD (BOD *demand*)
4. $\frac{K_4}{d}$ (*sediment demand*)
5. $\alpha_5\beta_1NH_4$ (*oksidasi ammonium*)

Kisaran nilai yang disarankan untuk parameter DO dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan koefisien nilai *default*-nya telah diatur dengan kisaran nilai terendah.

Tabel 2. 5 Parameter untuk *source* dan *sinks* DO

Simbol	Deskripsi	Satuan	Kisaran yang disarankan	Nilai <i>default</i>	Koefisien koreksi temperatur (θ)
α_3	<i>O₂ production per unit algagrowth</i>	mgO/mgA	1,4 – 1,8	1,4	-
α_4	<i>Uptake per unit alga respired</i>	mgO/mgA	1,6 – 2,3	1,6	-

Simbol	Deskripsi	Satuan	Kisaran yang disarankan	Nilai default	Koefisien koreksi temperatur (θ)
α_5	<i>Uptake per unit NH₄oxidized</i>	mgO/mgN	3,0 – 4,0	3,0	-
α_6	<i>Uptake per unit NO₂oxidized</i>	mgO/mgN	1,0 – 1,14	1,0	-
K_2	<i>Reaerationrate</i>	/hari	0 – 100	0	1,024
K_4	<i>SOD oxygen uptake</i>	/hari	variabel	0	1,060

Sumber : USACE, 2006

2.9 Penelitian Terdahulu

Penggunaan *software* HEC-RAS maupun analisis daya tampung Sungai Gajahwong terhadap beban pencemar sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dari Indonesia maupun mancanegara. Berikut rincian penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Rincian Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Nggeta, A.A.J	2017	<i>Pemodelan Kualitas Air (BOD5 dan DO) Dengan Menggunakan Software HEC-RAS 4.1</i>	<ul style="list-style-type: none">• Menganalisis kualitas air Kali Belik menggunakan <i>software</i> HEC-RAS 4.1• Parameter yang digunakan BOD5 dan DO• Hasil Konsentrasi rerata DO dengan kisaran 1,553-9,93 mg/l. Hasil konsentrasi rerata BOD5 dengan kisaran 8,856- 48,4 mg/l• Hasil trial nilai polutan pada simulasi Hec-Ras 4.1 terdapat beberapa sumber polutan dari proses pengolahan air minum PDAM yang terletak pada RS 3700, limbah UGM pada RS 2560-2580, IPAL UGM pada RS 1940-1960, dan TPS pada RS 100-120.

No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
2	Amanda, A., Riduan, R., Abdi, C.	2020	<i>Analisis Daya Tampung Sungai Terhadap Beban Pencemar Organik</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Simulasi model kualitas air Sungai Tapin menggunakan <i>software</i> HEC-RAS • Konsentrasi awal DO dan BOD sebesar 4,96 mg/l dan 1,29 mg/l • Konsentrasi setelah dilakukan pemodelan DO dan BOD sebesar 8,50 mg/l dan 0,00972 mg/l • Nilai beban daya tampung pencemaran model simulasi paling tinggi sebesar 1091,10 Kg/hari pada simulasi ke 2
3	Fan, C., Wang, W.S., Liu, F.R., Yang, T.M.	2012	<i>Sensitivity Analysis and Water Quality Modeling of a Tidal River Using a Modified Streeter-Phelps Equation With HEC-RAS Calculated Hydraulic Characteristics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-RAS digunakan untuk menilai dampak pasang surut terhadap kualitas air • Konstanta degradasi BOD menurun 80% • Konsentrasi BOD dan DO masing-masing meningkat dari 7,1 mg/l menjadi 10,7 mg/l dan 5,0 mg/l menjadi 7,2 mg/l, menunjukkan bahwa kualitas air tidak sensitif terhadap variasi konstanta degradasi BOD seperti yang diharapkan

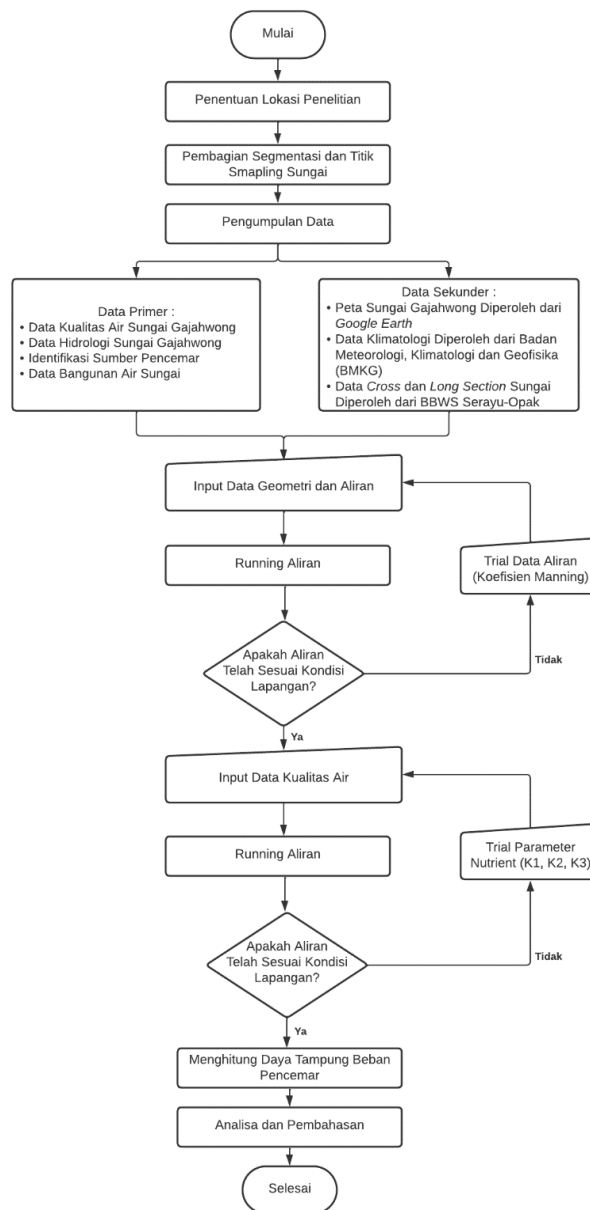
No	Peneliti	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
4	Herdyasrastiti, A	2015	<i>Kajian Transpor Sedimen dan BOD-DO di Sungai Serayu Hilir</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan <i>software</i> HEC-RAS • Menggunakan aliran <i>unsteady</i> • Parameter yang diteliti yaitu BOD5 dan DO • Pengujian dilakukan terhadap temperature air, ukuran butiran dan <i>computational increment</i> • Hasil uji sensitivitas transpor sedimen menyatakan bahwa temperatur air, ukuran butiran, <i>computational increment</i> dapat mempengaruhi besaran transpor sedimen yang dihasilkan
5	Rahmi, R	2022	<i>Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter DO dan BOD Menggunakan software QUAL2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, Provinsi DIY)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini dilakukan di Sungai Winongo dengan Panjang Sungai 46,93 km dengan sumber pencemar berasal dari limbah domestik, perikanan, pertanian dan saluran drainase. • Hasil Penelitian menunjukkan pencemaran Sungai Winongo dengan rata-rata nilai BOD melebihi baku mutu kelas II sebesar 4,45 mg/L dan DO sebesar 5,38 mg/L dengan memodifikasi beban pencemar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Berikut merupakan kerangka penelitian yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

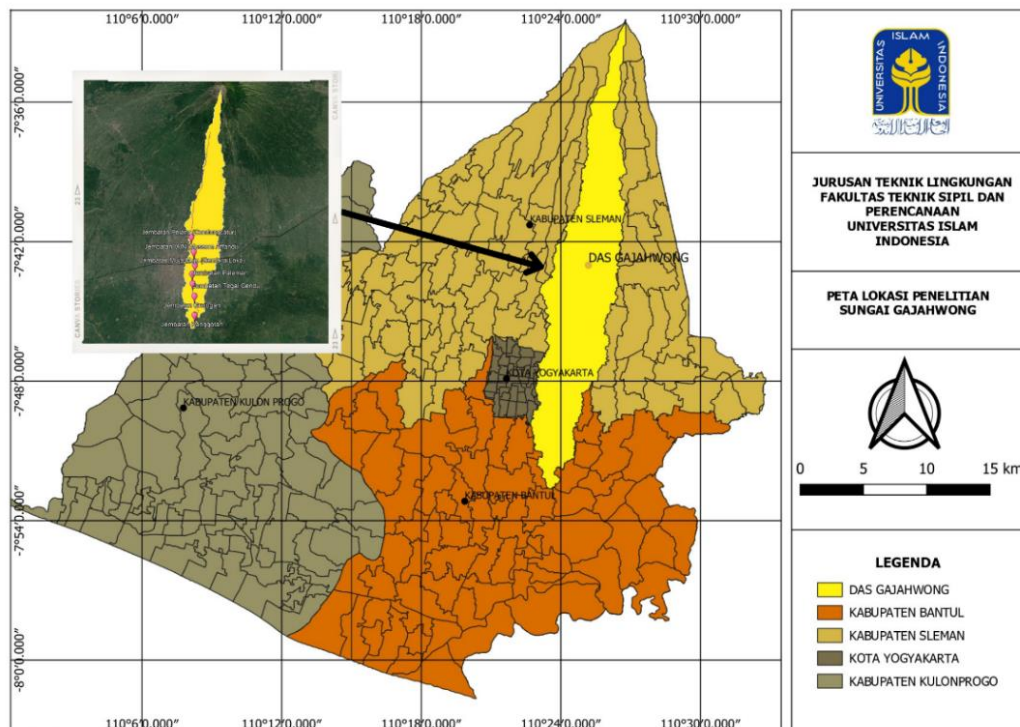
Tabel 3. 1 Ringkasan Penelitian

No	Tujuan	Input Data	Metode	Luaran
1	Mensimulasikan hidrolika Sungai Gajahwong menggunakan HEC-RAS	Data geografi Sungai, data <i>cross section</i> sungai dan debit aliran sungai	Simulasi HEC-RAS	Hasil simulasi hidrolikas sungai
2	Mengidentifikasi besaran beban pencemar DO dan BOD yang masuk ke badan air Sungai Gajahwong	<i>Point sources</i> dan <i>non-point sources</i> , konsentrasi beban pencemar dan debit beban pencemar	Perhitungan timbulan limbah dan keseimbangan massa	Tabel dan ringkasan perhitungan timbulan pencemar DO dan BOD dari berbagai sumber dan daya tampung beban pencemar
3	Mensimulasikan kualitas air Sungai Gajahwong berupa parameter DO dan BOD	Data hidrolik sungai, data meteorologi, koefisien dispersi, beban pencemar, kondisi batas dan kondisi awal	Simulasi HEC-RAS	Hasil simulasi kualitas air

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

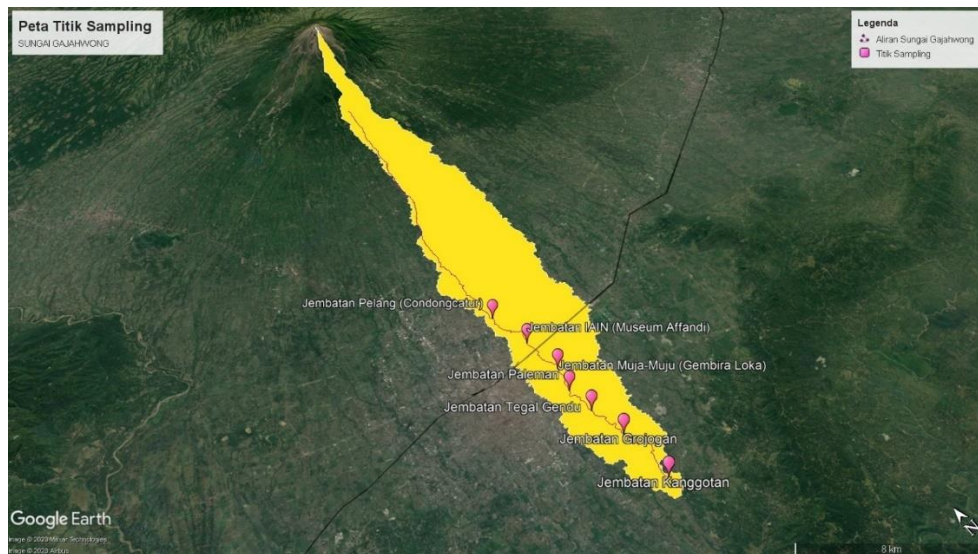
Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai Gajahwong, Yogyakarta. Waktu pengambilan sampel dilaksanakan sebanyak 2 (dua) kali yang dilaksanakan pada tanggal 18 Januari 2023 dengan tujuan mengambil sampel kualitas air Sungai Gajahwong pada titik 1 sampai 7. Pengambilan sampel kedua dilaksanakan pada tanggal 1 Maret 2023 dengan tujuan mengambil sampel pada

sumber pencemar *point sources* dan *non-point source* pada titik 2 sampai 5 yang berupa limbah Mall Amplaz, limbah industri susu SGM, *drainase* dan limbah industri kulit. Peta lokasi penelitian Sungai Gajahwong pada bagian hulu sampai hilir dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi sampling berdasarkan *sample survey method*, yaitu suatu metode pengambilan sampel dengan membagi menjadi beberapa segmen. Penentuan titik sampling air didasarkan pada kemudahan akses, waktu dan biaya. Penentuan titik sampling pada penelitian ini berjumlah 7 titik berdasarkan titik pemantauan kualitas air Sungai Gajahwong oleh DLH (Dinas Lingkungan Hidup) dengan total panjang hulu hingga hilir sepanjang 14,3 Km. Adapun pertimbangan mendasar pemilihan lokasi adalah adanya buangan limbah dari sumber pencemar baik *point sources* dan *non-point sources* yang diduga mencemari air Sungai Gajahwong. Berikut peta titik sampling dan aliran pada Sungai Gajahwong dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Titik Lokasi Sampling Sungai Gajahwong

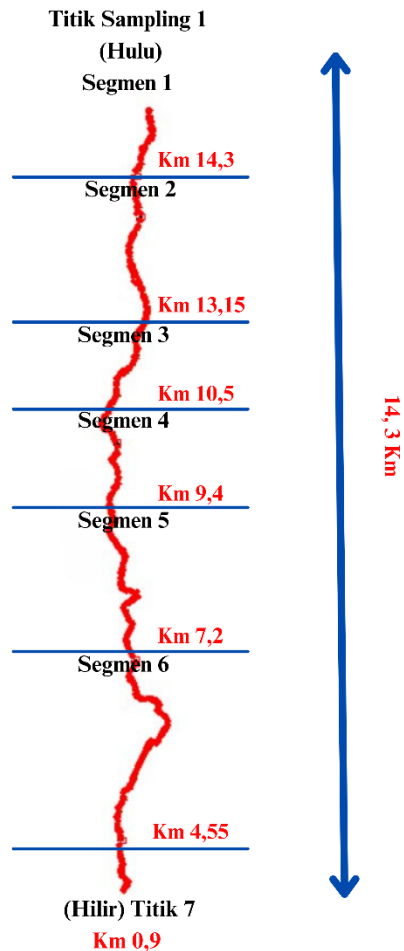
3.3 Penentuan Segmen Atau Ruas

Sungai Gajahwong dari hulu sampai hilir memiliki panjang 14,3 Km. Penentuan segmen didasarkan atas segmen yang sudah digunakan pada data sekunder. Penentuan segmen dan titik koordinatnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Segmentasi Sungai Gajahwong

Titik	Lokasi	Koordinat
1	Jembatan Pelang, Condongcatur	-7.826666667 LS dan 110.3933333 BT
2	Jembatan IAIN, Caturtunggal, Sleman	-7.783083333 LS dan 110.3965556 BT
3	Jembatan Muja-Muju, Umbulharjo, Yogyakarta	-7.807888889 LS dan 110.3978056
4	Jembatan Paleman, Rejowinangun, Kotagede, Yogyakarta	-7.813833333 LS dan 110.39325 BT
5	Jembatan Tegal Gendu, Kotagede, Yogyakarta	-7.826666667 LS dan 110.3933333 BT
6	Jembatan Grojogan, Wirokerten, Banguntapan, Bantul	-7.843722222 LS dan 110.3951667 BT
7	Jembatan Kanggotan, Wonokromo, Pleret, Bantul	-7.868972222 LS dan 110.395 BT

SEGMENTASI
SUNGAI GAJAHWONG



Gambar 3. 4 Sketsa Segmentasi Sungai Gajahwong

3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Adapun deskripsi mengenai metode pengumpulan data yang digunakan diantaranya yaitu :

3.4.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari pengambilan data secara langsung di wilayah lingkup penelitian dan uji laboratorium. Data yang diambil berupa data kualitas parameter air sungai dan hidrologi. Data kualitas air dibagi menjadi 3 yaitu, data kualitas air Sungai (*stream source*), data kualitas pencemar tak tentu (*non-point*

sources) dan data kualitas pencemar tertentu (*point sources*). Data hidrologi yang diambil adalah kecepatan air, debit sungai, lebar sungai dan kedalaman sungai. Parameter pencemar air yang akan diuji adalah BOD dan DO, dimana parameter BOD mengacu pada SNI 6989.72:2009. Berikut rincian data primer serta alat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Primer dan Alat yang Digunakan

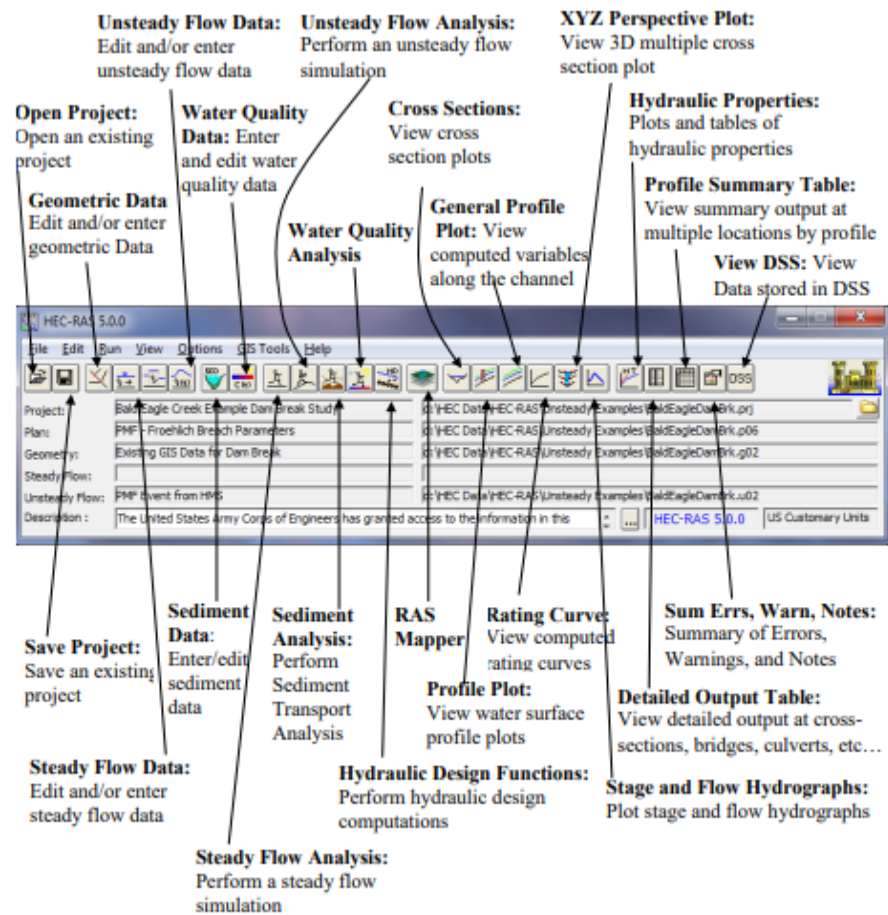
No	Parameter	Satuan	Alat	Regulasi	Metode
1	DO	mg/L	DO Meter	SNI 06-6989.14-2004	Pengukuran langsung
2	BOD	mg/L	Buret	SNI 6989.72:2009	Titration iodometri
4	Temperatur air	°C	Thermometer	SNI 06-6989.23-2005	Pengukuran langsung
5	Kecepatan aliran	m/s	1 set alat kecepatan aliran	SNI 8066:2015	Pengukuran langsung

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder yang dikumpulkan yaitu peta Sungai Gajahwong yang diperoleh dari *google earth*, data klimatologi diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan data hidrologi sungai (penampang memanjang, penampang melintang, elevasi, kemiringan sungai dan peta situasi) yang diperoleh dari BBWS Serayu-Opak.

3.5 Pemodelan Dengan Program HEC-RAS 4.1.0

Pemodelan dengan program HEC-RAS 4.1.0 saat menstimulasikan terkait aliran kualitas air sungai dilakukan dengan urutan langkah-langkah yaitu entri data, peniruan aliran, kondisi tunak dan simulasi kualitas air. Ada beberapa langkah yang harus diikuti agar simulasi kualitas air berhasil :



Gambar 3. 5 Toolbars di Layar Utama HEC-RAS
 Sumber : (Ebook Ilmu Proyek Indonesia)

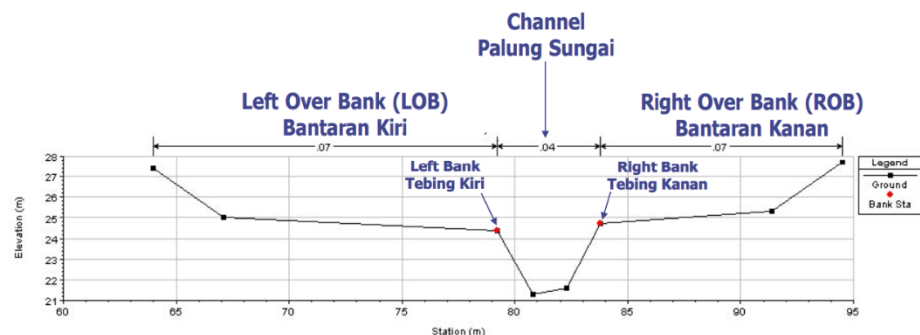
3.5.1 Membuat Project Baru (*Starting A New Project*)

Untuk memulai suatu proyek baru, dimulai dengan menetik judul proyek dan nama file untuk proyek tersebut, kemudian klik OK. Sebelum menginput data geometri dan data aliran, sebaiknya diawali dengan menentukan satuan sistem yang akan digunakan dalam model, SI atau English *System* dengan memilih option dilanjutkan dengan *unit system*.

3.5.2 Menginput Data Geometri (*Entering Geometric Data*)

Pada saat menginput data geometri sesuai dengan proyek yang telah dibuat, dapat memilih menu *edit geometric data*. Data geometri terdiri atas informasi mengenai saluran, data penampang memanjang dan penampang melintang, serta

data bangunan air. Dengan menggunakan menu *river reach*, dapat menggambarkan *layout* sungai berawal dari hulu ke hilir. Setelah selesai menggambar *layout*, dapat memasukkan data ke *cross section*, *koefisien manning*, *bridge/culvert* dan *inline structure*. Setelah itu, simpan *file geometric* data dengan nama sesuai kebutuhan. Hasil dari penginputan data *cross section* akan berbentuk seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Penampang Sungai

Sumber : (Dasar Teori HEC-RAS 1D)

3.5.3 Melakukan Perhitungan Hidraulik

Untuk menginput data aliran dan kondisi batas (*boundary condition*), langkah selanjutnya memasukkan data debit beserta kondisi batas dari model hidraulik. Jenis data debit yang akan dimasukkan tergantung pada jenis analisis yang akan dilakukan. Jika model akan dianalisis sebagai model aliran permanen, maka pilih menu untuk *steady flow data* dari menu utama HEC-RAS, sedangkan untuk aliran tidak permanen akan menggunakan menu *unsteady flow data*. Pengisian kondisi batas diawali dengan memilih *normal depth* dan mengisi kemiringan rata-rata muka air pada *downstream*. Setelah data geometri dan data aliran dimasukkan, Langkah terakhir yaitu melakukan *running*. *Running* simulasi disimpan dengan memasukkan nama suatu *plan*. *Plan* diartikan sebagai data geometri dan data aliran *steady* yang digunakan sebagai gambaran *running* simulasi program.

3.5.4 Peniruan Kualitas Air

Untuk melihat dan mencetak hasil analisis terlebih dahulu melakukan simulasi kualitas air. Persiapan input model kualitas air harus sesuai kondisi batas dan kualitas air awal, sebelum menjalankan simulasi kualitas air harus memenuhi beberapa syarat yaitu :

1. Syarat-syarat temperatur air

Syarat batas temperatur air diterapkan di sepanjang sungai dengan syarat awal yaitu temperatur awal yang diterapkan hanya pada titik-titik monitoring sungai.

2. Syarat model bahan organik

Kondisi batas konsentrasi polutan (DO dan BOD) berupa data konsentrasi polutan sepanjang titik-titik monitoring sungai. Syarat awal yaitu konsentrasi awal polutan hanya pada titik-titik monitoring sungai. Langkah terakhir yaitu melakukan analisis terhadap data masukan.

Selain syarat batas dan syarat awal, perlu juga memasukkan *initial condition*, koefisien dispersi, parameter nutrisi, data meteorologi dan data observasi. Setelah semua data telah dimasukkan, Langkah terakhir melakukan *running* terhadap data masukan. Untuk menampilkan hasil *running* kualitas air dapat dilakukan dengan cara memilih *view* pada menu utama HEC-RAS 4.1.0, kemudian pilih *WQ spatial plot*.

3.5.5 Kalibrasi dan Validasi Perubahan Kualitas Air

Kalibrasi dilakukan pada saat selesai *running* kualitas air dengan menyesuaikan model kualitas air di HEC-RAS dengan data hasil observasi. Penyesuaian ini dilakukan dengan mengamati hasil peniruan kualitas air berupa grafik. Grafik hasil *running* menunjukkan pola sebaran konsentrasi kualitas air dan data hasil observasi di lapangan. Dari grafik tersebut dapat dilihat kedekatan pola antara grafik hasil *running* dengan data observasi. Jika pola hasil *running* belum mendekati data observasi maka dilakukan perubahan data parameter nutrisi yaitu K1, K2 dan K3 sesuai dengan kisaran masing-masing hingga memiliki pola yang mendekati data observasi. Apabila grafik telah sesuai, kembali dilakukannya perbandingan antara grafik hasil *running* dengan data hasil observasi. Pada tahap

ini dilakukan penambahan konsentrasi beban pencemar pada tiap RS yang telah ditentukan.

Untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan dengan data yang sebelumnya di input dalam proses pemodelan sehingga dapat menjalankan skenario, maka dilakukan validasi data dengan metode *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE) yang digunakan untuk mengkuantifikasi besar dan sifat error yang terjadi. RMSPE dapat dilakukan dengan persamaan :

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \left(\frac{St - At}{At} \right)^2 \right]} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

St : Nilai simulasi pada waktu t

n : Nilai aktual pada waktu t

N : Jumlah pengamatan (t = 1, 2, ..., n)

Nilai RMSPE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model mendekati variasi nilai observasinya. Perkiraan nilai RMSPE dibawah 50% maka dapat dinyatakan bahwa model bisa diterima (Chuco, 2004). Namun, jika hasil RMSPE diatas 50% maka dilakukan kalibrasi kembali.

3.5.6 Teknik Simulasi Skenario

Model kualitas air yang telah dibuat dengan *software* HEC-RAS versi 4.1.0 dapat dipergunakan untuk mengestimasi kualitas air dengan skenario yang dikehendaki. Proses mengestimasi kualitas air menggunakan model ini disebut simulasi. Parameter kualitas air yang akan disimulasi adalah DO dan BOD. Adapun simulasi kualitas air Sungai Gajahwong dilakukan sebanyak 2 skenario. Adapun rincian beberapa simulasi dan skenario terpilih dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Simulasi Model

Skenario	Kondisi Hulu	Sumber Pencemar	Kondisi Air Sungai
1	Kondisi eksisting	Kondisi eksisting	Model
2	Baku mutu air kelas II	<i>Trial and error</i>	Baku mutu air kelas II

a. Simulasi skenario 1

Simulasi skenario 1 dilakukan dengan membentuk model sesuai kondisi eksisting (beban pencemar eksisting). Data yang diinput sesuai dengan data lapangan seperti hidrolis sungai, data kualitas air, data sumber pencemar, koefisien dispersi dan data meteorologi. Simulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai beban pencemar eksisting yang masuk ke dalam Sungai Gajahwong.

b. Simulasi skenario 2

Simulasi skenario 2 dilakukan dengan membentuk model sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yaitu baku mutu kelas II. Kondisi sungai yang dimaksud yaitu kondisi sungai dengan beban pencemar maksimum yang dilakukan dengan *trial and error* agar hasil yang diperoleh memenuhi baku mutu untuk air sungai kelas II. Simulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui besaran beban pencemar maksimum yang dapat masuk ke Sungai Gajahwong tanpa mencemari sungai.

3.6 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar

Perhitungan daya tampung beban pencemaran ini berfungsi untuk mengetahui kemampuan badan air Sungai Gajahwong dalam menampung batas maksimum limbah yang masuk ke dalamnya. Dalam penetapan daya tampung beban pencemaran parameter yang dihitung pada setiap segmen adalah DO dan BOD dengan memodifikasi menaikkan ataupun mengurangi beban pencemar dengan cara *trial and error* pada titik tertentu sehingga dapat diketahui kemampuan

Sungai Gajahwong dalam menampung beban pencemar yang masuk pada tiap segmen. Perhitungan beban pencemaran dapat menggunakan rumus berikut :

$$BP = C \times Q \quad (3.2)$$

Keterangan :

BP : Beban pencemar sungai (kg/hari)

C : Kadar sebenarnya beban pencemar (mg/L)

Q : Debit air limbah (m³/detik)

Beban pencemar dapat dihitung dengan rumus diatas untuk selanjutnya menentukan daya tampung beban pencemar dengan membandingkan skenario 2 (sesuai baku mutu) dengan skenario 1 (eksisting). Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan daya tampung :

$$\text{Daya Tampung Beban Pencemaran (kg/hari)} = \text{Beban Pencemar Penuh (Skenario 2)} - \text{Beban Kondisi Awal (Skenario 1)}$$



BAB IV




HASIL DAN PEMBAHASAN



4.1 Kondisi Lokasi Titik Sampling di Sungai Gajahwong

Lokasi penelitian berada di Sungai Gajahwong Provinsi DIY yang mengalir melintasi Kota Yogyakarta. Dimana hulu berada di Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman dan hilirnya berada di Kabupaten Bantul. Sungai Gajahwong telah mengalami pencemaran baik itu sumber pencemar *point sources* maupun *non-point source*. Sumber pencemar ini mengandung beban pencemar BOD. Tabel 4.1 menunjukkan kondisi lokasi titik sampling Sungai Gajahwong.

Tabel 4. 1 Kondisi Lokasi Sampling Sungai Gajahwong

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
1 (Km 14,3)		Kondisi pada titik sampling 1 menunjukkan bahwa sungai dangkal, air tidak terlalu keruh dan terdapat vegetasi seperti tumbuhan dan lumut. Pada titik sampling 1 ini memiliki kedalaman 0,155 m dan lebar aliran sebesar 7,9 m dan tidak ditemukannya sumber pencemar.
2 (Km 13,15)		Kondisi pada titik sampling 2 menunjukkan bahwa air terlalu keruh dan terdapat sumber pencemar <i>point source</i> yang berasal dari Mall Amplaz dengan Aliran yang cukup deras. Pada titik sampling 2 ini memiliki kedalaman 0,1 m dan lebar aliran sebesar 16,3 m.

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
3 (Km 10,5)		<p>Kondisi pada titik sampling 3 menunjukkan bahwa Sungai berbau, airnya keruh dan terdapat sumber pencemar <i>point source</i> berasal dari limbah industri susu SGM. Pada titik sampling 3 ini memiliki kedalaman 0,45 m dan lebar aliran sebesar 5 m.</p>
4 (Km 9,4)		<p>Kondisi pada titik sampling 4 menunjukkan bahwa airnya keruh dan terdapat sumber pencemar <i>point source</i> yang berasal dari industri kulit. Pada titik sampling 4 ini memiliki kedalaman 0,8 m dan lebar aliran sebesar 13,35 m.</p>
5 (Km 7,2)		<p>Kondisi pada titik sampling 5 menunjukkan bahwa airnya dianggap keruh dan terdapat sumber pencemar <i>point source</i> yang berasal dari saluran <i>drainase</i>. Pada titik sampling 5 ini memiliki kedalaman 0,43 m dan lebar aliran sebesar 9,4 m.</p>

Titik Sampling	Gambar	Kondisi Titik Sampling
6 (Km 4,55)		<p>Kondisi pada titik sampling 6 menunjukkan bahwa airnya terlalu keruh dan tidak terdapat sumber pencemar dikarenakan tidak adanya aliran yang mengalir pada <i>drainase</i> tersebut. Maka diputuskan tidak ada sumber pencemar. Pada titik sampling 6 ini memiliki kedalaman 0,3 m dan lebar aliran sebesar 18,3 m.</p>
7 (Km 0,90)		<p>Kondisi pada titik sampling 7 menunjukkan bahwa airnya keruh dan tidak terdapat sumber pencemar apapun. Pada titik sampling 7 ini memiliki kedalaman 0,53 m dan lebar aliran sebesar 10,2 m.</p>

4.2 Kondisi Hidraulik Lokasi Titik Sampling

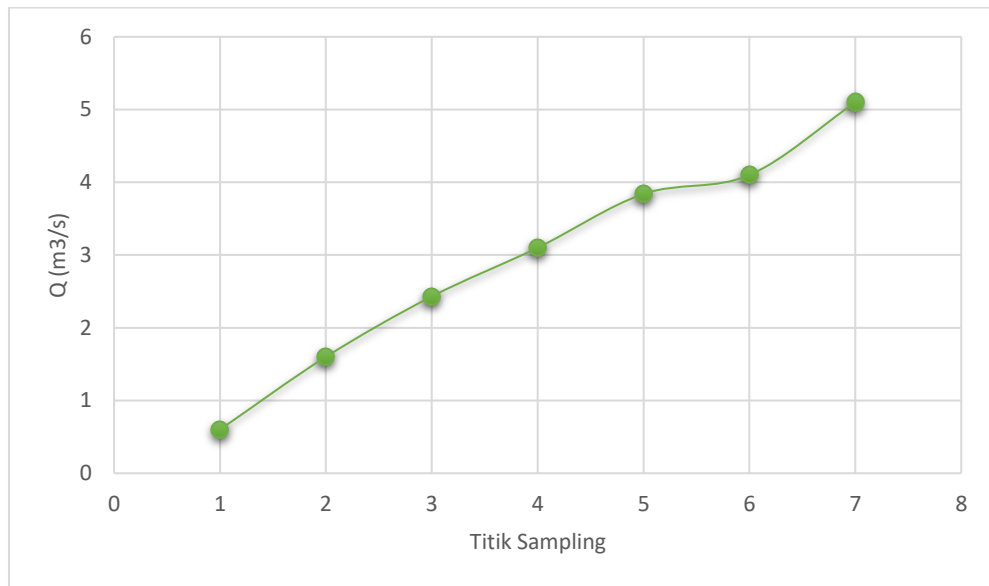
Dalam pemodelan kualitas air terdapat 2 (dua) hal penting yang harus diketahui, (1) boundary condition dan (2) data kualitas air baik di badan air penerima maupun beban limbah yang masuk. Untuk itu perlu dilakukan sampling dan uji kualitas air untuk parameter yang akan dimodelkan. Karena pemodelan ini mencakup 2 tahapan yaitu hidraulik dan kualitas air maka sebelum melakukan pemodelan kualitas air, model harus benar secara hidraulik untuk bisa lanjut ke tahap berikutnya. Penelitian dan pengukuran di Sungai Gajahwong dilakukan

langsung terjun ke sungai untuk menghasilkan data kecepatan aliran, debit dan kedalaman sungai. Selain itu, untuk memenuhi syarat hidraulik benar maka diperlukan ketersediaan data *cross section*, *long section* dan koefisien manning karena saat melakukan pemodelan kualitas air, nilai kecepatan aliran sepanjang saluran akan mempengaruhi fluktuasi kualitas air yang terjadi. Tabel 4.2 menampilkan data hidrolis Sungai Gajahwong yang meliputi debit, kecepatan aliran dan kedalaman aliran pada masing-masing titik sampling.

Tabel 4. 2 Data Hidrolis Sungai Gajahwong

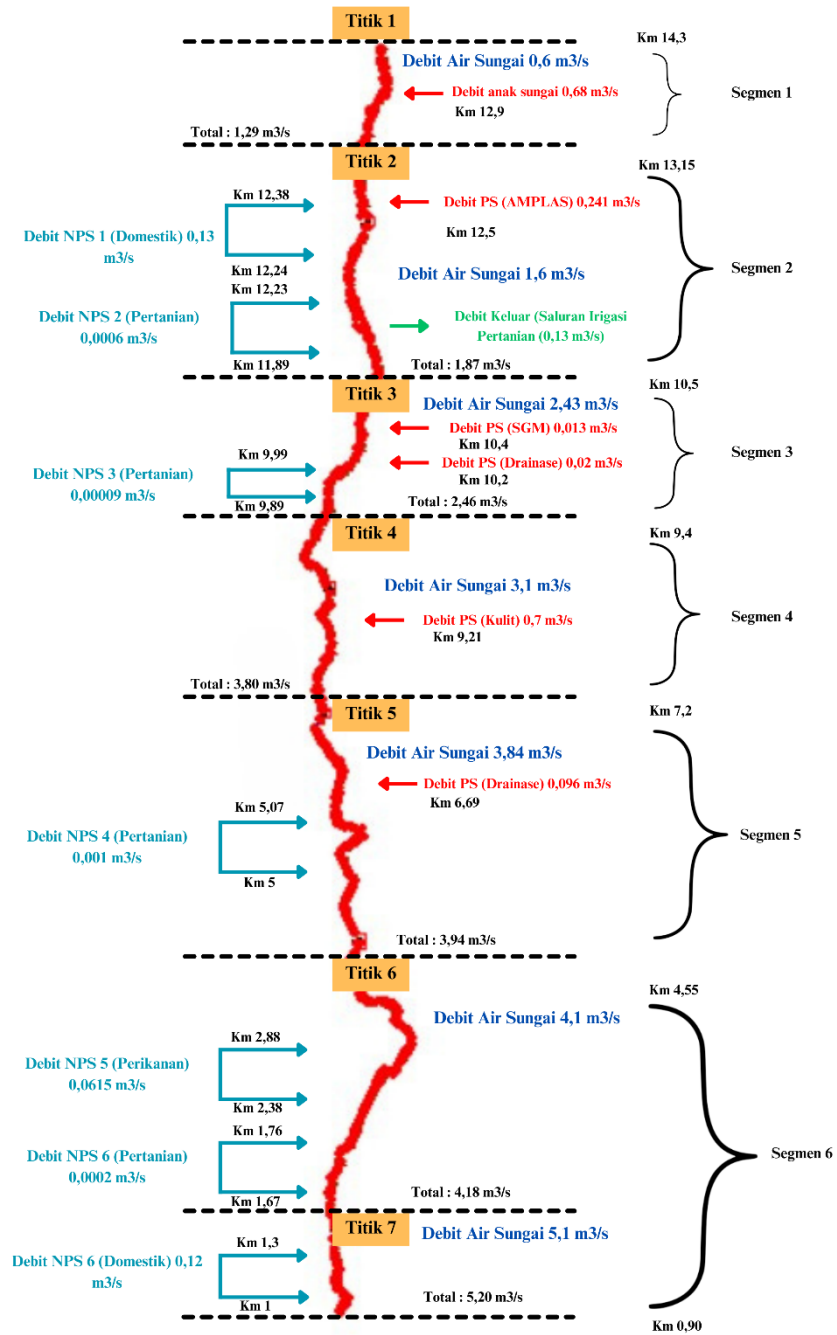
Titik Sampling	Debit Aliran (m ³ /s)	Kedalaman (m)	Kecepatan Aliran (m/s)	Lebar (m)
1	0,6	0,155	0,5	7,9
2	1,6	0,1	1	16,3
3	2,43	0,45	1,08	5
4	3,1	0,8	0,29	13,35
5	3,84	0,43	0,95	9,4
6	4,1	0,3	0,75	18,3
7	5,1	0,53	0,94	10,2

Hasil dari pengukuran nilai debit Sungai Gajahwong memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kedalaman dan lebar aliran Sungai Gajahwong pada setiap titik sampling. Berikut merupakan grafik dari debit Sungai Gajahwong pada masing-masing lokasi titik sampling.



Gambar 4. 1 Nilai Debit Sungai Gajahwong

Grafik tersebut menampilkan nilai debit terkecil dan terbesar pada lokasi titik sampling 1 sampai dengan 7. Nilai debit terkecil terdapat pada titik 1 (Jembatan Pelang) dengan nilai sebesar 0,6 m³/s. Hal ini dikarenakan pada titik 1 kondisi sungai memanjang dan memiliki topografi yang landai yang menyebabkan debit yang lebih rendah daripada sungai yang lebar dan kemiringan yang curam. Nilai debit terbesar terdapat pada titik 7 (Jembatan kanggotan) dengan nilai sebesar 5,1 m³/s. Hal ini dikarenakan lebar penampang aliran yang besar dengan aliran yang deras dan memiliki kedalaman 0,53 meter. Oleh karena itu, nilai debit yang dihasilkan menjadi besar.



Gambar 4. 2 Keseimbangan Massa

Berdasarkan keseimbangan massa pada Gambar 4.2 menampilkan nilai debit terkecil terdapat pada lokasi *sampling* titik 1 (Jembatan Pelang) dengan nilai sebesar $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Hal ini terjadi karena kondisi sungai memiliki kemiringan yang landau mengakibatkan kecepatan aliran permukaan berkurang sehingga debit yang dihasilkan rendah (Lesmana dkk, 2021). Kemudian terdapat masukan sumber pencemar *point source* berupa anak sungai sebesar $0,68 \text{ m}^3 / \text{detik}$, sehingga debit mengalami kenaikan sebesar $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$. Faktor yang mempengaruhi besarnya nilai debit yaitu banyaknya tumbuhan yang dapat menyerap banyak air melalui evapotranspirasi atau infiltrasi, sehingga dapat memperkecil *run off* dan berpengaruh terhadap debit sungai (Muchtar & Abdullah, 2007). Terjadinya peningkatan debit pada titik 2 sebesar $2 \text{ m}^3 / \text{detik}$ disebabkan adanya masukan *point source* berupa saluran drainase dengan debit sebesar $0,241 \text{ m}^3 / \text{detik}$ dan *non-point source* domestik $0,133 \text{ m}^3/\text{detik}$ serta pertanian $0,0006 \text{ m}^3/\text{detik}$. Selain itu, pada titik 2 juga mengalami debit abstraksi yang digunakan untuk saluran irigasi pertanian sebesar $0,13 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pada titik 3 debit sungai meningkat sebesar $2,46 \text{ m}^3/\text{detik}$ karena adanya masukan dua *point source* berupa saluran dari limbah industri susu dan saluran drainase. Selanjutnya, pada titik 4 mengalami kenaikan debit sebesar $3,80 \text{ m}^3 / \text{detik}$ dan terdapat masukan *point source* dari limbah penyamakan kulit dengan debit sebesar $0,7 \text{ m}^3/\text{detik}$. Kemudian terdapat masukan beban pencemar di titik 5 yaitu *point source* berupa saluran drainase dengan debit sebesar $0,096 \text{ m}^3 / \text{detik}$ dan *non-point source* berupa limbah pertanian sawah dengan debit sebesar $0,001 \text{ m}^3 / \text{detik}$. Sehingga debit bertambah menjadi $3,94 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pada titik 6 debit terus mengalami kenaikan yaitu sebesar $4,18 \text{ m}^3/\text{detik}$ dikarenakan adanya masukan pencemaran *non-point source* dari perikanan, pertanian. Sedangkan pada titik 7 juga mengalami peningkatan karena merupakan hilir dari Sungai Gajahwong dan didukung oleh kondisi profil hidrolis sungai dengan kedalaman 0.53 m , kecepatan aliran 0.94 m/s , serta lebar sungai selebar 10.2 m dan adanya *non-point source* limbah domestik dengan debit sebesar $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai

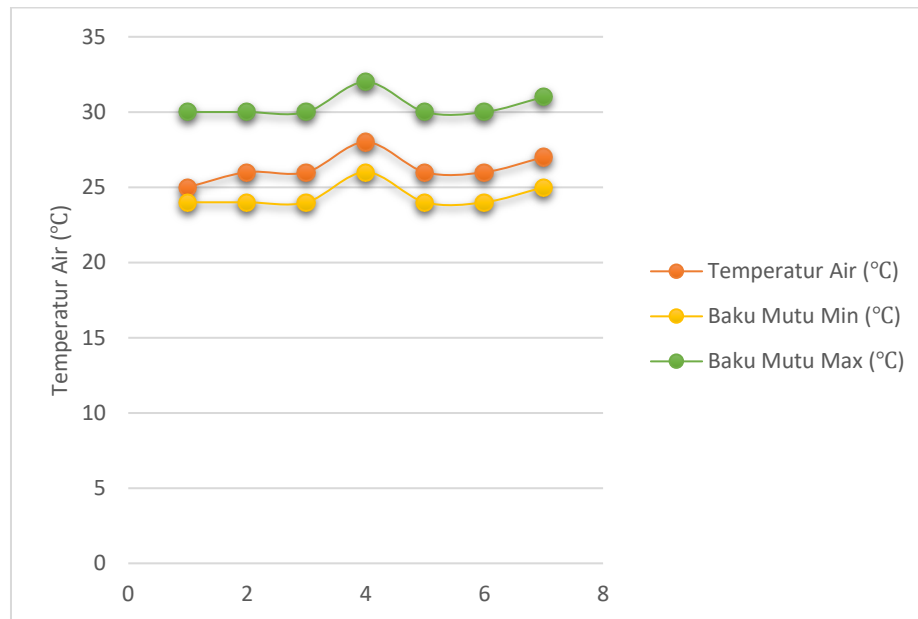
Kondisi kualitas air sungai merupakan hasil dari pengukuran serta pengujian di lapangan dan Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII dengan melakukan pengukuran temperatur air, *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) untuk mendapatkan nilai masing-masing parameter. Hasil pengujian kualitas air sungai dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yang termasuk kedalam baku mutu air sungai kelas II.

4.3.1 Temperatur Air

Dalam memodelkan kualitas air sungai di HEC-RAS, temperatur air merupakan suatu hal yang penting dalam penginputan data pada *Nutrien Simulation Model* (NSM-I). Selain itu, temperatur air dapat menilai kondisi kualitas air Sungai Gajahwong dan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan organisme di sungai. Hasil pengukuran nilai temperatur air pada saat pengambilan sampel di sungai diukur dengan alat thermometer air raksa. Tabel 4.3 menyajikan data temperatur suhu air Sungai Gajahwong serta perbandingan dengan baku mutu temperatur suhu air kelas II.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Temperatur Air di Sungai Gajahwong

Titik Sampling	Temperatur Air (°C)	Baku Mutu Min (°C)	Baku Mutu Max (°C)	Suhu Udara (°C)
1	25	24	30	27
2	26	24	30	27
3	26	24	30	27
4	28	26	32	29
5	26	24	30	27
6	26	24	30	27
7	27	25	31	28



Gambar 4. 3 Nilai Temperatur Air Sungai Gajahwong

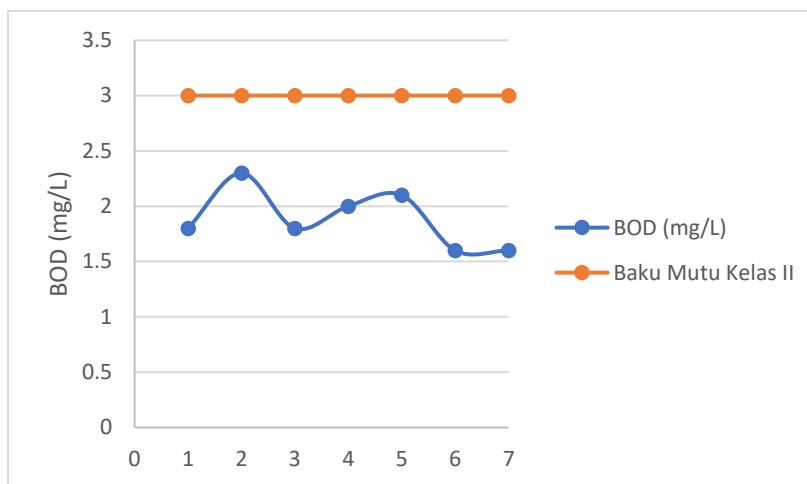
Pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa temperatur suhu air terendah berada pada titik 1 (Jembatan Pelang) dikarenakan kondisi lingkungan sekitar terdapat banyak vegetasi yang menutupi sinar matahari. Adapun suhu air tertinggi berada pada titik 4 (Jembatan Paleman) dikarenakan waktu pengambilan sampel di titik 4 dilakukan pada siang hari. Jika dibandingkan dengan baku mutu temperatur air kelas II didapatkan nilai dari seluruh lokasi titik sampling masih memenuhi baku mutu. Suhu air yang meningkat akan menyebabkan penurunan jumlah oksigen yang terlarut dalam air.

4.3.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik atau kebutuhan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengurai bahan organik di air. Berikut merupakan hasil perhitungan BOD yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan BOD Sungai Gajahwong

Titik Sampling	BOD (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	1,80	3
2	2,30	3
3	1,80	3
4	2,00	3
5	2,10	3
6	1,60	3
7	1,60	3



Gambar 4. 4 Nilai BOD Sungai Gajahwong

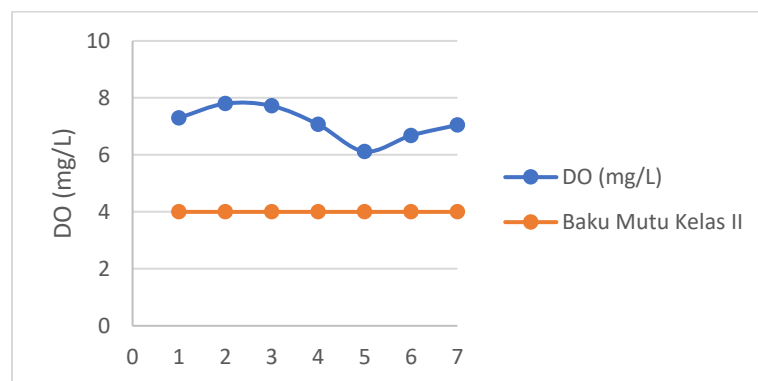
Berdasarkan Gambar 4.4 dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa konsentrasi BOD mengalami kenaikan berada pada titik 2 (Jembatan Affandi) yaitu sebesar 2,3 mg/L dan konsentrasi BOD mengalami penurunan berada pada titik 6 dan 7 (Jembatan Grojogan dan Jembatan Kanggotan) yaitu sebesar 1,6 mg/L. Kenaikan konsentrasi BOD disebabkan oleh adanya sumber pencemar *point source* dan *non-point source* pada lokasi tersebut. Penurunan konsentrasi BOD disebabkan oleh proses dekomposisi zat organik yang dipengaruhi DO. Jika dibandingkan dengan baku mutu bahwasanya nilai BOD di semua titik masih memenuhi baku mutu air kelas II yaitu sebesar 3 mg/L. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya nilai DO di sungai.

4.3.3 Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen (DO) merupakan parameter yang sangat penting di suatu perairan. DO merupakan kebutuhan dasar didalam kehidupan makhluk hidup. Semakin banyak oksigen terlarut, maka semakin sedikit kotoran yang ada di limbah. Jadi, besarnya DO berbanding terbalik dengan BOD. Oksigen terlarut dalam air berasal dari fotosintesis, difusi udara dan turbulensi. Berikut merupakan data konsentrasi DO di Sungai Gajahwong dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran DO di Sungai Gajahwong

Titik Sampling	DO (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	7,30	4
2	7,80	4
3	7,72	4
4	7,07	4
5	6,12	4
6	6,68	4
7	7,05	4



Gambar 4. 5 Nilai DO Sungai Gajahwong

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Tabel 4.5 menyatakan bahwa konsentrasi DO tertinggi berada pada titik 2 sebesar 7,8 mg/L dikarenakan beberapa faktor seperti suhu, salinitas, tekanan atmosfer dan terjunan karena terjadi proses aerasi. Sedangkan DO terendah berada pada titik 5 yaitu sebesar 6,12 mg/L dikarenakan tingginya tingkat pencemar yang masuk ke aliran sungai.

4.4 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong

Sumber pencemar yang terdapat di setiap segmen berasal dari berbagai macam jenis sumber pencemar diantaranya limbah domestik, perikanan, pertanian, limbah drainase, industri susu dan limbah penyamakan kulit. Sumber pencemar tersebut berupa sumber pencemar *point source* dan *non-point source*. Berikut merupakan data sumber pencemar Sungai Gajahwong dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Sumber Pencemar Sungai Gajahwong

Segmen	Sumber Pencemar		Konsentrasi BOD (mg/L)	
	<i>Point Source</i>	<i>Non-Point Source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Non-Point Source</i>
1	Anak Sungai **	-	2,70 **	-
2	Limbah Mall Amplas *	Pertanian Basah **	3,20 *	41,00 **
		Limbah domestik **		30,41 **
3	Saluran Drainase *	Pertanian Basah**	2,50 *	30,41 **
	Limbah Industri Susu *		3,00 *	
4	Limbah Penyamakan Kulit *	-	3,10 *	-
5	Saluran Drainase *	Pertanian Basah**	2,60 *	30,41 **
6	-	Perikanan **	-	2,80 **
		Pertanian Basah**	-	30,41 **
		Limbah Domestik **	-	39,67 **

(*) Hasil Pengujian Laboratorium

(**) Hasil perhitungan dan pendekatan data sekunder penelitian terdahulu

Berdasarkan Tabel 4.6 pengambilan sampel air limbah pada Sungai Gajahwong hanya dilakukan pada sumber pencemar *point source* yang dilakukan dengan pengujian di Laboratorium FTSP UII. Sedangkan sumber pencemar *non-point source* BOD dilakukan dengan pendekatan sesuai dengan perhitungan potensi beban pencemaran dan/atau rentang nilai yang berasal dari referensi.

1. Sumber pencemar limbah pertanian diperoleh debit *non-point source* dari hasil perhitungan luas lahan dikalikan dengan kebutuhan air untuk area

sawah. Kebutuhan air untuk pertanian basah berkisar antara 0,74 – 1,2 liter/detik/ha sedangkan pertanian kering berkisar 0,5 – 0,8 liter/detik/ha (Mauliana dkk, 2022). Berikut merupakan rumus perhitungan potensi beban pencemar lahan pertanian (Sampe dkk, 2018) :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Luas lahan (ha)} \times \text{faktor effluent} \left(\frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \right) \times 10\%$$

Tabel 4. 7 Faktor *Effluent* Pertanian

Limbah Pertanian	Faktor Effluent (kg/hari/musim)
BOD	225
N	20
P	10
TSS	0,04
Peptisida	0,08

Sumber : Sampe, 2018

2. Sumber pencemar perikanan, perhitungan debit dilakukan dengan menggunakan perhitungan volume air kolam sedangkan konsentrasi BOD pada perikanan menggunakan rentang nilai parameter lingkungan abiotik berdasar pada Standar Kualitas Air PP No. 2 Tahun 2011 yaitu > 3. Akan tetapi nilai BOD yang didapatkan berkisar antara 1,85 – 2,12 mg/L dimana masih memenuhi baku mutu (Rohman & Laili, 2019). Ditemukan bahwa kolam berluasan 100 m² memerlukan pasokan air segar sebesar 21 liter per detik (Fachrurazie, 2005). Hal ini juga disarankan untuk melakukan pergantian air sebanyak 50% dari total tinggi kolam karena kualitas air bagian dasar kolam cenderung lebih buruk (Arie, 2009).
3. Sumber pencemar limbah domestik dilakukan dengan perhitungan debit air limbah yang diperoleh dari penggunaan air bersih *grey water* dengan perhitungan:

Debit Air Limbah = (60 – 80 %) x Debit Air Bersih x Jumlah Penduduk

Untuk perhitungan potensi beban pencemaran limbah domestik menggunakan persamaan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{faktor effluent} \times r_{ek} \times a$$

dengan :

r_{ek} : Rasio ekuivalen kota = 1, pinggiran kota = 0,8125, pedalaman = 0,625

(α) : Koefisien transfer beban

Jarak sumber pencemar ke sungai 0 – 100 = nilai 1

Jarak sumber pencemar ke sungai 100 – 500 m = nilai 0,85

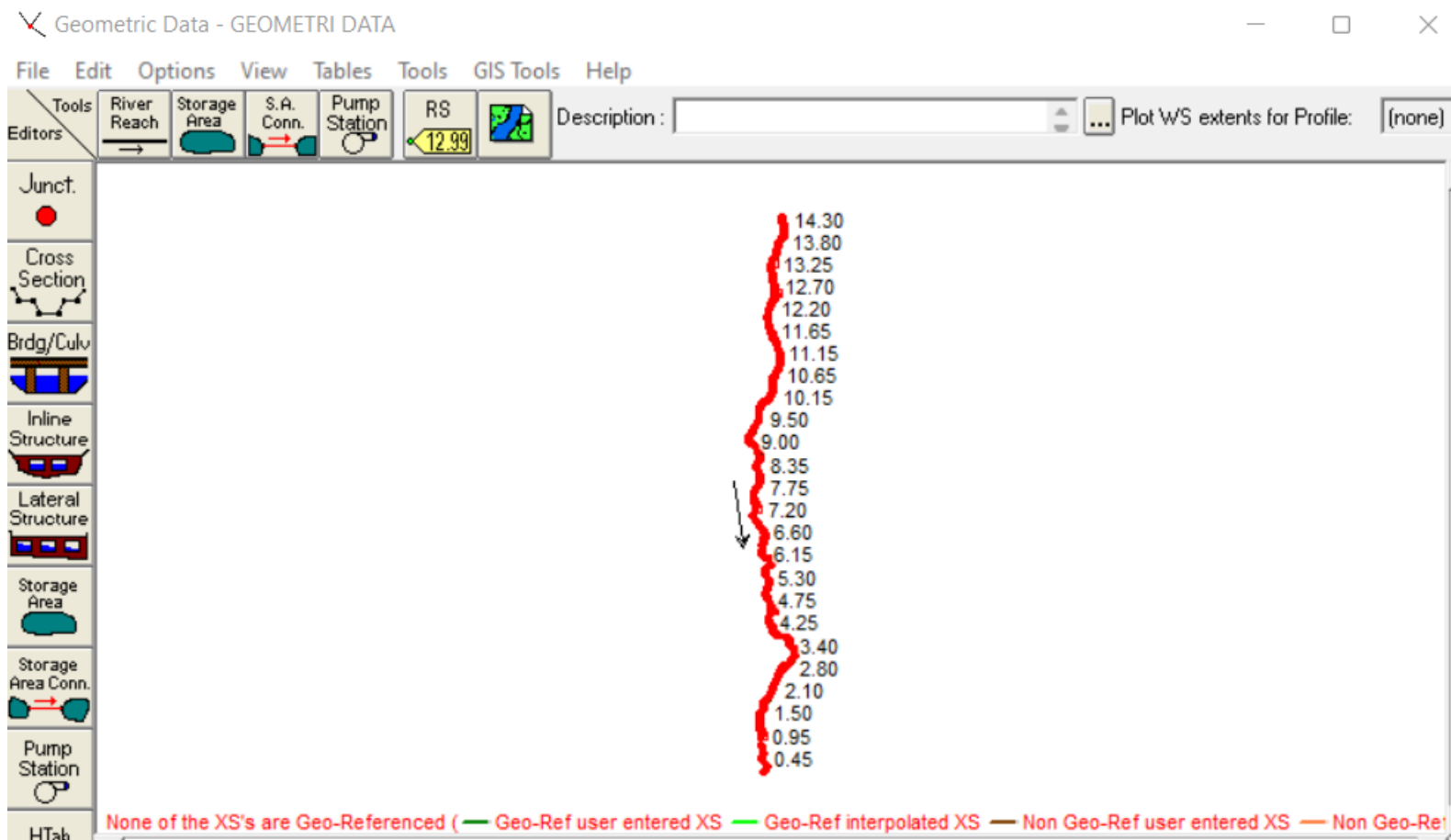
Jarak sumber pencemar ke sungai > 500 m = nilai 0,3

Faktor *Effluent* : BOD = 0,04 kg/hari

4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Dengan HEC-RAS

4.5.1 Model Geometri Pada *Software* HECRAS

Dalam memodelkan geometri pada *software* HEC-RAS dimulai dari melakukan peniruan bentuk geometri aliran sungai yang akan diteliti. Data geometri digunakan untuk menentukan lokasi-lokasi titik dan bentuk penampang sepanjang Sungai Gajahwong yang disebut sebagai *River Station* (RS). Pengisian geometri data dapat dilakukan dengan mengaktifkan layer editor pada data geometri dengan memilih menu *edit/enter geometric data*. Pada penelitian ini, terdapat titik *river station* sepanjang 14,3 km dengan jarak masing-masing 0,05 km. Setelah mengklik menu *edit/enter geometric data*, dilakukan penambahan saluran sesuai dengan bentuk aslinya dengan menekan tombol *River Reach* dan pembuatan saluran bisa menyesuaikan bentuk aslinya yang dapat ditambahkan gambar aliran peta Sungai Gajahwong dengan mengklik *Add/Edit background picture for the schematic*. Lalu pembuatan saluran dilakukan dengan cara mengklik tiap titik sepanjang alur saluran dari hulu ke hilir dan tidak boleh dibalik. Bentuk denah alur saluran serta anak panah yang menunjukkan arah aliran dari hulu ke hilir dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Alur Saluran Sungai Gajahwong

4.5.2 Penampang Melintang dan Penampang Memanjang

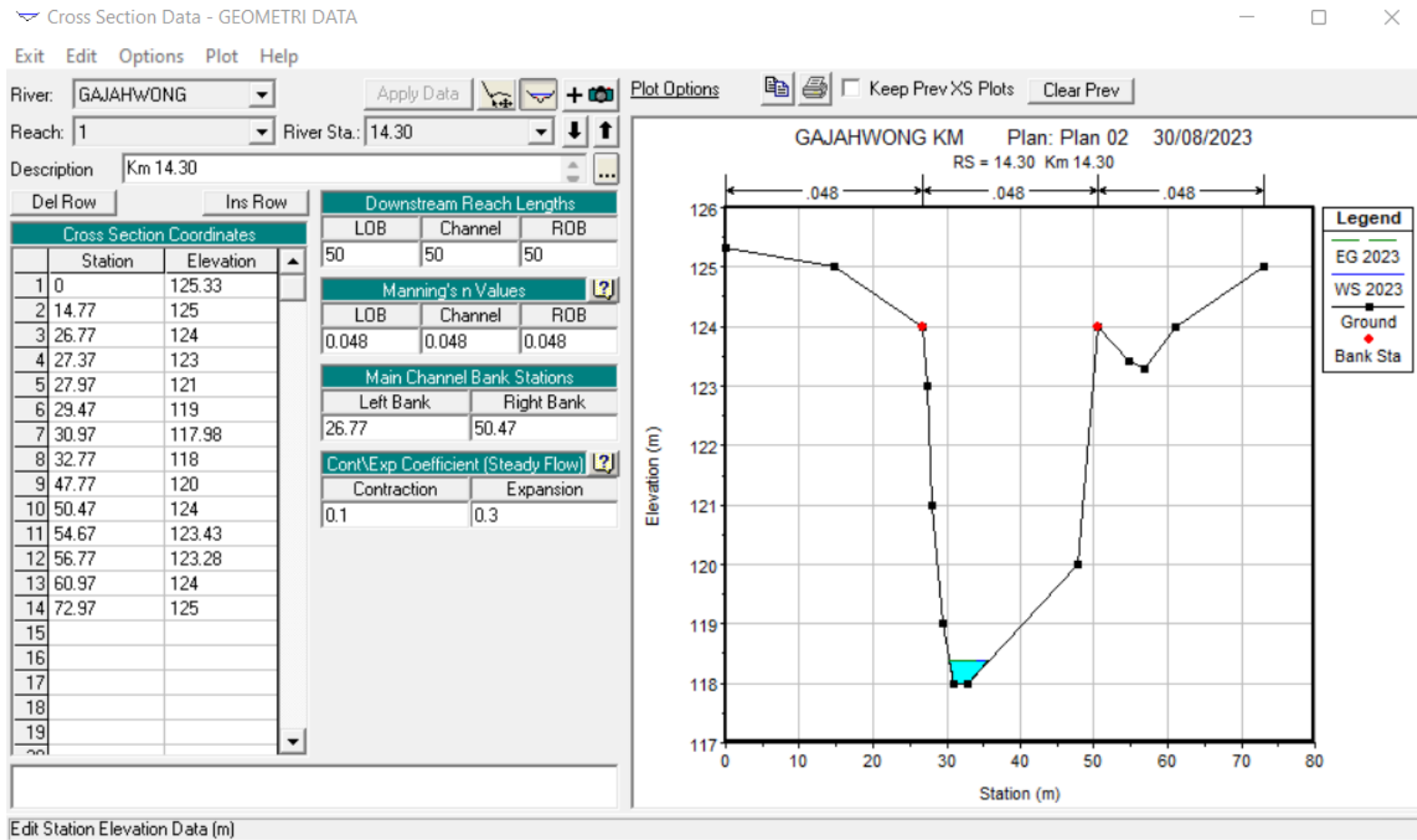
Penampang melintang dan memanjang dapat dibuat pada menu *edit/enter geometric data*. Data penampang melintang dan memanjang didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) dalam bentuk Autocad. Berikut cara memasukkan data ke dalam tabel *cross section* :

1. Klik jendela *cross section* pada bagian toolbars geometri
2. Memasukkan data *cross section* secara urut dimulai dari hilir sampai ke ujung hulu dengan memilih menu *option* kemudian *add a new cross section* lalu dituliskan tampang lintang 0,9 untuk menandai tampang hilir.
3. Lalu mengisi *description*, diisikan dengan keterangan seperti “Km 0,90”.
4. Memasukkan data pada isian *cross section*. *Station* adalah jarak titik diukur dari kiri dan *elevation* merupakan elevasi tiap titik.
5. Selanjutnya pengisian data jarak antar tampang satu dengan tampang lainnya disisi hilir (*downstream reach length*), yaitu jarak antar bantaran kiri (*left overbank, LOB*), jarak antar alur utama (*main channel, Channel*), dan jarak antar bantaran kanan (*right overbank, ROB*).
6. Memasukkan data *cont/exp coefficients* sesuai dengan nilai *default* pada HEC-RAS yaitu 0,1 untuk *contraction* dan 0,3 untuk *expansion*.
7. Setelah itu, melakukan pemasukkan data koefisien kekasaran *manning*. Diperoleh bahwa Sungai Gajahwong termasuk kedalam koefisien *manning* jenis 5. Terakhir klik apply data

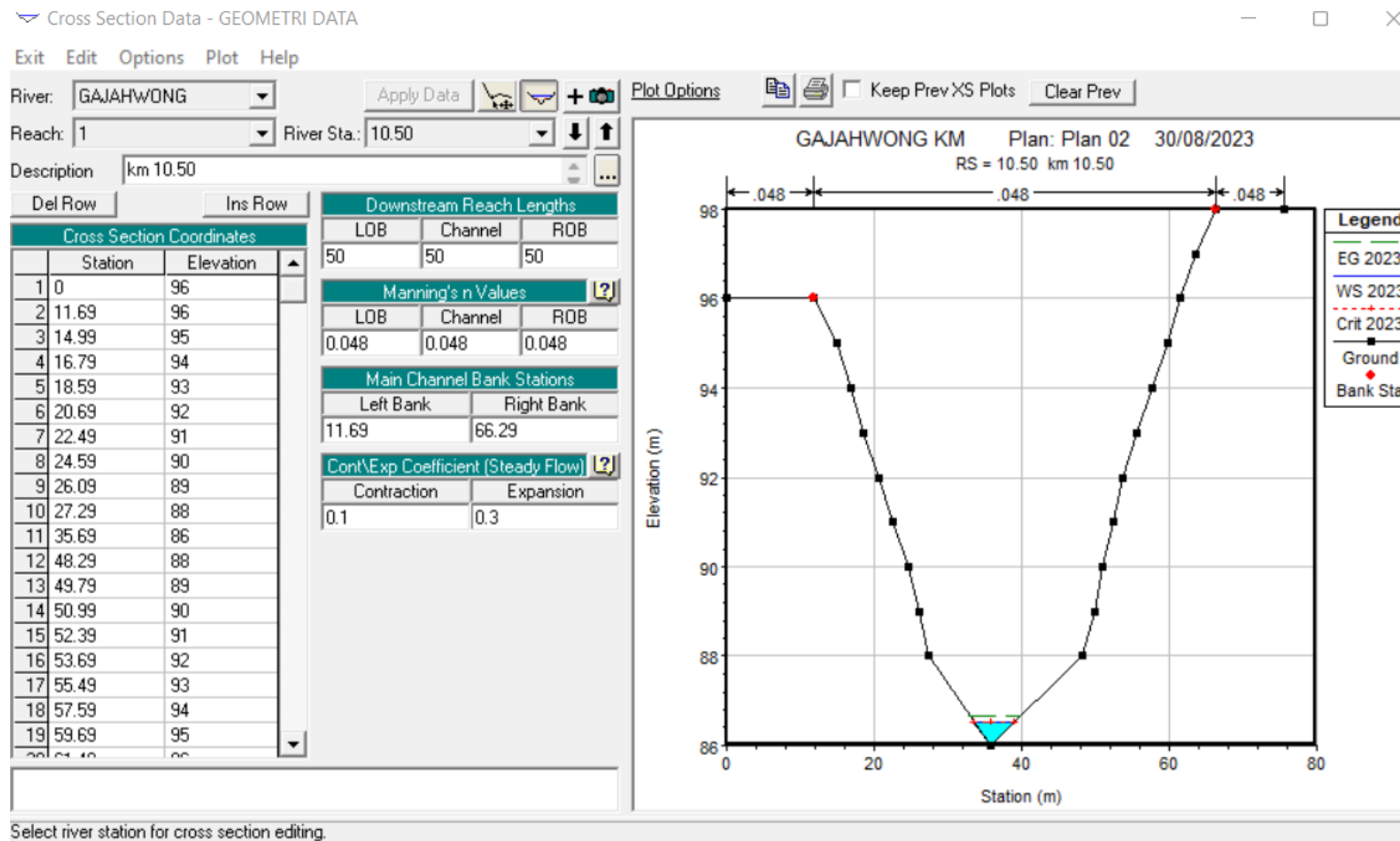
Tabel 4. 8 Data Koefisien Kekasaran Manning

No	River Station	Left Of Bank	Channel	Right Of Bank
1	Km 14,3	0,048	0,048	0,048
2	Km 13,15	0,048	0,048	0,048
3	Km 10,5	0,048	0,048	0,048
4	Km 9,4	0,048	0,048	0,048
5	Km 7,2	0,048	0,048	0,048
6	Km 4,55	0,048	0,048	0,048
7	Km 0,9	0,048	0,048	0,048

Berikut merupakan contoh masukan data tampang melintang dan memanjang sungai terlihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

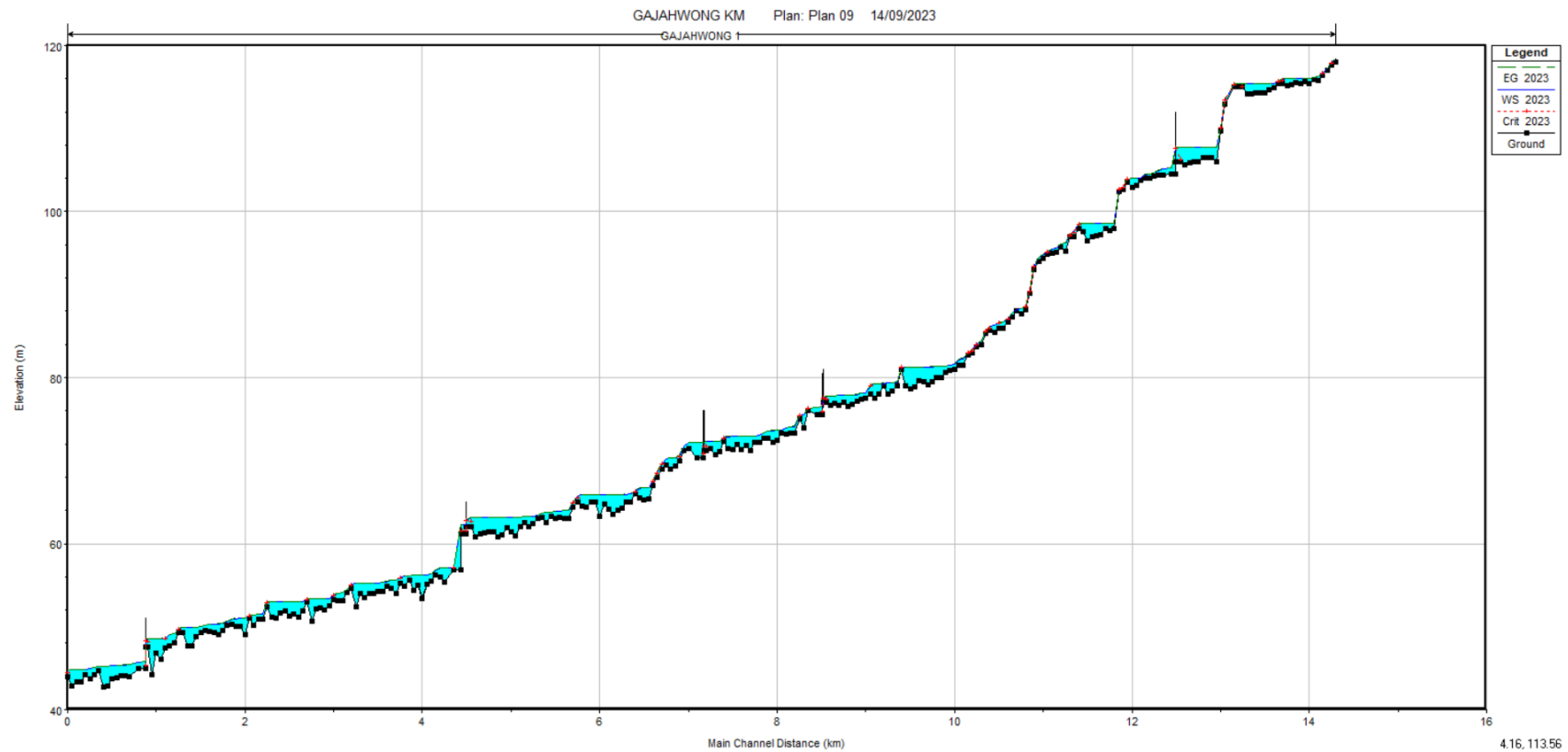


Gambar 4. 7 Data Tampang Melintang Bagian Hulu (RS Km 14,3)

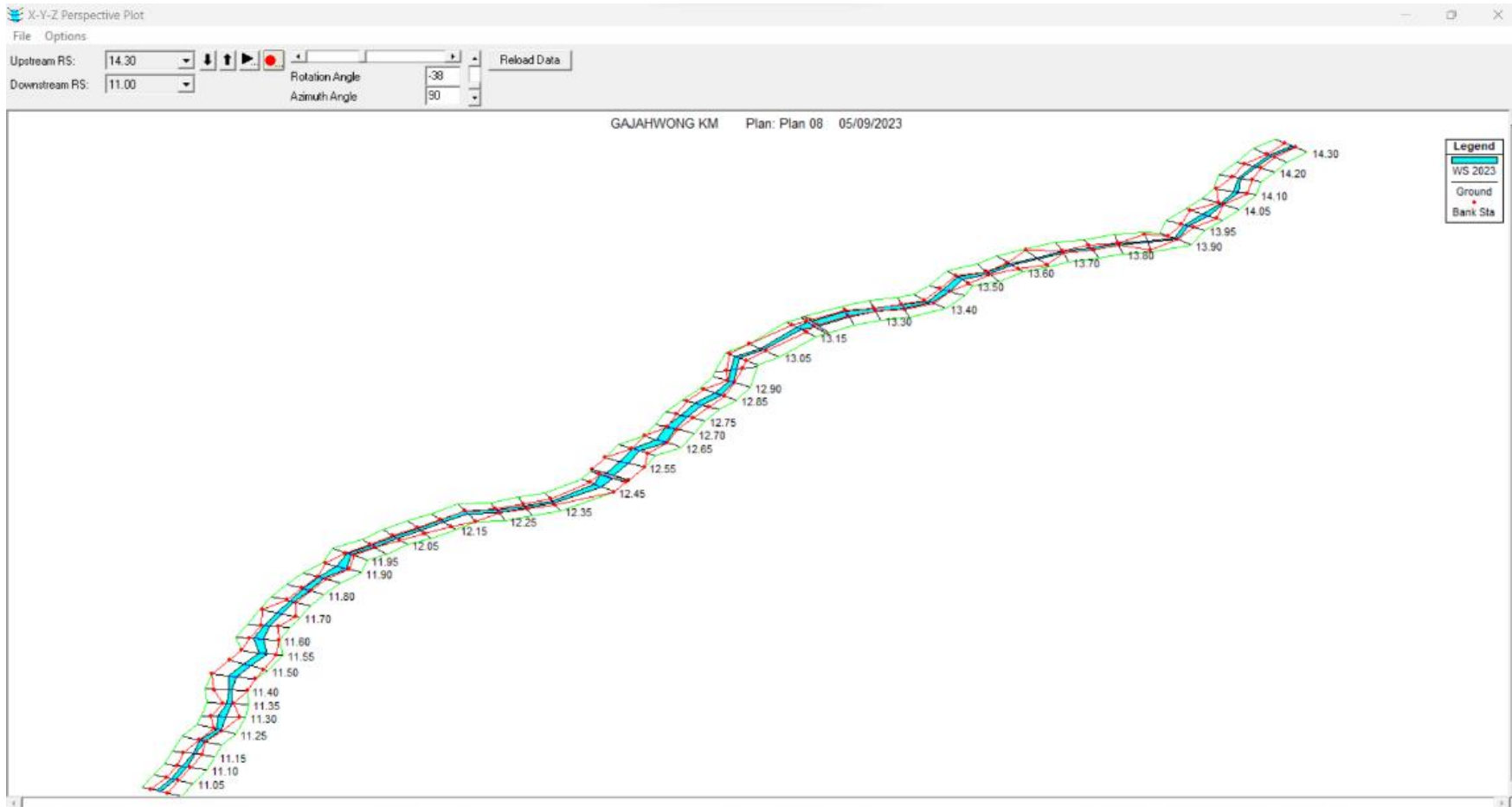


Gambar 4. 8 Data Tampang Melintang Bagian Hulu (RS Km 10,5)

Untuk dapat melihat penampang memanjang pada HEC-RAS dapat kembali ke menu utama dan memilih jendela *view* lalu klik bagian *water surface profiles*. Setelah itu, *software* HEC-RAS akan memunculkan penampang memanjang dari RS Km 14,3 – 0,9. Hulu sungai dimulai dari sebelah kanan hingga ke sisi kiri bagian hilir. Penampang memanjang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Tampang Memanjang Sungai Gajahwong

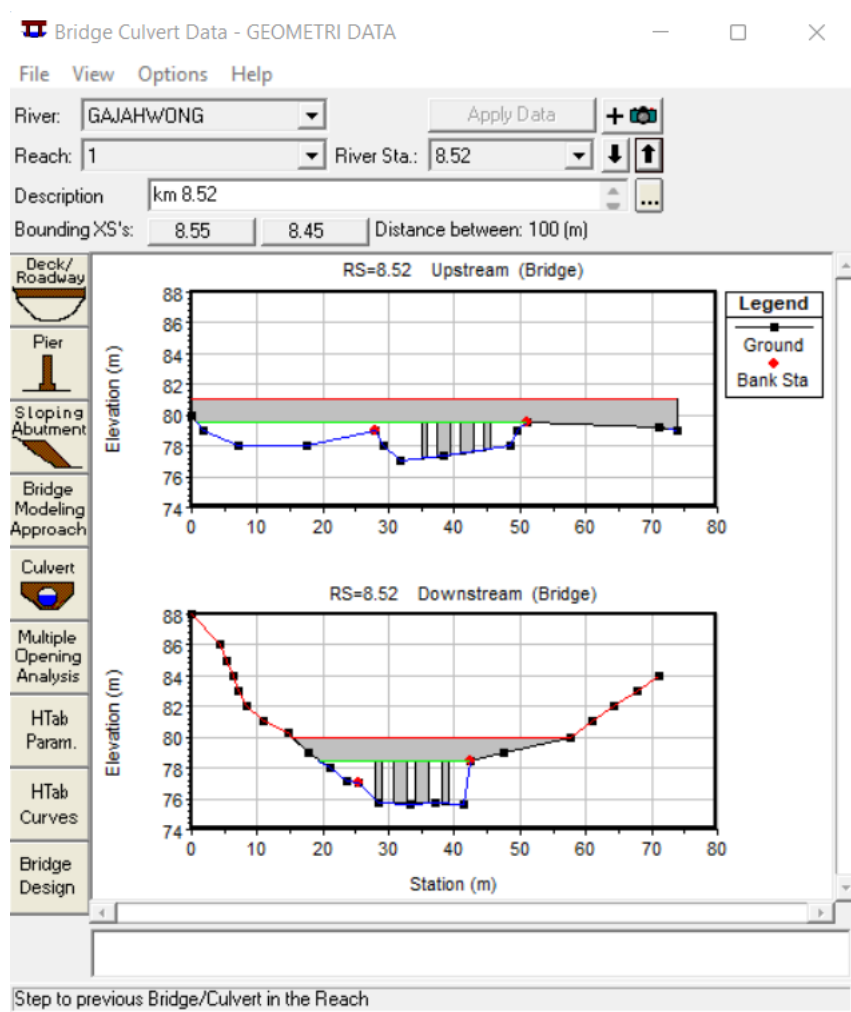


Gambar 4. 10 Profil X-Y-Z Sungai Gajahwong

4.5.3 Jembatan

Pada lokasi penelitian ini terdapat 4 (empat) jembatan dengan pilar dan 1 (satu) *box culvert*. Jembatan dimasukkan pada toolbars geometri bagian data jembatan dengan mengklik tombol *edit/or create bridges and culverts*. Berikut cara memasukkan data jembatan :

1. Klik menu option lalu pilih *add a bridge and/or culverts* dan tambahkan nama jembatan yang dimaksudkan sesuai dengan *river station yang ada*
2. Setelah itu, klik *deck/roadway* dan masukkan data *distance* (jarak dari sebelum jembatan ke jembatan sesuai aliran air sungai). Dilanjutkan dengan mengisi *width* (lebar jembatan) dan *weir coef* sesuai rentang yang ada, biasanya untuk jembatan menggunakan 2,6.



Gambar 4. 11 Data Jembatan

- Masukkan data *station* (jarak jembatan) yang dimulai dari 0, *high chord* (elevasi tertinggi) dan *low chord* (elevasi terendah) pada *upstream*. Setelah itu, untuk data *downstream* bisa langsung di *copy* dengan mengklik *copy US to DS*. Apabila ingin memblok jembatan bisa dimainkan nilainya pada *downstream*. Lalu klik OK

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
27.7	9	2.6

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0.	81.	79.57	0.	80.	78.5
2	51.	81.	79.57	75.49	80.	78.5
3	75.49	81.	79.			
4						
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS 0 D.S Embankment SS 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow Et:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Gambar 4. 12 Pemasukan Data Jembatan

- Selanjutnya menambahkan pilar jembatan sesuai dengan keadaan aslinya dengan mengklik *pier*. Apabila memiliki *pier* lebih dari satu bisa menekan tombol *add*.
- Memasukkan data *centerline station upstream* dan *downstream* (stasiun jarak titik tengah). Lalu mengisi tabel *upstream* dan *downstream* dengan *pier width* (tebal pilar), *elevation* (elevasi titik tengah pilar)

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 35.4

Ins Row Centerline Station Downstream 28.5

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... Apply floating debris to this pier

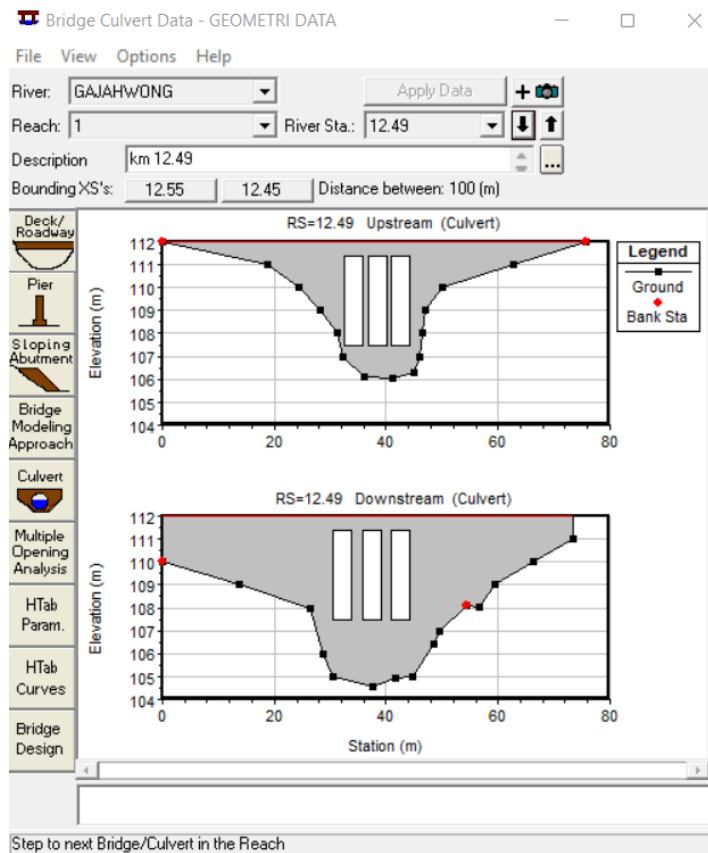
Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	0.95	77.57	0.95	77.57
2	0.95	82.5	0.95	82.5
3				
4				
5				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Gambar 4. 13 Pemasukan Data Pilar

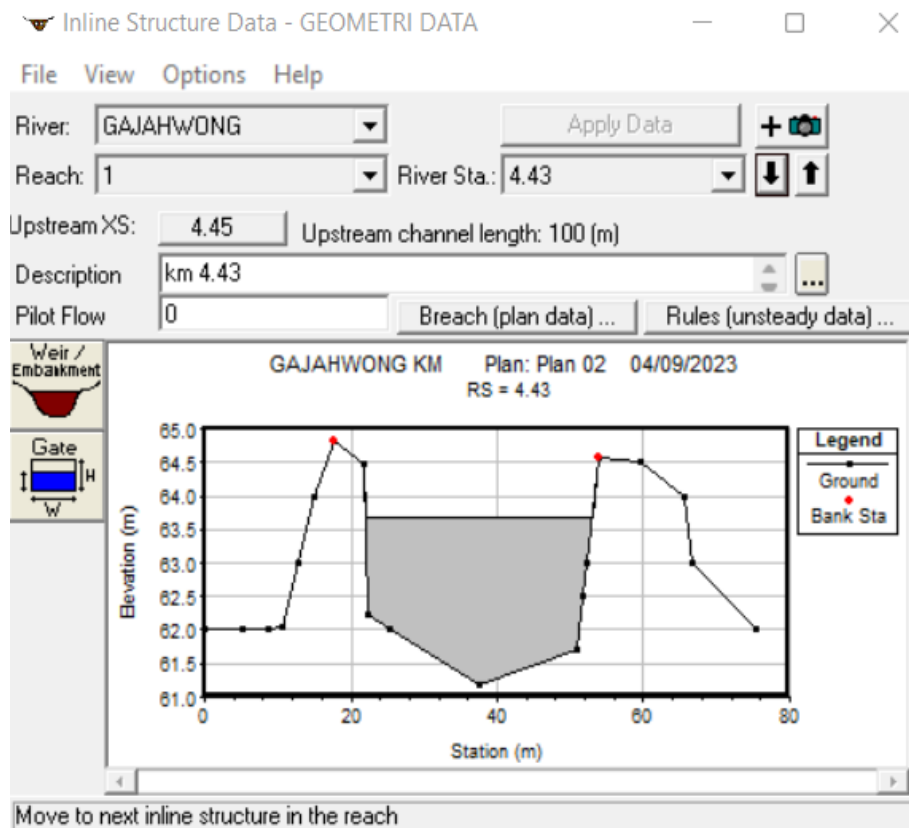
6. Setelah itu, klik *copy up to down* dan OK.
7. Apabila menemukan sebuah *box culvert* di bawah jembatan, maka dapat memblok jembatan dengan isian penuh dari jarak dan elevasinya. Lalu memilih menu *culvert*. Setelah itu memasukkan data pada tabel dan isian *culvert* menyesuaikan dengan bentuk aslinya. Dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Data *Culvert*

4.5.4 Bendung

Pada lokasi penelitian ini terdapat 2 (dua) bendung. Bendung tersebut terletak pada RS Km 13,18 dan RS Km 4,43. Bendung dimasukkan pada toolbars geometri bagian data bendung (*inline structure*) dengan mengaktifkan *edit and/or create inline structures*. Penambahan data bendung dapat memilih menu *options* kemudian klik *add line structure*. Selanjutnya, masukan nomor RS yang disesuaikan dengan jarak bendung ke hilir lalu klik OK. Mengaktifkan layer *weir/embankment*. Setelah itu, masukan data *distance* (jarak dari sebelum bendung ke bendung) sesuai aliran air sungai. Dilanjutkan dengan mengisi *width* (panjang pintu air) dan *weir coef* sesuai rentang yang ada, biasanya untuk bendung menggunakan 3,2. Masukan data *station* (jarak bendung) dilihat dari *left bank*, dan *elevation* (elevasi *right bank* dikurangi tinggi dari pintu air ke bendung). Setelah itu, pada menu *weir data* dapat memilih *ogee* khusus bendung. Lalu klik OK. Berikut merupakan contoh input data bendung dan hasil pemasangan bendung.



Inline Structure Weir Station Elevation Editor

Distance	Width	Weir Coef
18.44	2.3	3.2

Clear Del Row Ins Row Filter...

Edit Station and Elevation coordinates

	Station	Elevation
1	17.82	63.69
2	53.87	63.69
3		
4		
5		
6		
7		
8		

U.S Embankment SS 0 D.S Embankment SS 0

Weir Data
Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee
 Spillway Approach Height: []
 Design Energy Head: [] Cd ...

OK Cancel

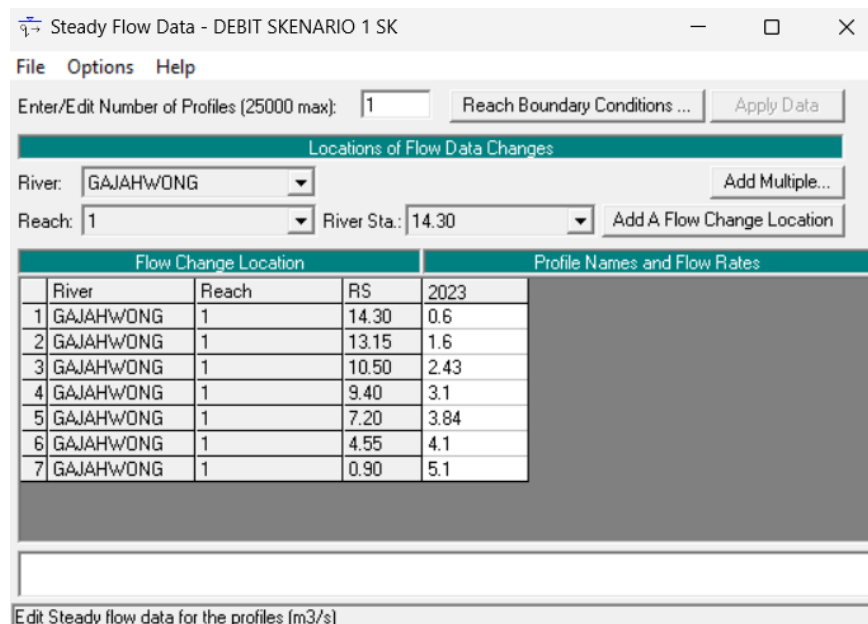
Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Gambar 4. 15 Pemasukan Data Bendung

4.5.5 Perhitungan Hidraulik

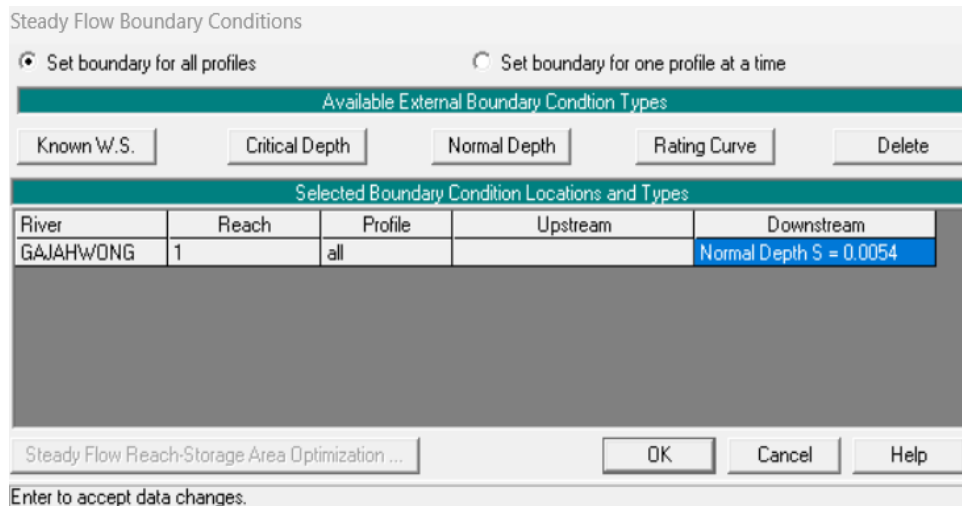
Dalam perhitungan hidraulik pada *software* HEC-RAS dilakukan setelah selesai memasukkan data geometri dan jembatan serta bendung. Simulasi aliran ini dilakukan dengan *running* program menggunakan aliran *steady flow simulation*. Dalam hal ini membutuhkan data debit, elevasi hulu paling besar dan elevasi hilir paling kecil serta panjang sungai. Berikut cara memasukkan data perhitungan hidraulik :

1. Klik *edit* pada jendela menu utama lalu memilih *steady flow data*
2. Memasukkan angka “1” pada *enter/edit number or profiles* karena hanya ada satu profil muka air yang dihitung.
3. Setelah menekan tombol enter maka akan muncul PF1 yang dimana merupakan kolom tempat nilai debit dimasukkan sesuai RS atau titik sampling yang sesuai di lapangan. Satuan debit yang digunakan adalah m^3/s . Untuk menambah RS bisa dilakukan dengan klik *add multiple*. Dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Pemasukan *Steady Flow Data*

4. Lalu memilih ikon *reach boundary conditions* dan memasukkan data kemiringan saluran pada kolom *downstream* lalu klik *normal depth*. Dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Pemasukan Data *Boundary Condition*

5. Setelah semua data terisi, data disimpan pada *file* HEC-RAS dengan mengklik tombol *apply* data dan masuk kedalam menu *file* lalu *save flow data*. Lalu klik *exit flow editor*.
6. Setelah kembali ke jendela utama, memilih ikon run lalu pilih *steady flow data analysis* dan klik *compute*. Apabila *running* berhasil maka data hidraulika sudah benar.

4.5.6 Peniruan Kualitas Air

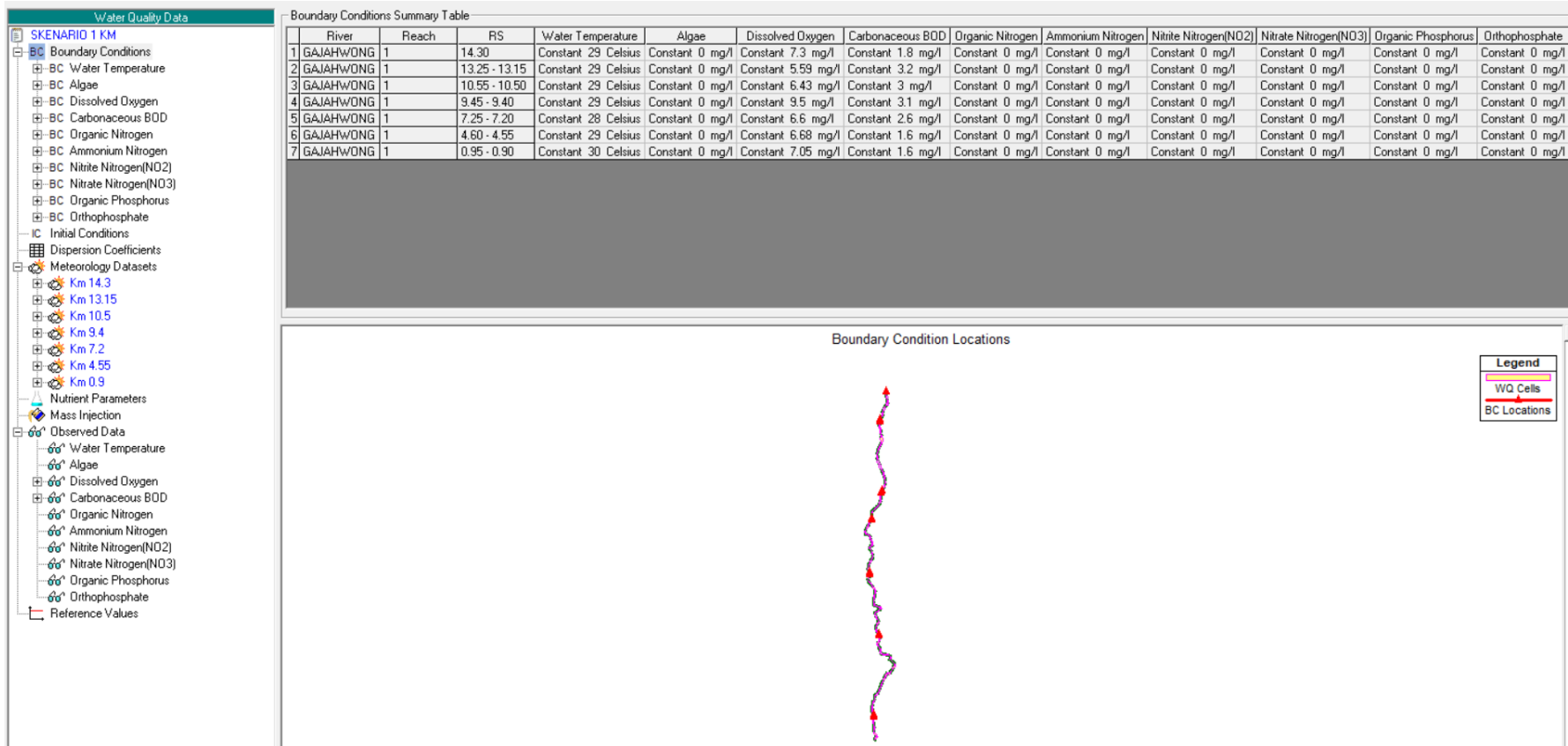
Dalam peniruan kualitas air, terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan pengisian data yaitu *Boundary Condition*, *Initial Condition*, Koefisien Dispersi, Data Meteorologi dan Observed Data.

4.4.6.1 *Boundary Condition* dan *Initial Condition*

Pada *Boundary Conditions* dimasukkan data syarat batas dan syarat awal seperti temperatur air, konsentrasi DO dan konsentrasi BOD yang didapatkan dari hasil pengambilan sampel. Pada *file information* centang *temperature modelling* dan *nutrient modelling* (NSM). Pemodelan ini menggunakan syarat batas dan syarat awal berupa nilai konstan dan memiliki nilai yang sama. Pemasukan nilai syarat

awal dan syarat dibatas berjumlah 10 parameter yang harus dijalankan yaitu *water temperature, algae, dissolved oxygen, carbonaceous BOD, organic nitrogen, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, organic phosphorus dan orthophosphate*. Pada parameter selain BOD, DO dan *water temperature* dimasukkan nilai "0". Hal ini dilakukan karena bukan parameter yang diuji dan tidak boleh dibiarkan kosong. Berikut merupakan langkah-langkah pemasukan data *boundary condition* :

1. Klik pada bagian *water temperature* dan tambahkan RS sesuai titik sampling. Akan tetapi, penambahan RS otomatis ditambahkan oleh *software HEC-RAS*.
2. Lalu klik tanda plus (+) dan memilih salah satu RS dengan pemasukkan pada kolom *constant value* dan dapat mengatur unit pada pemasukan nilai.
3. Selanjutnya untuk isian *water temperature* diisi nilai pada semua RS yang telah dipilih sesuai data lapangan. Untuk parameter BOD dan DO dimasukkan data pada Km 14,3 (hulu) dengan isian nilai kualitas air sementara pada Km lain dimasukkan nilai beban pencemar *point source* dan *non-point source*. Dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Pemasukan Kondisi Batas

4. Selanjutnya, nilai syarat awal (*initial condition*) dimasukan dengan cara mengklik *initial condition* dan menambahkan RS sesuai titik sampling serta memasukkan data kualitas air. Dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Initial Conditions

Initial Temperature Distribution Method

Use a Restart File:

Enter initial temperature distribution

Show cell Interpolated values ... Add RS location(s) to the Table ... Update Plot

	River	Reach	RS	Water Temperature(C)	Algae(mg/l)	Dissolved Oxygen(mg/l)	Carbonaceous BOD(mg/l)	Organic Nitrogen(mg/l)	Ammonium Nitrogen(mg/l)	Nitrite Nitrogen(NO2)(mg/l)	Nitrate Nitrogen
1	GAJAHWONG	1	14.30	29	0	7.3	1.8	0	0	0	0
2	GAJAHWONG	1	13.15	29	0	7.8	2.3	0	0	0	0
3	GAJAHWONG	1	10.50	29	0	7.72	1.8	0	0	0	0
4	GAJAHWONG	1	9.40	29	0	7.07	2	0	0	0	0
5	GAJAHWONG	1	7.20	28	0	6.12	2.1	0	0	0	0

Gambar 4. 19 Pemasukan Kondisi Awal

4.4.6.2 Koefisien Dispersi

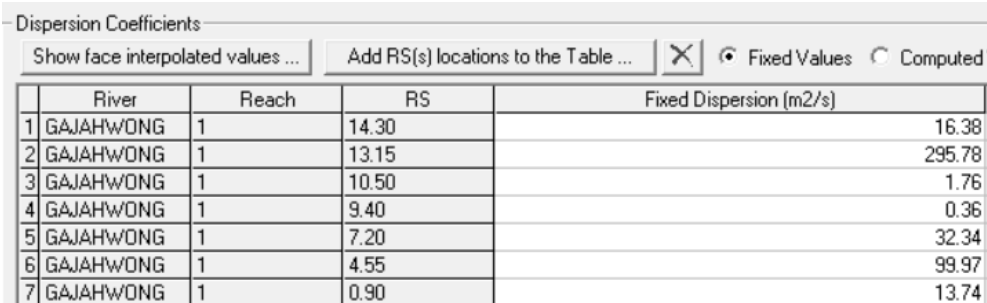
Koefisien dispersi dilakukan sebelum simulasi kualitas air dengan melakukan perhitungan dan nilai *input* koefisien dispersi. Nilai koefisien dispersi di titik sampling ditentukan dengan persamaan disperse. Perhitungan ini membutuhkan data lapangan seperti lebar sungai (B), kedalaman air (h), kecepatan rata-rata kedalaman (U) dan kecepatan geser (u^*). Pada perhitungan koefisien dispersi di RS Km 9,4 didapatkan lebar sungai sebesar 13,35 m, kedalaman air sebesar 0,8 m dan kecepatan rata-rata kedalaman sebesar 0,29 m/s. Untuk mencari nilai kecepatan geser digunakan rumus :

$$u_* = (g \cdot h \cdot Sf)^{0.5} = (9,81 \times 0,8 \times (0,0407))^{0.5} = 0,565 \text{ m/det}$$

Setelah itu, menghitung nilai koefisien dispersi dengan rumus :

$$D = 0,011 \frac{B^2 U^2}{h u_*} = 0,011 \frac{13,35^2 \times 0,29^2}{0,8 \times 0,565} = 0,364 \text{ m}^2/\text{det}$$

Berikut merupakan pemasukan data koefisien dispersi, dapat dilihat pada Gambar 4.20.



	River	Reach	RS	Fixed Dispersion (m2/s)
1	GAJAHWONG	1	14.30	16.38
2	GAJAHWONG	1	13.15	295.78
3	GAJAHWONG	1	10.50	1.76
4	GAJAHWONG	1	9.40	0.36
5	GAJAHWONG	1	7.20	32.34
6	GAJAHWONG	1	4.55	99.97
7	GAJAHWONG	1	0.90	13.74

Gambar 4. 20 Pemasukan Nilai Koefisien Dispersi

Koefisien dispersi sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik sungai seperti lebar sungai, kedalaman air, bentuk geometri sungai, kecepatan aliran dan gesekan pada dasar sungai. Dari data diatas dapat dilihat bahwa pada Km 13,15 dengan nilai terbesar yaitu 295,78 m²/det dikarenakan memiliki lebar aliran yang relatif besar yaitu 16,3 m, kedalaman yang relatif kecil yaitu 0,1 m dan kecepatan aliran yang besar yaitu 1 m/det.

4.4.6.3 Data Meteorologi

Pada data meteorologi dimasukkan data lapangan sesuai dengan kondisi sampling. Memasukkan data meteorologi dimulai dengan klik data meteorologi dan klik *new* untuk menambahkan RS sesuai titik sampling. Setelah itu menambahkan titik koordinat sesuai dengan RS yang ditetapkan. Lalu klik tanda plus (+) untuk memasukkan data meteorologi seperti tekanan atmosfer, temperatur air, *humidity*, *short wave radiation cloudiness*, dan kecepatan angin sesuai unit yang dipilih. Berikut merupakan tabel pemasukan data meteorologi pada RS Km 14,3 terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Data Meteorologi

Data Meteorologi	Satuan	18 Januari 2023
<i>Atmospheric</i>	Atm	1
<i>Air temperature</i>	Celcius	29
<i>Humidity</i>	%RH	85
<i>Short wave radiation</i>	W/m ²	4
<i>Cloudiness</i>	Fraction 0-1	0
<i>Wind speed</i>	m/s	1

4.4.6.4 Data Observasi

Dalam pemodelan kualitas air pada *software* HEC-RAS pemasukan data observasi merupakan Langkah terakhir yang dilakukan yang merupakan data hasil lapangan. Pemasukan data observasi dimulai dari menambahkan RS pada layer editor data observasi sesuai titik sampling dan memasukkan berupa data Tunggal atau *constant value* dengan satuan dan data kualitas air sungai. Data observasi ini merupakan pembanding dalam proses pemodelan. Apabila hasil simulasi mendekati data observasi maka dapat dikatakan model sudah benar. Berikut nilai kualitas air DO dan BOD dapat dilihat pada Tabel 4.10.

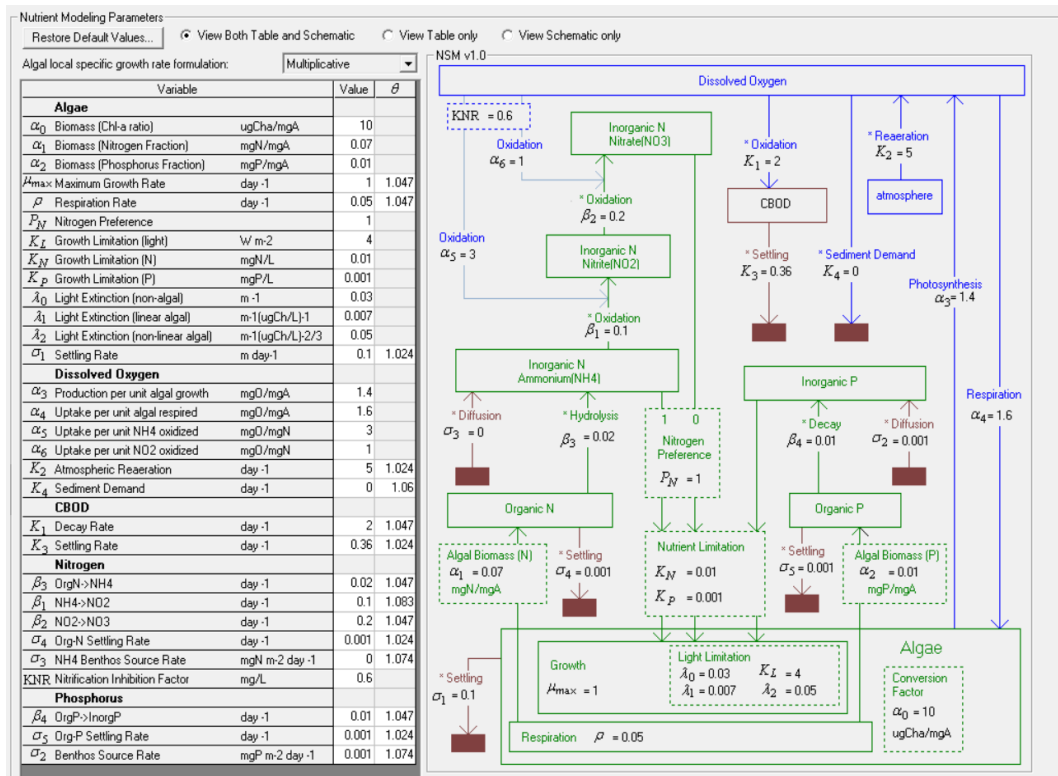
Tabel 4. 10 Data Observasi

<i>River Station</i>	Parameter	
	DO (mg/L)	BOD (mg/L)
Km 14,3	7,30	1,80
Km 13,15	7,80	2,30
Km 10,5	7,72	1,80
Km 9,4	7,07	2,00
Km 7,2	6,12	2,10
Km 4,55	6,68	1,60
Km 0,9	7,05	1,60

Setelah melakukan pemasukan data pada data observasi, selanjutnya melakukan *running program water quality* di HEC-RAS dengan menuju ke jendela utama lalu klik menu *run* dan pilih *water quality data*. Setelah itu, klik *compute* dan OK. Apabila hasil belum mendekati model maka perlu melakukan kalibrasi data agar model mendekati data observasi.

4.5.7 Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi dalam HEC-RAS dilakukan dengan cara *trial and error* dengan melakukan perubahan nilai K pada parameter nutrisi dan *running* secara berulang untuk mendapatkan model yang mendekati kondisi eksisting. Pada pengisian data parameter nutrisi bagian BOD, untuk K_1 memiliki rentang nilai 0,02 – 3,4 sedangkan K_3 memiliki rentang nilai sekitar -0,36 – 0,36. Pada pengisian data parameter nutrisi bagian DO hanya menggunakan K_2 saja dengan rentang nilai 0 – 100 (USACE, 2006). Pada pengaturan model *water quality* untuk parameter BOD terdapat dua variabel yang mempengaruhi, yaitu K_1 *decay rate* dan K_3 *settling rate*. Dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Parameter Nutrien

Hasil *trial and error* pada parameter nutrien dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Nilai Koefisien untuk Simulasi BOD

Variabel	Unit	Nilai Sebelum Kalibrasi	Nilai sesudah kalibrasi
BOD			
K_1 decay rate	hari ⁻¹	0,02	2
K_3 settling rate	hari ⁻¹	0	0,36

Hasil percobaan awal simulasi telah memiliki bentuk grafik yang sesuai dengan pengamatan di lapangan, akan tetapi perlu dilakukan penambahan konsentrasi BOD dari beban pencemar untuk lebih mendekati hasil *running* dengan data observasi. Hal ini mungkin menyebabkan kenaikan pada konsentrasi BOD. Sedangkan pada DO yang mempengaruhi perubahan DO adalah oksidasi karbon (K_1) dan reaerasi dari atmosfer (K_2). Dalam hal ini yang dapat diubah-ubah adalah nilai dari K_2 untuk K_1 diperoleh dari koefisien BOD. Pengaruh K_2 lebih besar

daripada K_1 menyebabkan nilai DO mengalami kenaikan. Hasil *trial and error* pada parameter nutrisi dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Nilai Koefisien untuk Simulasi DO

Variabel	Unit	Nilai Sebelum Kalibrasi	Nilai sesudah kalibrasi
DO			
K_2 Atmospheric reaeration	hari ⁻¹	1	5
K_4 Sediment demand	hari ⁻¹	0	0

Hasil percobaan awal simulasi telah memiliki bentuk grafik yang sesuai dengan pengamatan di lapangan, akan tetapi perlu dilakukan penambahan konsentrasi DO dari beban pencemar untuk lebih mendekati hasil *running* dengan data observasi. Hal ini mungkin menyebabkan kenaikan pada konsentrasi DO dikarenakan ada penambahan aliran debit yang baik kualitasnya dibandingkan kualitas Sungai Gajahwong. Setelah melakukan kalibrasi perlu melakukan validasi terkait keakuratan data model dengan data lapangan. Model yang divalidasi dilakukan dengan menghitung nilai *error* menggunakan metode terpilih yaitu RMSPE (*Root Mean Square Percent Error*). Salah satu kelebihan dari RMSPE ini menghasilkan nilai yang tepat. Berikut merupakan tabel hasil validasi BOD menggunakan metode RMSPE :

Tabel 4. 13 Validasi Model BOD dengan Metode RMSPE

Titik	Lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\sum (3)])} \times 100\%$
1	1,80	2,00	1×10^{-2}	4%
2	2,30	2,23	$9,85 \times 10^{-4}$	
3	1,80	1,86	$1,04 \times 10^{-3}$	
4	2,00	1,92	$1,73 \times 10^{-3}$	
5	2,10	2,03	$1,18 \times 10^{-3}$	
6	1,60	1,65	$9,18 \times 10^{-4}$	
7	1,60	1,60	0	
Jumlah			0,015	

Berdasarkan hasil validasi dengan metode RMSE menunjukkan bahwa nilai validasi model dapat diterima yaitu jika, nilai $RMSE \leq 50\%$ maka akurasi semakin baik dan semakin kecil nilai RMSE maka semakin tepat model tersebut terhadap kondisi badan sungai. Pada tabel diatas menunjukkan hasil validasi BOD sebesar 4% sehingga dapat diterima.

Tabel 4. 14 Validasi Model DO dengan Metode RMSE

Titik	Lapangan (1)	Model (2)	$\left(\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}\right)^2$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\sum (3)])} \times 100\%$
1	7,30	7,50	$7,11 \times 10^{-4}$	2%
2	7,80	7,78	$6,60 \times 10^{-6}$	
3	7,72	7,71	$1,68 \times 10^{-6}$	
4	7,07	7,30	$9,92 \times 10^{-4}$	
5	6,12	6,20	$16,6 \times 10^{-4}$	
6	6,68	6,62	$8,21 \times 10^{-5}$	
7	7,05	7,04	$2,01 \times 10^{-6}$	
Jumlah			0,002	

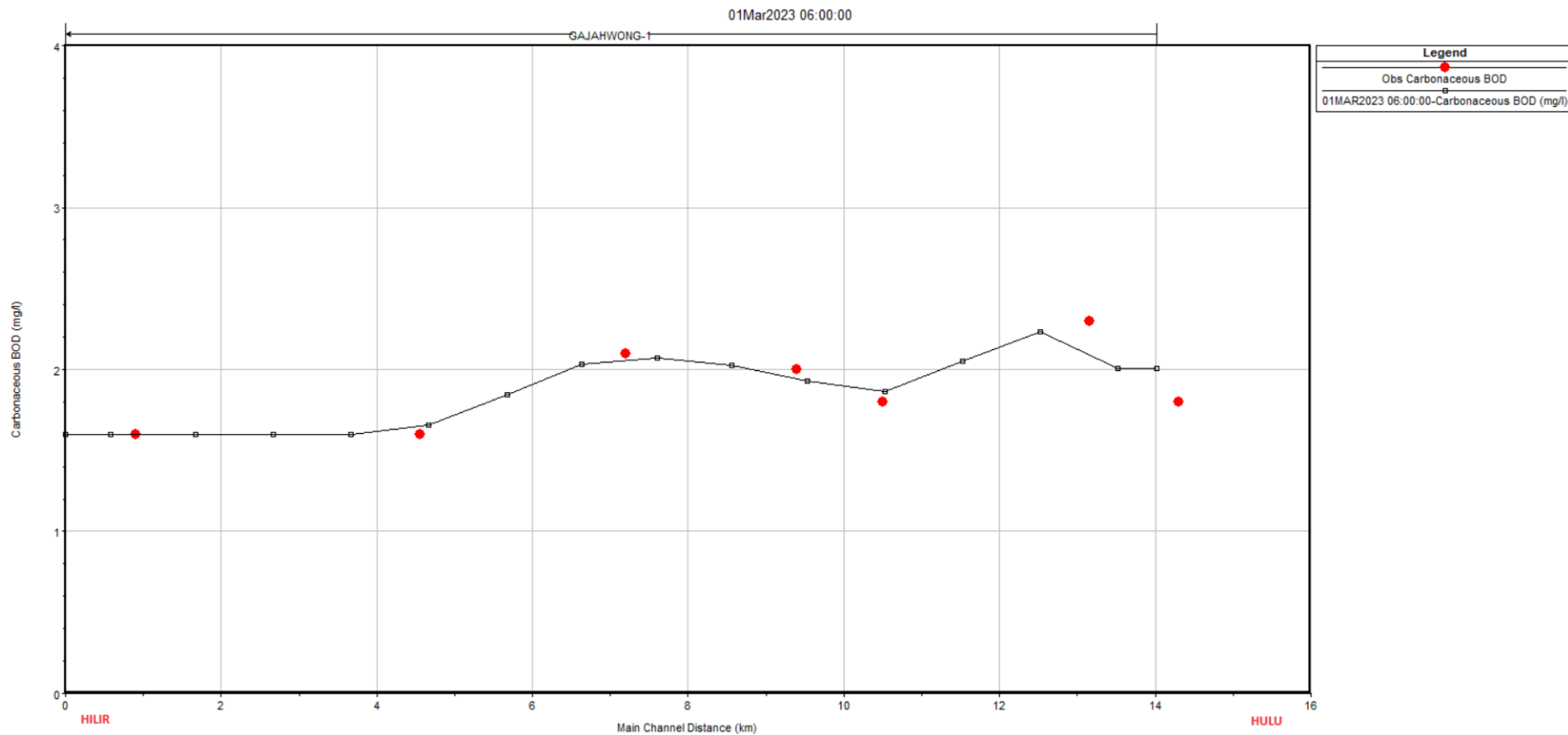
Berdasarkan hasil validasi dengan metode RMSE menunjukkan bahwa nilai validasi model dapat diterima yaitu jika, nilai $RMSE \leq 50\%$ maka akurasi semakin baik dan semakin kecil nilai RMSE maka semakin tepat model tersebut terhadap kondisi badan sungai. Pada tabel diatas menunjukkan hasil validasi DO sebesar 2% sehingga dapat diterima.

4.5.8 Hasil Skenario Model

Skenario pada pemodelan Sungai Gajahwong dilakukan menggunakan 2 skenario. Skenario pertama disimulasikan membentuk model sesuai dengan data observasi dengan menggunakan *trial* dan *error*. Sedangkan skenario kedua diasumsikan kualitas air sesuai dengan kualitas air sungai kategori kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

- a) Skenario 1

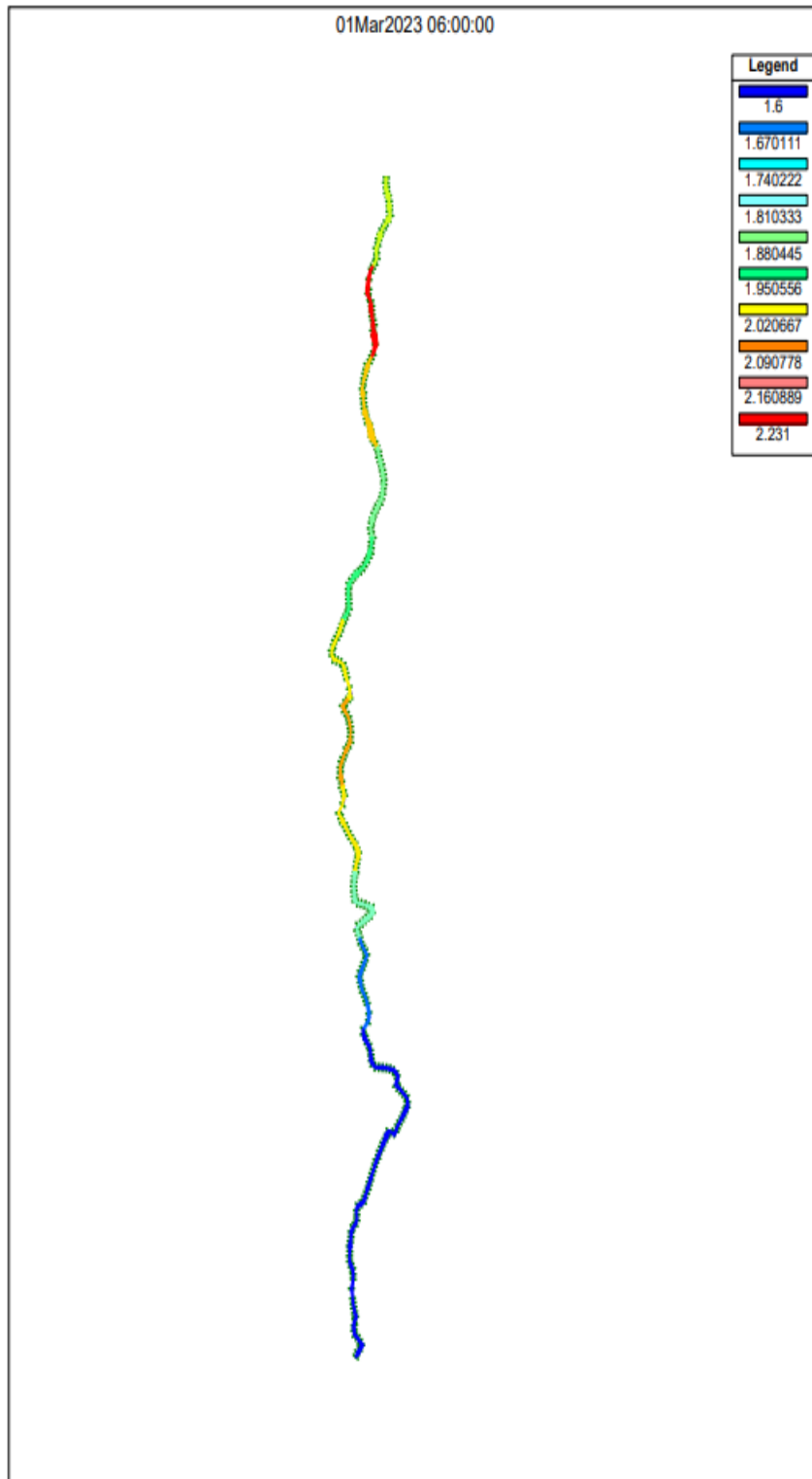
Skenario pertama dengan menggunakan kondisi eksisting sesuai model yang dihasilkan. Grafik model skenario pertama dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.24.



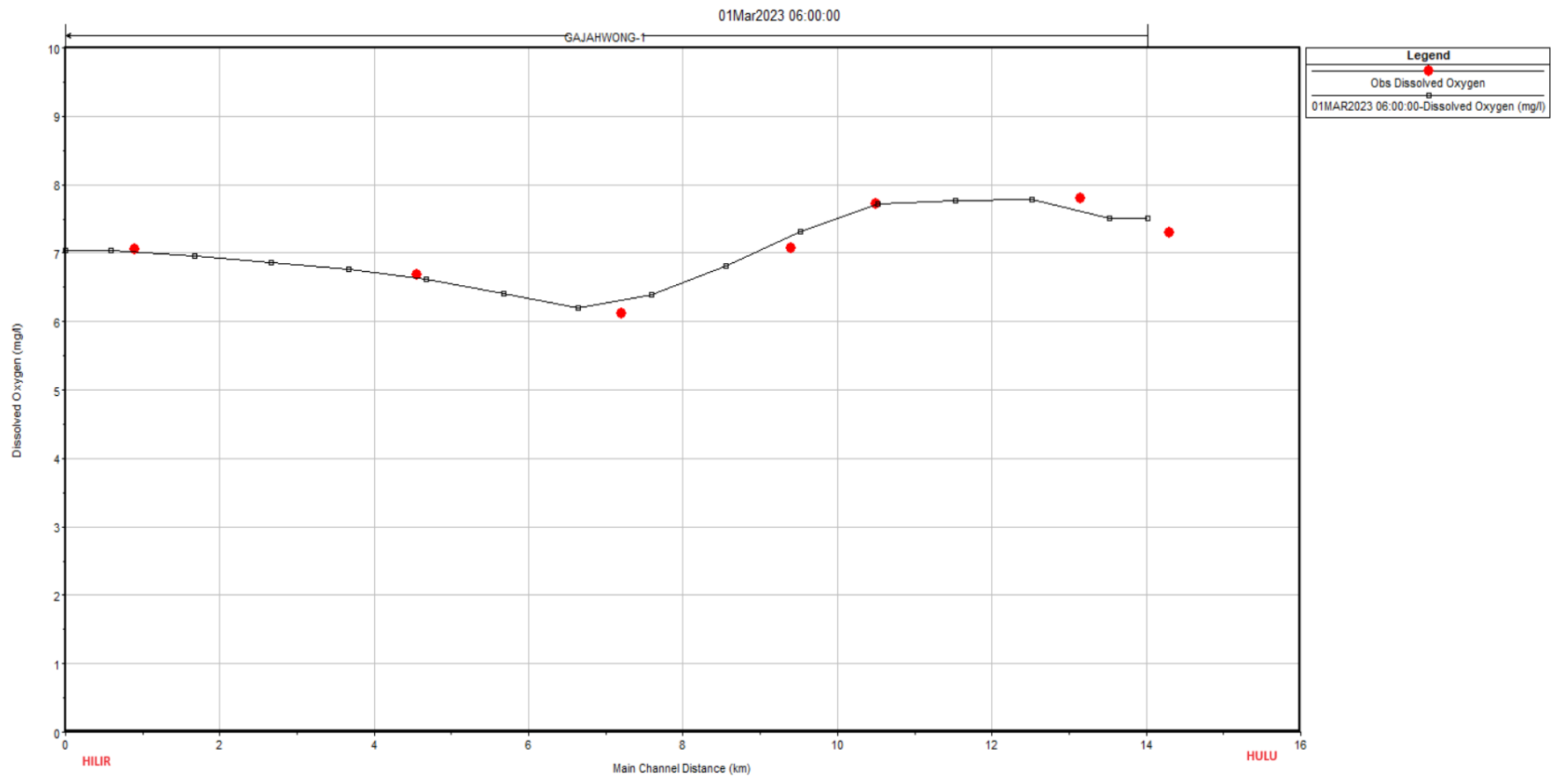
Gambar 4. 22 Model Skenario 1 Parameter BOD

Pada grafik skenario 1 untuk parameter BOD menyatakan bahwa model BOD memiliki nilai yang beragam. Kecil besarnya suatu konsentrasi BOD pada pemodelan HEC-RAS dipengaruhi oleh pemasukkan beban pencemar yang masuk ke badan sungai. Titik BOD tertinggi terletak di RS Km 13,15 yaitu sebesar 2,43 mg/L yang berada di Jembatan Affandi. Tingginya tingkat BOD di RS Km 13,15 dikarenakan *effluent* dari *point source* saluran drainase mall amplaz yang besar walaupun nilai DO di RS Km 13,15 tinggi. Sedangkan, nilai BOD terendah terdapat pada RS 0,9 yaitu sebesar 1,6 mg/L dikarenakan adanya vegetasi yang rimbun disekitar sungai menyebabkan terjadinya fotosintesis pada tumbuhan yang menghasilkan oksigen, sehingga DO di RS Km 0,9 tinggi.

Ilustrasi dari *schematic plot* terjadi perubahan parameter kualitas air, seperti BOD menggambarkan bagaimana kualitas air bervariasi sepanjang sungai. Dalam ilustrasi ini, titik-titik merah melambangkan peningkatan konsentrasi BOD, sementara titik-titik biru tua melambangkan penurunan konsentrasi BOD. *Schematic plot* berperan dalam mengidentifikasi zona-zona di mana pencemaran terfokus, dan ini menjadi fokus utama dalam upaya mitigasi pencemaran. Analisis kualitas air di HEC-RAS terkait dengan aspek hidraulik sungai. Semakin besar dimensi atau penampang sungai, semakin besar kapasitas air untuk membawa dan melarutkan pencemar seperti BOD. Di sisi lain, penampang sungai yang lebih sempit dapat mengakibatkan pergerakan air yang lebih lambat, yang berpotensi menumpukkan pencemar dan meningkatkan konsentrasi BOD. Selain itu, ketika ada struktur sungai seperti jembatan, struktur ini bisa bertindak sebagai hambatan terhadap pencemaran, menyebabkan akumulasi polutan pada pilar atau bagian tertentu yang dapat menghasilkan konsentrasi BOD yang tinggi. Berikut merupakan gambar *schematic plot* BOD pada skenario 1.



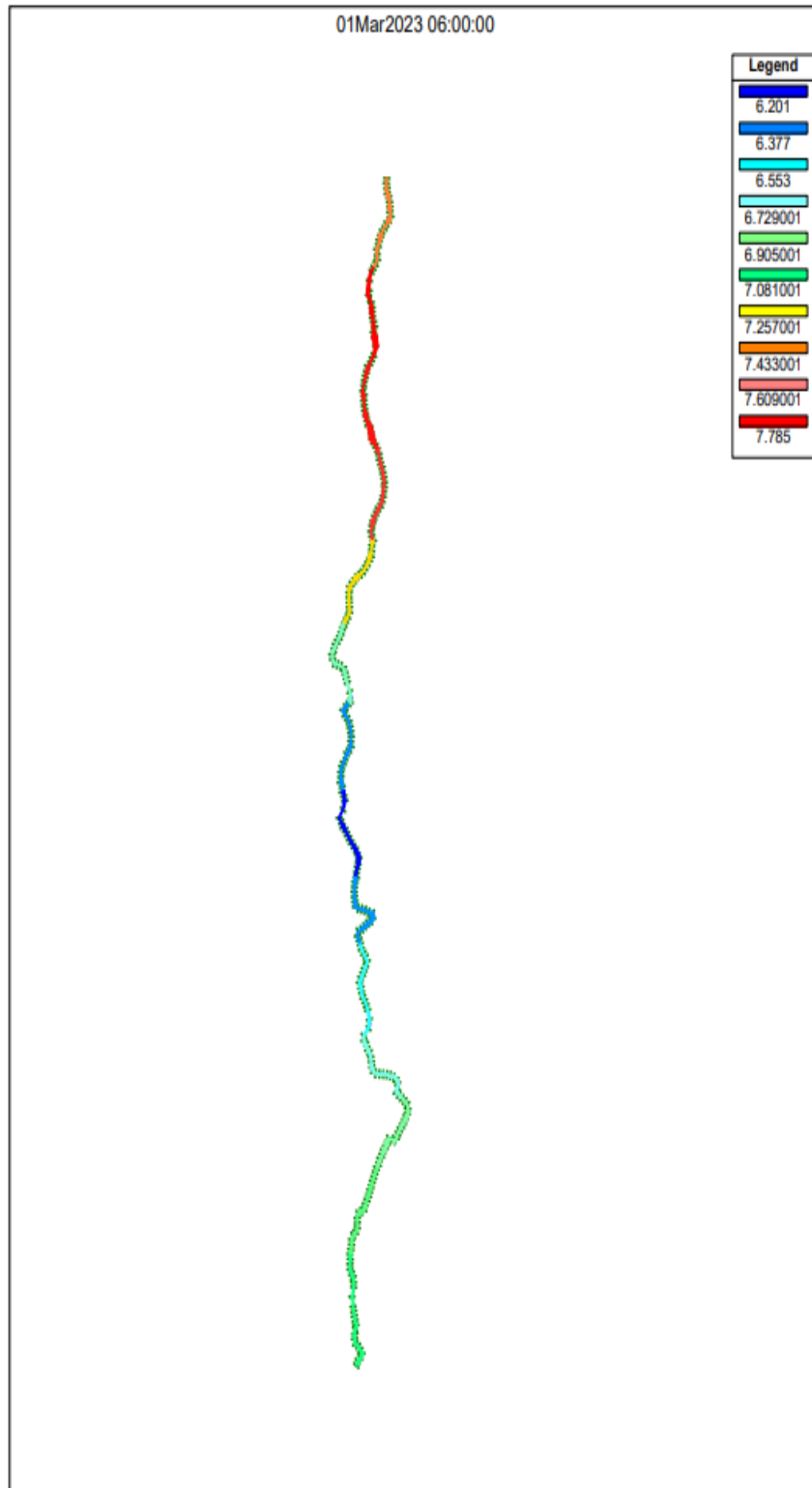
Gambar 4. 23 *Schematic Plot BOD*



Gambar 4. 24 Model Skenario 1 Parameter DO

Pada grafik skenario 1 untuk parameter DO menyatakan bahwa model DO memiliki nilai yang beragam. Kecil besarnya suatu konsentrasi BOD pada pemodelan HEC-RAS dipengaruhi oleh kondisi hidraulik, karakteristik geometrinya serta nilai temperatur air dan memasukkan beban pencemar yang masuk ke badan sungai. Titik DO tertinggi terletak di RS Km 13,15 yaitu sebesar 7,8 mg/L yang berada di Jembatan Affandi dikarenakan terdapat bendung atau terjunan yang menyebabkan terjadi aerasi sehingga menghasilkan peningkatan DO. Rendahnya nilai DO di RS Km 7,2 yaitu sebesar 6,12 mg/L dikarenakan *effluent* dari *point source* limbah industri kulit yang besar.

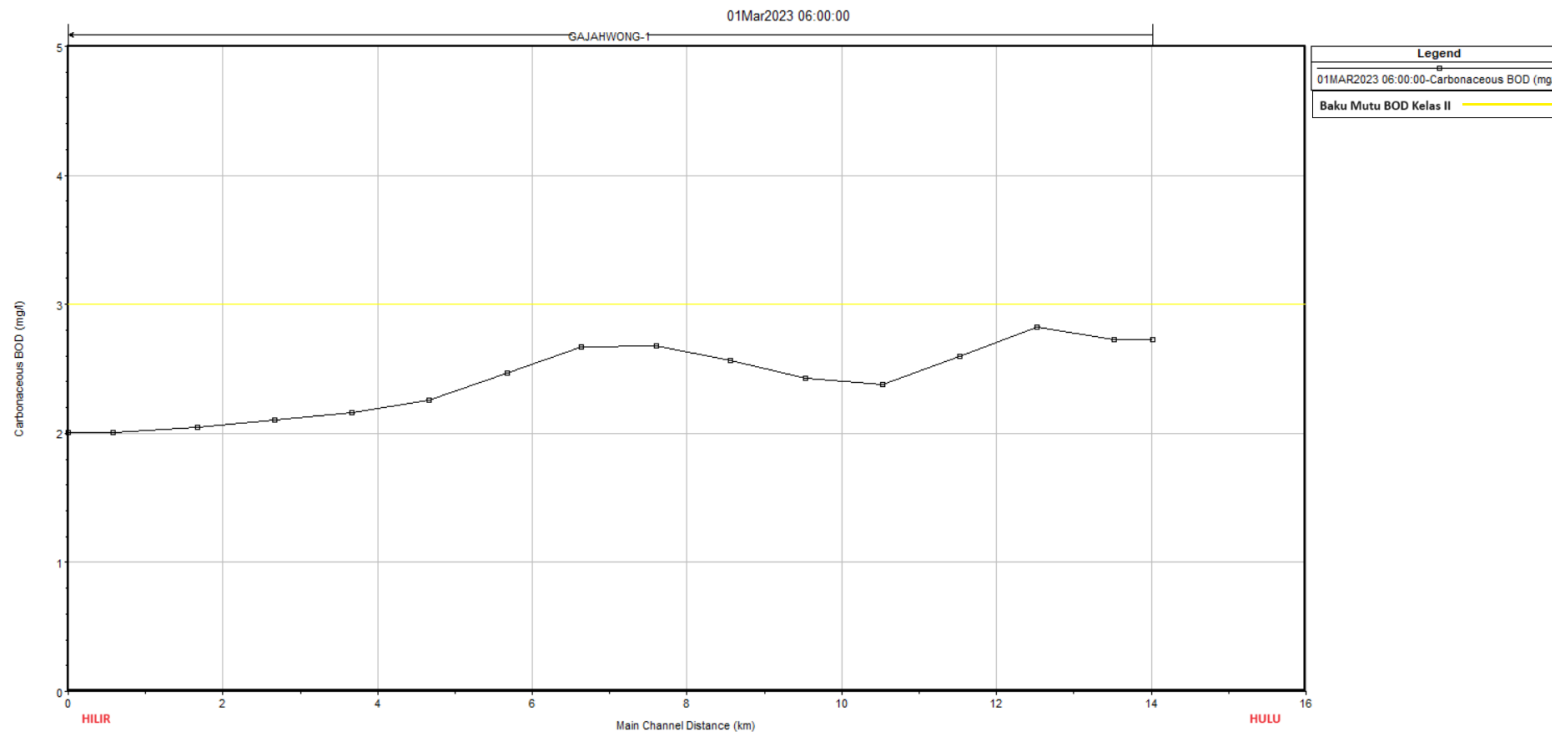
Ilustrasi dari *schematic plot* diatas terjadi perubahan parameter kualitas air, seperti DO menggambarkan bagaimana kualitas air bervariasi sepanjang sungai. Dalam ilustrasi ini, titik-titik merah melambangkan tingginya nilai DO, sementara titik-titik biru tua melambangkan rendahnya nilai konsentrasi DO. *Schematic plot* berperan dalam mengidentifikasi zona-zona di mana pencemaran terfokus, dan ini menjadi fokus utama dalam upaya mitigasi pencemaran. Penampang sungai memiliki potensi untuk mempengaruhi tingkat DO (Dissolved Oxygen) dalam air melalui berbagai faktor hidraulik dan lingkungan. Penampang sungai yang lebih luas dapat menyebabkan aliran yang lebih cepat, yang meningkatkan aerasi aliran dan memasukkan lebih banyak oksigen ke dalam air, yang kemudian meningkatkan konsentrasi DO. Di sisi lain, sungai yang berkelok dengan aliran yang lambat di beberapa bagian dapat meningkatkan potensi penumpukan nutrisi dan materi organik, yang dapat mereduksi kualitas air dan kandungan DO. Berikut merupakan gambar *schematic plot* DO pada skenario 2.



Gambar 4. 25 *schematic plot DO*

b) Skenario 2

Pada skenario 2 yaitu membandingkan *water quality* dengan baku mutu air yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk parameter BOD nilai baku mutu sebesar 3 mg/L. Sedangkan untuk parameter DO nilai baku mutu sebesar 4 mg/L untuk sungai air kelas II. Berikut hasil simulasi skenario yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.



Gambar 4. 26 Model Simulasi 2 Parameter BOD

Berdasarkan hasil grafik model diatas pada simulasi 2 untuk parameter BOD dan DO memiliki nilai yang memenuhi baku mutu air kelas II, walaupun pada saat dilapangan parameter DO juga tidak melebihi baku mutu. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai DO maka konsentrasi air di Sungai Gajahwong semakin baik.

4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar

Daya tampung beban pencemaran merupakan perhitungan selisih antara sungai dalam kondisi awal dengan kondisi sungai yang memiliki sumber pencemaran *point source* dan *non-point source* yang dilakukan *trial and error* sehingga mendapati hasil baku mutu kelas II sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Untuk menghitung daya tampung beban pencemaran didapatkan dalam hasil simulasi skenario pada *output running water quality* yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada *output running water quality* di ambil data konsentrasi BOD dan DO yang ada pada setiap titik untuk mendapatkan hasil beban pencemar parameter terpilih dengan rumus beban pencemaran.

4.6.1 Beban Pencemar

Perhitungan Beban Pencemar (BP) didapatkan dengan mengurangi dan menambah sumber pencemaran *non-point source* secara *trial and error* pada titik tertentu. Nilai BP dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Beban pencemaran (kg/hari)} = \text{Debit (m}^3/\text{detik)} \times \text{Konsentrasi (mg/L)} \times 86,4$$

Pada beban pencemaran dapat dihitung dengan memperlihatkan dua kondisi. Pada penelitian ini simulasi skenario 1 merupakan sungai dalam kondisi eksisting, sedangkan simulasi skenario 2 yaitu memperlihatkan model yang didapatkan dari keadaan pencemar pada sungai Gajahwong dicoba *trial and error* sampai hasilnya memenuhi dasar kualitas air sungai kategori II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Berikut merupakan hasil perhitungan beban pencemar pada simulasi skenario 1 dan simulasi skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Beban Pencemar pada Simulasi Skenario 1

Segmen	Jarak	Debit	Konsentrasi (mg/l)	Beban BOD (kg/hari)
1	14,30 – 13,15	0,60	2,00	103,68
2	13,15 – 10,50	1,60	2,23	308,28
3	10,50 – 9,40	2,43	1,86	390,51
4	9,40 – 7,20	3,10	1,92	514,25
5	7,20 – 4,55	3,84	2,03	673,51
6	4,55 – 0,90	4,10	1,65	584,50

Tabel 4. 16 Beban Pencemaran pada Simulasi Skenario 2

Segmen	Jarak	Debit	Konsentrasi (mg/l)	Beban BOD (kg/hari)
1	14,30 – 13,15	0,60	2,72	141,00
2	13,15 – 10,50	1,60	2,82	389,84
3	10,50 – 9,40	2,43	2,37	497,59
4	9,40 – 7,20	3,10	2,42	648,17
5	7,20 – 4,55	3,84	2,67	885,84
6	4,55 – 0,90	4,10	2,26	800,58

4.6.2 Daya Tampung Beban Pencemar

Daya tampung beban pencemar pada Sungai Gajahwong menggunakan simulasi skenario 1 dan simulasi skenario 2. Perhitungan daya tampung beban pencemaran dilakukan dengan menghitung selisih antara kondisi sungai dengan adanya beban pencemaran sampai hasilnya memenuhi dasar kualitas air sungai kategori II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (simulasi skenario 2) dan kondisi sungai sesuai dengan kondisi eksisting. Berikut rumus untuk menghitung Daya Tampung Beban Pencemar:

$$DTBP = \text{Beban Pencemar Simulasi 2 (kg/hari)} - \text{Beban Pencemar Simulasi 1}$$

Hasil dari perhitungan DTBP di Sungai Gajahwong untuk parameter BOD dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Daya Tampung Beban Pencemar pada Parameter BOD

DTBP (Simulasi 2 – Simulasi 1)		
Segmen	Jarak	Beban BOD (kg/hari)
1	14,30 – 13,15	37,32
2	13,15 – 10,50	81,56
3	10,50 – 9,40	107,08
4	9,40 – 7,20	133,92
5	7,20 – 4,55	212,34
6	4,55 – 0,90	216,09

Berdasarkan hasil perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) diatas dapat di ketahui bahwa untuk parameter BOD yang ada di sungai Gajahwong di beberapa segmen masih memiliki nilai daya tampung yang ditunjukkan dengan hasil nilai DTBP positif. Nilai positif pada hasil perhitungan daya tampung beban pencemar (DTBP) yang artinya bahwa Sungai Gajahwong dapat menerima beban pencemar yang masuk ke badan sungai tanpa mengalami dampak yang signifikan.

Apabila dibandingkan dengan hasil daya tampung beban pencemar BOD pada Qual2kw di Sungai Gajahwong hasil yang diperoleh ternyata pada segmen 1, 2 dan 4 melebihi daya tampung beban pencemar sebesar 34,31 kg/hari, -25,35 kg/hari dan -60,92 kg/hari. Adanya perbedaan nilai pada daya tampung beban pencemar ini dikarenakan beberapa faktor di aplikasi HEC-RAS seperti hidraulika dan kevalidan dalam nilai error yang dapat mempengaruhi nilai beban pencemar, sedangkan untuk aplikasi Qual2kw hidraulika tidak terlalu dipertimbangkan. Berikut merupakan tabel hasil nilai daya tampung beban pencemar menggunakan aplikasi Qual2kw.

Tabel 4. 18 Daya Tampung Beban Pencemar pada Parameter BOD dengan Qual2kw

DTBP (Simulasi 2 – Simulasi 1)		
Segmen	Jarak	Beban BOD (kg/hari)
1	14,96 – 12,52	-34,31
2	12,52 – 11,06	-25,35
3	11,06 – 9,23	69,63
4	9,23 – 6,73	-60,92
5	6,73 – 2,97	77,57
6	2,97 – 0,00	199,81

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menganalisis beban pencemar serta daya tampung beban pencemar BOD dan DO di Sungai Gajahwong maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai beban pencemar di Sungai Gajahwong berdasarkan parameter BOD yaitu :
 - a) Nilai parameter BOD tertinggi pada skenario pertama berada pada segmen 5 yaitu sebesar 673,51 kg/hari dan nilai terendah pada segmen 1 yaitu sebesar 103,68 kg/hari
 - b) Nilai parameter BOD tertinggi pada simulasi kedua berada pada segmen 5 yaitu sebesar sebesar 885,84 kg/hari dan nilai terendah pada segmen 1 sebesar 141,00 kg/hari
2. Kondisi Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP) di Sungai Gajahwong berdasarkan parameter BOD pada segmen 1 hingga segmen 6 masih memiliki nilai daya tampung sebesar 37,32 kg/hari, 81,56 kg/hari, 107,08 kg/hari, 133,92 kg/hari, 212,34 kg/hari dan 216,09 kg/hari.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan dalam penelitian-penelitian yang akan dilakukan selanjutnya khususnya dalam menganalisis kualitas air terhadap beban pencemar di Sungai Gajahwong, yaitu :

1. Dibutuhkan adanya pemantauan secara berkelanjutan dan periodik terhadap kualitas dan kuantitas sumber pencemar sehingga mendapatkan data lebih akurat.
2. Dibutuhkan parameter selain BOD dan DO untuk mengontrol kualitas air dengan penambahan faktor seperti *Total Suspended Solid* (TSS) yang

merupakan total padatan dalam air yang terserap dan padatan ini juga berupa bahan organik maupun anorganik.

3. Penelitian selanjutnya perlu melakukan simulasi kualitas air dengan menggunakan aliran *unsteady*.
4. Penelitian selanjutnya perlu mencari tata cara pemasukkan beban pencemar *non-point source* di bagian *mass injection*.
5. Menggunakan data *terrain* yang terkini sehingga dapat menyesuaikan pemodelan dengan kondisi topografi yang aktual di lapangan. Mengingat bentuk sungai dapat berubah terhadap waktu akibat erosi.
6. Melakukan pengoperasian pemodelan dengan jenis aliran *unsteady flow* dibandingkan dengan menggunakan *steady flow* untuk memperoleh data yang lebih representatif.
7. Melakukan pengoperasian *software* HEC-RAS dalam bentuk 2D dan 3D.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2015). *Metodologi Penelitian Kuantitatif* (1 ed.). Yogyakarta: Aswaja Pressindo
- Ahdiaty, R., & Fitriana, D. (2020). Pengambilan Sampel Air Sungai Gajah Wong di Wilayah Kota Yogyakarta. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(2), 65–73. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss2.art4>.
- Aliffia, A. (2018). *Pemodelan Daya Tampung Beban Pencemar Dan Optimasi Limpasan Air Limbah Ke Sungai Kali Surabaya (Segmen Cangkir – Sepanjang)*. Tugas Akhir - Re 141581, 1-153.
- Amanda, A., Riduan, R., Abdi, C. (2020). Analisis Daya Tampung Sungai Terhadap Beban Pencemar Organik. *Jtam Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, Vol 3 (1), 1-14
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (T.T.). *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan PENENTUAN NILAI BOD DAN COD SEBAGAI PARAMETER PENCEMARAN AIR DAN BAKU MUTU AIR LIMBAH DI PUSAT PENELITIAN KELAPA SAWIT (PPKS) MEDAN*. <https://ejournalunsam.id/index.php/JQ>
- Astuti, D., Rosemalia, I., Program,), Kesehatan, S., Fakultas, M., Kesehatan, I., Muhammadiyah, U., Yani, S. J. A., Pos, T., Pabelan, I., & Sukoharjo, K. (t.t.). *Review: Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi*. 15(1), 2022.
- Brontowiyono, W. Et Al (2013). Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik Di Sungai Code DIY. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, Vol. 5, Hal 36- 47.
- Chuco, T. D. (2004). *Dyanmic Integrated Modelling of Basic Water Water and Fate and Effect of Organic Contanminants in Rivers*.
- Fachrurazie, C. (2005). Tinjauan Debit Aliran pada Saluran Utama Jaringan Irigasi Riam Kanan Sub Area A untuk Pertanian, Perikanan dan PDAM. *Media Teknik Sipil, UNLAM*, 13(xxxii), 1–7.
- Fan, C., Wang, W.S., Liu, F.R., Yang, T.M. 2012. Sensitivity Analysis and Water Quality Modeling of a Tidal River Using a Modified Streeter–Phelps Equation with HEC-RAS-Calculated Hydraulic Characteristics. Hal 1-15

- Hendrasarie, N., & Cahyarani. (2019). Kemampuan Self Purification Kali Surabaya, Ditinjau dari Parameter Organik Berdasarkan Model Matematis Kualitas Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 1–11.
- Herdyasrastiti, A. 2015. Kajian Transpor Sedimen dan Bod-Do di Sungai Serayu Hilir. Tesis, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Herman, W., Darmawan, D., & Gusnidar, G. (2017). Pemanfaatan Tanah Vulkanik Dalam Sistem Multiple Soil Layering (Msl) Terhadap Pemurnian Air Irigasi Terpolusi. *Jurnal BiBieT*, 2(2), 49. <https://doi.org/10.22216/jbbt.v2i1.3085>
- Hidayah, A. L., Dwiratna, S., Prawiranegara, B. M. P., & Amaru, K. (2020). Kinerja dan Karakteristik Konsumsi Energi, Air, dan Nutrisi pada Sawi Pagoda (*Brassica narinosa*) Menggunakan Sistem Fertigasi Deep Flow Technique (DFT). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(2), 125–134. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.02.02>
- Istiarto. 2014. Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras Jenjang Dasar: Simple Geometry River. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kamel, A. (2008). Application of a hydrodynamic MIKE 11 model for the Euphrates River in Iraq. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2, 1–7.
- Lesmana, D., Fauzi, M., & Sujatmoko, B. (2021). Analisis Kemiringan Lereng Daerah Aliran Sungai Kampar Dengan Titik Keluaran Waduk Plta Koto Panjang. *Jom FTEKNIK*, 8(2), 1–7.
- Loucks, DP, Stedinger, JR, Douglas, AH, 1981, Water Resources System Planning and Analysis, Prentice Hall, Inc., Engelwood Cliffs, New Jersey
- Luknanto, 2003, Model Matematika, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Mauliana, Y., Cambodia, M., & Novilyansa, E. (2022). Studi Kelayakan Teknis Pembangunan Jaringan Perpipaan Sumber Air Mencar Jaya Di Kabupaten Oku Timur. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 7(1), 24–32. <https://doi.org/10.24967/teksis.v7i1.1592>
- Metcalf & Eddy. 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition, McGraw-Hill, New York

- Muchtar, A., & Abdullah, N. (2007). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Debit Sungai Mamasa. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat*, 2(1), 174–187.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. dan Williams, J.R. (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical and Documentation, Version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory-Agricultural Research Service 808 East Blackland Road-Temple, Texas 76502. Blackland Research Center-Texas Agricultural Experiment Station 720 East Blackland Road-Temple, Texas 76502
- Nggeta, A.A.J. 2017. Pemodelan Kualitas Air (BOD5 dan DO) Dengan Menggunakan Software Hec-Ras 4.1. Naskah Seminar Tugas Akhir, hal. 1- 16
- Peraturan Gubernur DIY Nomor 22 Tahun 2007 tentang Penetapan Kelas Air Sungai Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungann Hidup Nomor 1 Tahun 2010 tentang Pedoman Penerapan Daya Tampung Beban Pencemar pada Sumber Air. Kementrian Lingkungan Hidup: Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Putra, D. L. A., Suhartanto, E., & Chandrasasi, D. (2020). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Pertanian Menggunakan Metode Wetland Pada Saluran Drainase di SMPN 13 Kota Malang. *Jurnal Teknik Sipil*, IX(2), 207–218.
- Rahmi, R. (2022). Pemodelan Kualitas Air Sungai Berdasarkan Parameter DO dan BOD Menggunakan software QUAL2Kw (Studi Kasus : Sungai Winongo, Provinsi DIY). Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
- Rohman, F., & Laili, S. (2019). *chanos Forsskal) dengan Suspected Parasites di Desa Balongpanggang Abiotic Environmental Factors Study of Bandeng Fish (Chanos chanos Frosskal) with Suspected Parasites in Balongpanggang Village e – JBST Vol . 7 Edisi Khusus Maret 2019 Material dan Met. 4*, 46–52.
- Routh, H. (2015). Model Matematika. *Galang Tanjung*, 2504, 1–9.

- Sains dan Teknologi Lingkungan, J., & Ike, dan A. (2013). *Strategi Penurunan Pencemaran Limbah Domestik di Sungai Code DIY*. 5(1), 36–47.
- Sagala, R. U. (2019). Analisis Kualitas Air Sungai Gajah Wong Ditinjau Dari Konsentrasi Klorofil-A Dan Indeks Pencemaran. *Journal Of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Sampe, H. R., Juwana, I., & Marganingrum, D. (2018). Kajian Perhitungan Beban Pencemaran Sungai Cisangkuy di Cekung Bandung dari Sektor Pertanian. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(2), 165–175. <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i2.2395>
- SNI 03-6989 23-2005 tentang Cara uji suhu dengan termometer.
- SNI 6989.72:2009 tentang Cara uji Kebutuhan BOD
- SNI 06-6989.14-2004 tentang Cara uji Oksigen Terlarut
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Sumantri, A., Reza Cordova, M., Kesehatan Lingkungan, J., Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, F., Islam Syarif Hidayatullah, U., Ilmu Teknologi Kelautan, D., & Perikanan dan Ilmu Kelautan, F. (2011). *Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil Terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat* (Vol. 2, Nomor 1).
- Syafi'I M dan Ali Masduqi. 2011. *Aplikasi Model Simulasi Komputer QUAL2Kw Pada Studi Pemodelan Kualitas Air Kali Surabaya*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- USACE, 2006, HEC-RAS River Analysis System, Hydarulic Reference Manual, Davis C.A. Washington.
- Wagini, R., Karyono, & Budi, A. S. (2002). Pengolahan Limbah Cair Industri Susu (Liquid Waste Management in Milk Factory). In *Jurnal Manusia dan Lingkungan* (Vol. 9, Issue 1, pp. 23–31).

LAMPIRAN A PERATURAN PEMERINTAH

Lampiran 1 Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

LAMPIRAN VI
PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 22 TAHUN 2021
TENTANG
PENYELENGGARAAN PERLINDUNGAN DAN
PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

BAKU MUTU AIR NASIONAL

I. BAKU MUTU AIR SUNGAI DAN SEJENISNYA

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl ⁻)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Fluorida (F ⁻)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	

Lampiran 2 Klasifikasi Mutu Air

PRESIDEN
REPUBLIK INDONESIA

- 7 -

Keterangan:

Kelas satu merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas dua merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas tiga merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas empat merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Lampiran 3 Peraturan Gubernur DIY Nomor 22 Tahun 2007

Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 22 Tahun 2007

Bab IV Tentang Penetapan Kelas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa

Yogyakarta

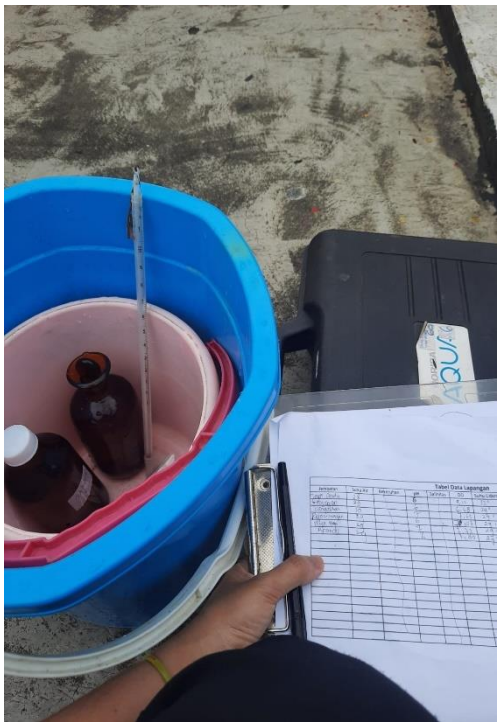
Bagian Kelima
Sungai Gajah Wong

Pasal 8

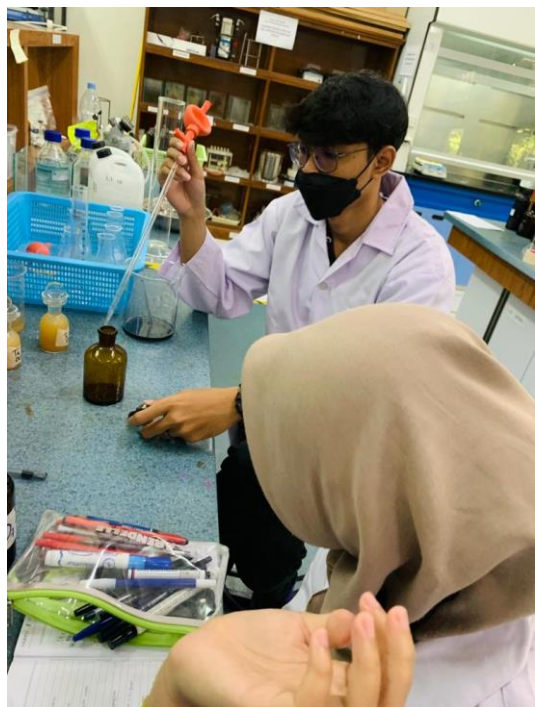
- (1) Sungai Gajah Wong mulai dari bagian hulu kearah hilir sampai Dusun Ngebelgedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman menurut peruntukannya sebagai sungai kelas satu.
- (2) Sungai Gajah Wong mulai Dusun Ngebelgedhe, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman kearah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Karet, Wonokromo, Pleret, Bantul menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua.

LAMPIRAN B DOKUMENTASI KEGIATAN

Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan Sampling



Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan Laboratorium



LAMPIRAN C DATA SUMBER PENCEMAR

Lampiran 6 Data Kualitas Sumber Pencemar Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

Sumber Pencemar	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Sumber Data		
			Peneliti	Tahun	Judul
Limbah domestik	1,4 – 4,7	5,5	(Sumantri dkk., 2011)	2011	Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil Terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya dan Terhadap Kesehatan Masyarakat
			(Astuti et al., n.d.)	2022	Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Fitoremediasi
Pertanian	4,8 – 7,9	8,67	(Hidayah dkk., 2020)	2020	Kinerja dan Karakteristik Konsumsi Energi, Air dan Nutrisi pada Sawi Pagoda (<i>Brassica narinosa</i>) Menggunakan Sistem Fertigasi Deep Flow Technique (DFT)
			(Andika et al., n.d.)	2020	Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan

Sumber Pencemar	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Sumber Data		
			Peneliti	Tahun	Judul
Perikanan	9,5	0,99 - 3	(Afriansyah dkk, 2016)	2016	Keragaan Nitrogen dan T-Phosfat Pada Pemanfaatan Limbah Budidaya Ikan Lele (<i>Clarias gariepinus</i>) Oleh Ikan Peres (<i>Osteochilus kappeni</i>) Dengan Sistem Resirkulasi
			(Nasihin, 2016)	2016	Pengamatan Baku Mutu Perairan Kalimati Pamarayan Untuk Kegiatan Perikanan

Lampiran 7 Perhitungan Debit Non-Point Source

Nama	Segmen	Sumber	Keterangan	Q Diffuse Source (m ³ /detik)
NPS 1	Segmen 2	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Serayu Opak Progo	Limbah Domestik	0,133
NPS 2	Segmen 2		Pertanian	0,0006
NPS 3	Segmen 3		Pertanian	0,00008
NPS 4	Segmen 5		Pertanian	0,00105
NPS 5	Segmen 6		Perikanan	0,0615
NPS 6	Segmen 6		Pertanian	0,00023
NPS 7	Segmen 6		Limbah Domestik	0,12

Perhitungan Debit *Diffuse Source* :

(SEGMENT 2)

NPS 1 : Limbah Domestik

$$Q = (\text{Jumlah penduduk (catchment area)} \times \text{Kebutuhan Air Bersih} \times 80\%) / 86.400$$

$$= (160 \text{ orang} \times 120 \text{ Liter/hari} \times 60\%) / 86.400$$

$$= 0,133 \text{ m}^3/\text{detik}$$

NPS 2 : Pertanian Basah

$$Q = \text{Luas Lahan} \times \text{Kebutuhan Air Irigasi}$$

$$= 0,82 \text{ ha} \times 0,74 \text{ L/detik/ha}$$

$$= 0,6 \text{ Liter/detik}$$

$$= 0,0006 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit keluar untuk saluran irigasi pertanian basah di Jl. Timoho

$$Q = \text{Lebar Saluran} \times \text{Kecepatan Aliran} \times \text{Kedalaman}$$

$$= 1 \text{ m} \times 0,29 \text{ m/s} \times 0,45 \text{ m}$$

$$= 0,129 \text{ m}^3/\text{s}$$

(SEGMENT 3)

NPS 3 : Pertanian Basah

$$Q = \text{Luas Lahan} \times \text{Kebutuhan Air Irigasi}$$

$$= 0,12 \text{ ha} \times 0,74 \text{ L/detik/ha}$$

$$= 0,08 \text{ Liter/detik}$$

$$= 0,00008 \text{ m}^3/\text{detik}$$

(SEGMENT 5)

NPS 4 : Pertanian Basah

$$Q = \text{Luas Lahan} \times \text{Kebutuhan Air Irigasi}$$

$$= 1,43 \text{ ha} \times 0,74 \text{ L/detik/ha}$$

$$= 1,05 \text{ Liter/detik}$$

$$= 0,00105 \text{ m}^3/\text{detik}$$

(SEGMENT 6)

NPS 5 : Perikanan

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \text{Luas Kolam} \\ &= 586 \text{ m}^2 \\ &= 123 \text{ L/detik} \\ &= 0,123 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{out} &= 50\% \times Q_{in} \\ &= 50\% \times 0,123 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,0615 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

NPS 6 : Pertanian Basah

$$\begin{aligned} Q &= \text{Luas Lahan} \times \text{Kebutuhan Air Irigasi} \\ &= 0,32 \text{ ha} \times 0,7 \text{ L/detik/ha} \\ &= 0,23 \text{ Liter/detik} \\ &= 0,00023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

NPS 7 : Limbah Domestik

$$\begin{aligned} Q &= (\text{Jumlah penduduk (catchment area)} \times \text{Kebutuhan Air Bersih} \times 60\%) / 86.400 \\ &= (144 \text{ orang} \times 120 \text{ Liter/hari} \times 60\%) / 86.400 \\ &= 0,12 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Lampiran 8 Perhitungan Beban Pencemar NPS BOD

a. Perhitungan Beban Pencemar Limbah Domestik

- Perhitungan PBP (Potensi beban pencemar) BOD pada segmen 2

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{faktor effluent} \times \text{rek} \times \alpha$$

Diketahui :

Jumlah penduduk = 160 orang

Faktor effluent = 0,04 kg/hari

rek = 1

$\alpha = 0,85$

Perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{faktor effluent} \times \text{rek} \times \alpha$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 160 \times 0.04 \times 1 \times 0.85$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 5.44 \text{ kg/hari}$$

$$Q = 0.133 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{BP}{Q}$$

$$C = \frac{5.44 \text{ kg/hari}}{0.133 \text{ m}^3}$$

$$C = 41 \text{ mg/l}$$

b. Perhitungan Beban Pencemaran Limbah Pertanian

- Perhitungan PBP BOD Pada segmen 2

Limbah Pertanian	Faktor Effluent (kg/hari/musim)
BOD	225
N	20
P	10
TSS	0.04
Peptisida	0.08

Sampe, 2018

Diketahui :

Luas Lahan = 0,82 ha

Faktor Effluent = 225 kg/ha/musim tanam

Koefisien 10 %

perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Luas lahan (ha)} \times \text{faktor effluent} \left(\frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \right) \times 10\%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 0,82 \text{ ha} \times 225 \frac{kg}{ha} \times 10 \%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 18,45 \frac{kg}{hari}$$

$$Q = 0.00061 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{BP}{Q}$$

$$C = \frac{18,45 \text{ g/hari}}{0.00061 \text{ m}^3}$$

$$C = 30,41 \text{ mg/l}$$

c. Perhitungan Beban Pencemaran Limbah Pertanian

- Perhitungan PBP BOD pada segmen 3

Limbah Pertanian	Faktor Effluent (kg/hari/musim)
BOD	225
N	20
P	10
TSS	0.04
Peptisida	0.08

Sampe, 2018

Diketahui :

Luas Lahan = 0,12

Faktor Effluent = 225 kg/ha/musim tanam

Koefisien 10 %

perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Luas lahan (ha)} \times \text{faktor effluent} \left(\frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \right) \times 10\%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 0,12 \text{ ha} \times 225 \frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \times 10 \%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 2,7 \frac{kg}{hari}$$

$$Q = 0.00009 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{BP}{Q}$$

$$C = \frac{2,7 \text{ kg/hari}}{0,00009 \text{ m}^3/\text{detik}}$$

$$C = 30,41 \text{ mg/l}$$

d. Perhitungan Beban Pencemaran Limbah Pertanian

- Perhitungan PBP BOD pada segmen 5

Limbah Pertanian	Faktor Effluent (kg/hari/musim)
BOD	225
N	20
P	10
TSS	0.04
Peptisida	0.08

Sampe, 2018

Diketahui :

Luas Lahan = 1,43

Faktor Effluent = 225 kg/ha/musim tanam

Koefisien 10 %

perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Luas lahan (ha)} \times \text{faktor effluent} \left(\frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \right) \times 10\%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 1,43 \text{ ha} \times 225 \frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \times 10 \%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 32,17 \frac{kg}{hari}$$

$$Q = 0.00106 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{BP}{Q}$$

$$C = \frac{14.625 \text{ kg/hari}}{0.00106 \text{ m}^3/\text{detik}}$$

$$C = 30,41 \text{ mg/l}$$

e. Perhitungan Beban Pencemaran Perikanan

- Perhitungan PBP BOD pada segmen 6

diketahui :

$$P : 50$$

$$L : 27$$

$$T : 2$$

$$\text{Luas lahan} : 2700 \text{ m}$$

$$Q = 21 \text{ lt/detik} \times 2700 \text{ m}$$

(21 lt/detik untuk 100 m² luasan kolam biasa)

$$Q = 56700 \text{ L/detik}$$

$$Q = 56.7 \text{ m}^3/\text{detik}$$

f. Perhitungan Beban Pencemaran Limbah Pertanian

- Perhitungan PBP BOD pada segmen 6

Limbah Pertanian	Faktor Effluent (kg/hari/musim)
BOD	225
N	20
P	10
TSS	0.04
Peptisida	0.08

Sampe, 2018

Diketahui :

Luas Lahan = 0,32

Faktor Effluent = 225 kg/ha/musim tanam

Koefisien 10 %

perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Luas lahan (ha)} \times \text{faktor effluent} \left(\frac{\frac{kg}{ha}}{\text{musim tanam}} \right) \times 10\%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 0,32 \text{ ha} \times 225 \frac{kg}{ha} \times 10 \%$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 7,2 \frac{kg}{hari}$$

$$Q = 0.00024 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{BP}{Q}$$

$$C = \frac{7,2 \text{ kg/hari}}{0.00024 \text{ m}^3/\text{detik}}$$

$$C = 30,41 \text{ mg/l}$$

g. Perhitungan Beban Pencemaran Limbah Domestik

- Perhitungan PBP BOD pada segmen 6

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{faktor effluent} \times r_{ek} \times a$$

Diketahui :

Jumlah penduduk = 140 orang

Faktor effluent = 0,04 kg/hari

$r_{ek} = 1$

$a = 0.85$

perhitungan :

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{faktor effluent} \times r_{ek} \times a$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 140 \times 0.04 \times 1 \times 0.85$$

$$PBP \left(\frac{kg}{hari} \right) = 4.76 \text{ kg/hari}$$

$Q = 0.12 \text{ m}^3/\text{detik}$

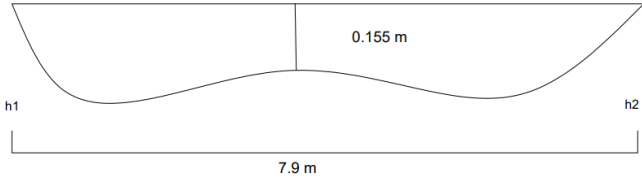
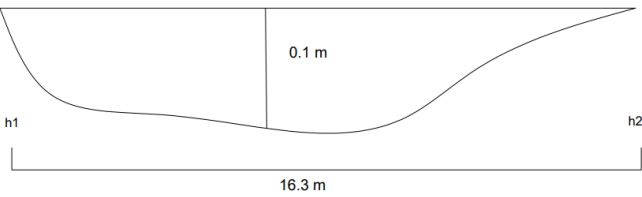
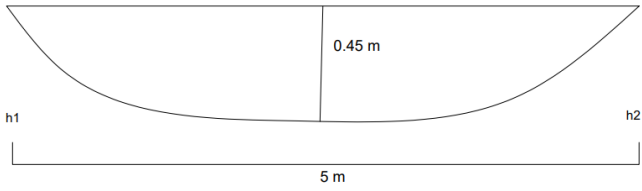
$$C = \frac{BP}{Q}$$

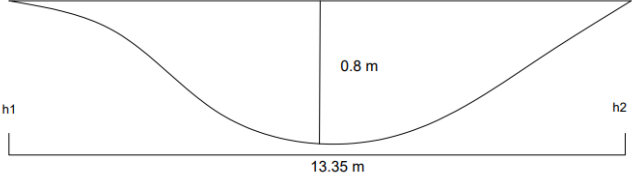
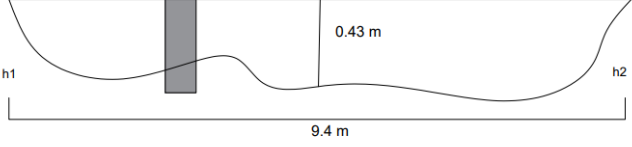
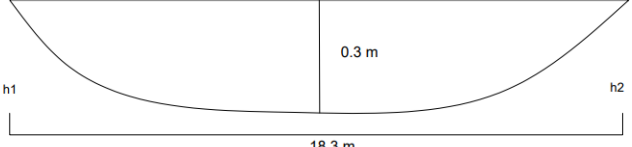
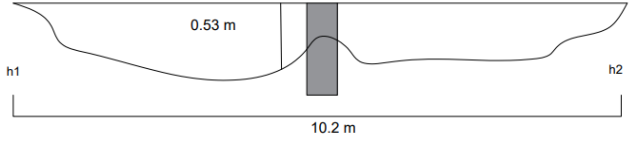
$$C = \frac{4.76 \text{ kg/hari}}{0.12 \text{ m}^3}$$

$C = 39,67 \text{ mg/l}$

LAMPIRAN D KONDISI PENAMPANG SUNGAI GAJAHWONG

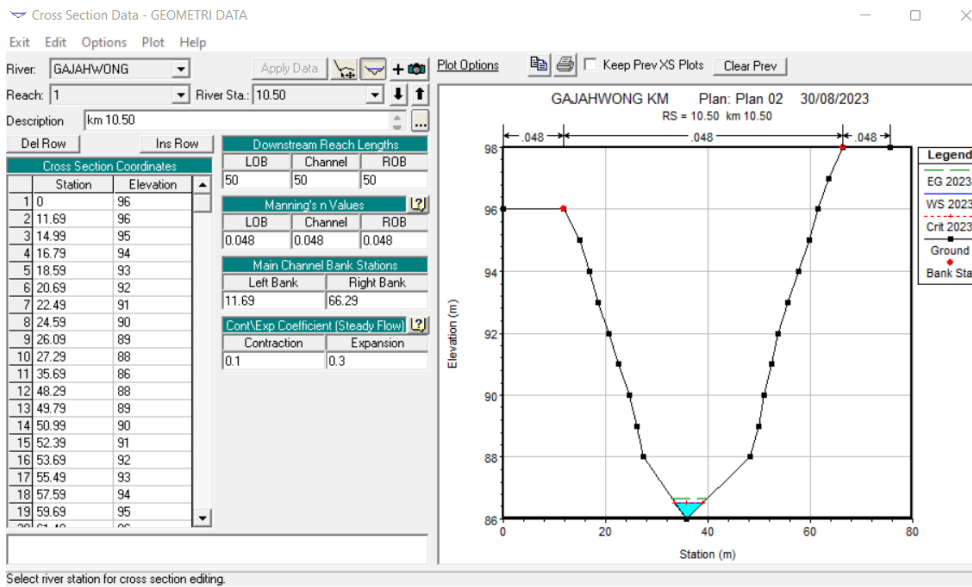
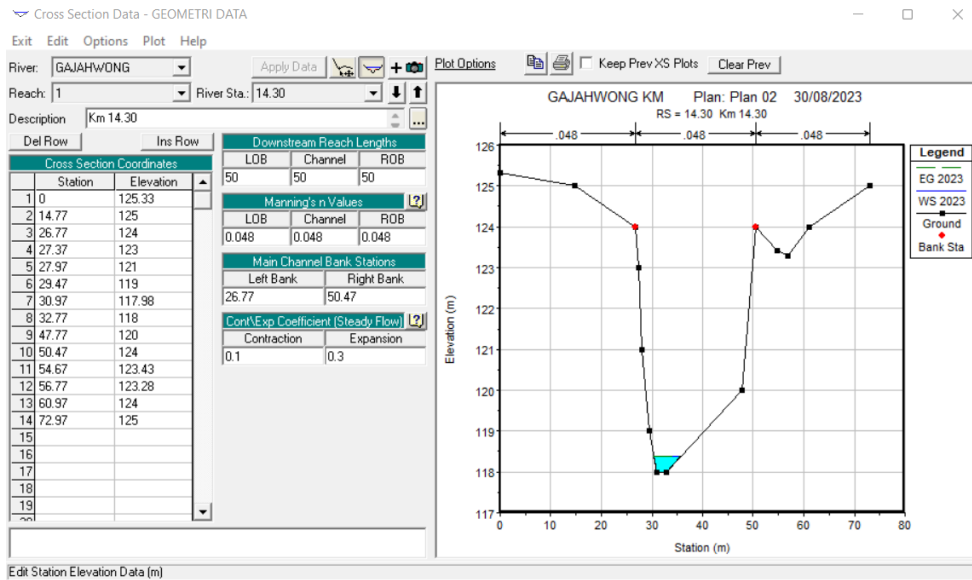
Lampiran 9 Penampang Basah Sungai Gajahwong

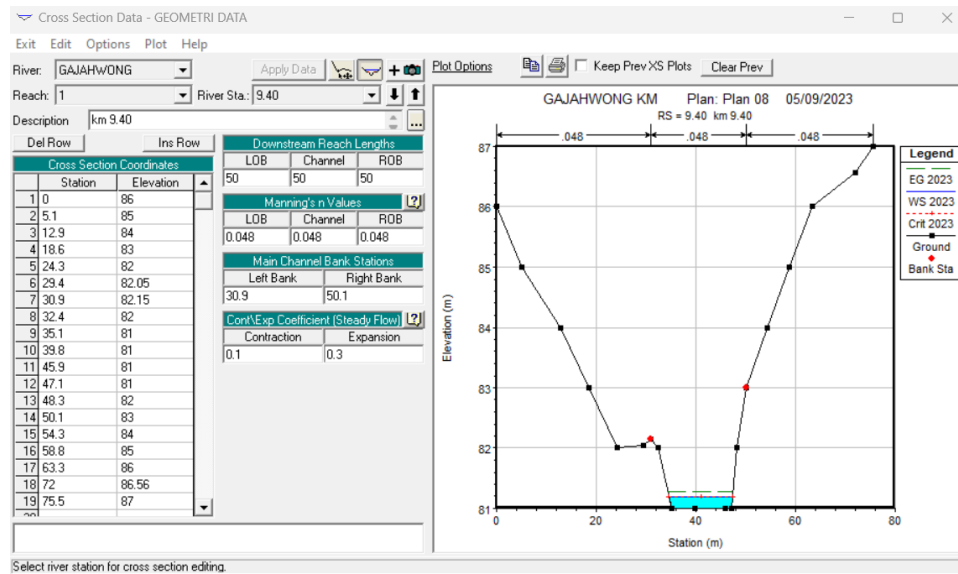
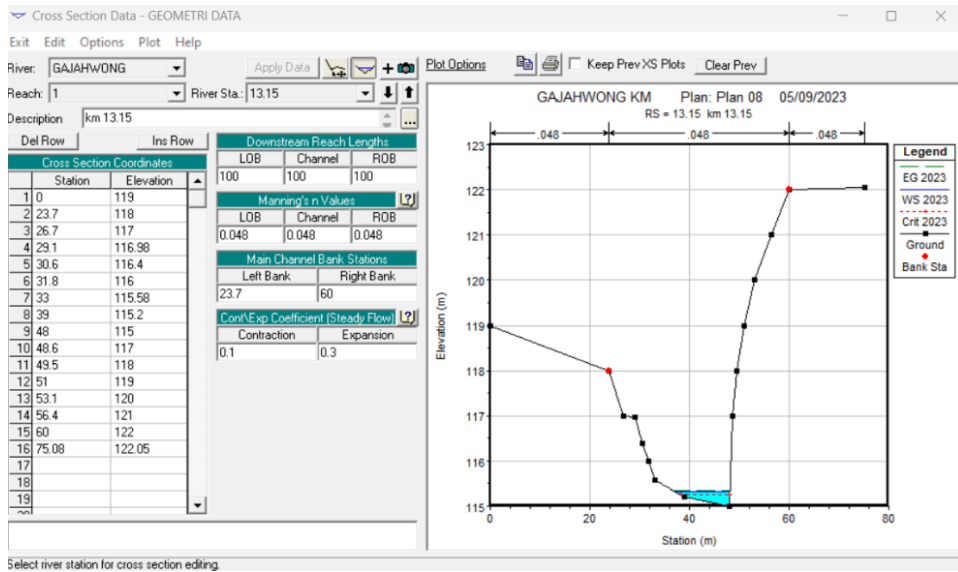
Titik <i>Sampling</i>	Lokasi <i>Sampling</i>	Penampang Basah
1	Jembatan Pelang	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
2	Jembatan Affandi	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
3	Jembatan Muja-muju	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>

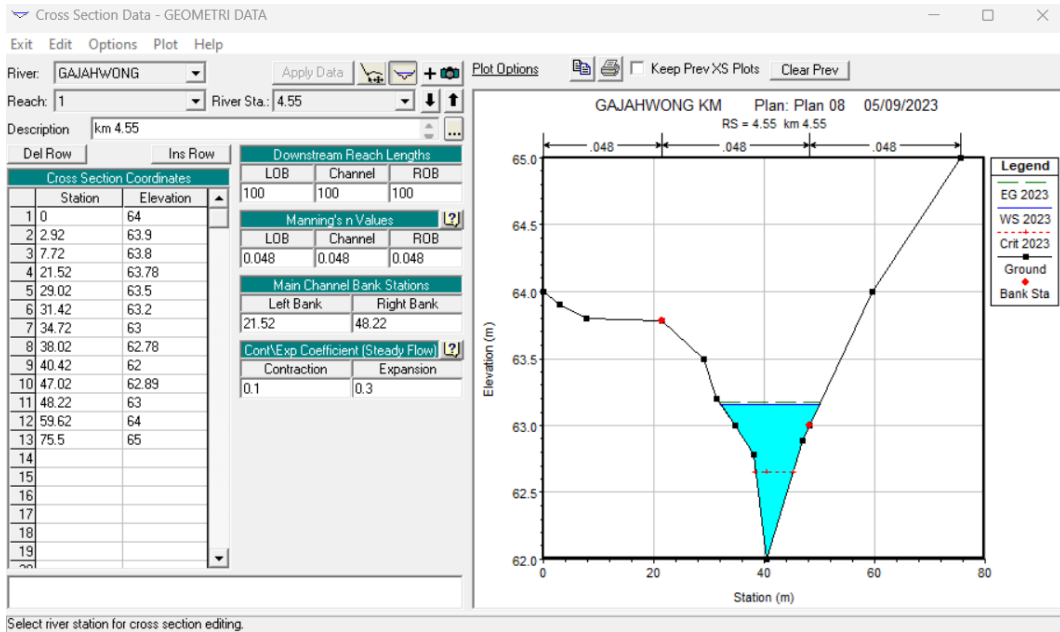
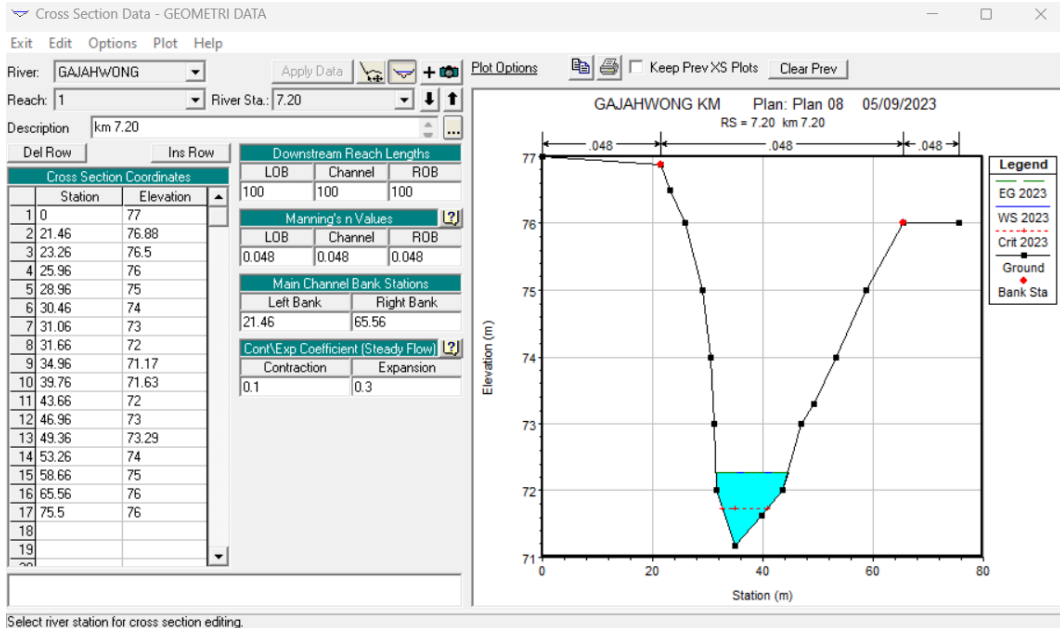
Titik Sampling	Lokasi Sampling	Penampang Basah
4	Jembatan Paleman	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
5	Jembatan Tegal Gandu	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
6	Jembatan Grojogan	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
7	Jembatan Ketonggo	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>

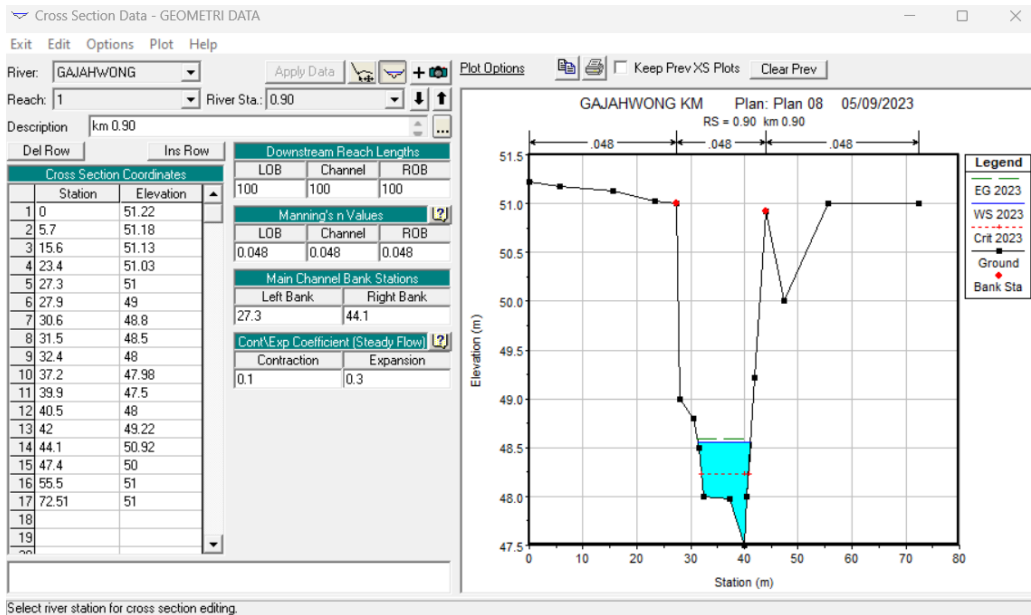
LAMPIRAN E DATA HEC-RAS

Lampiran 10 Cross section

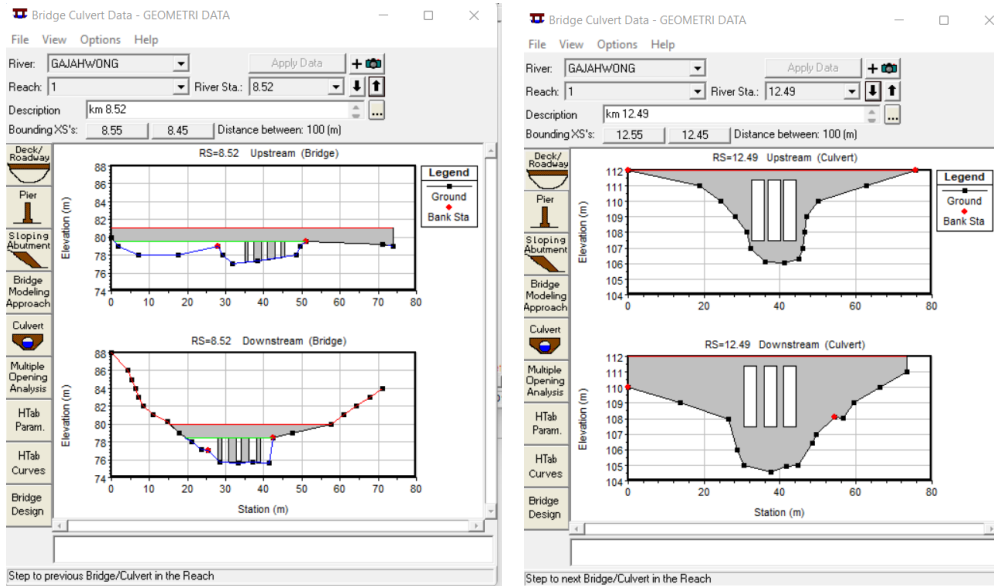


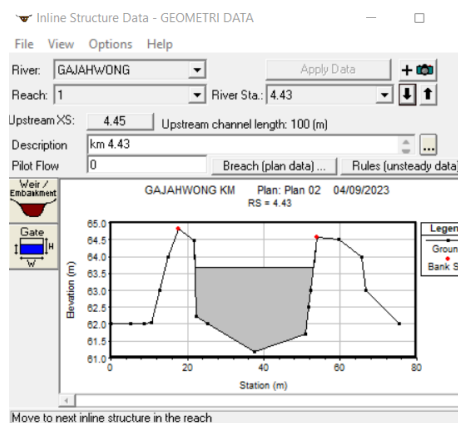
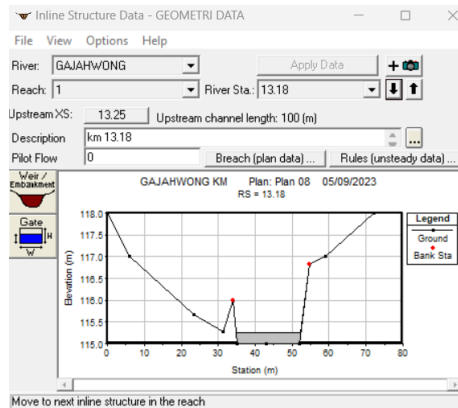
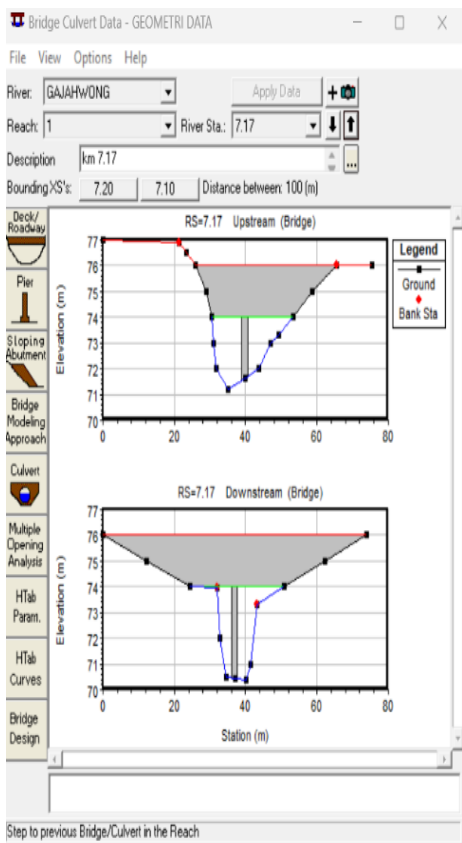
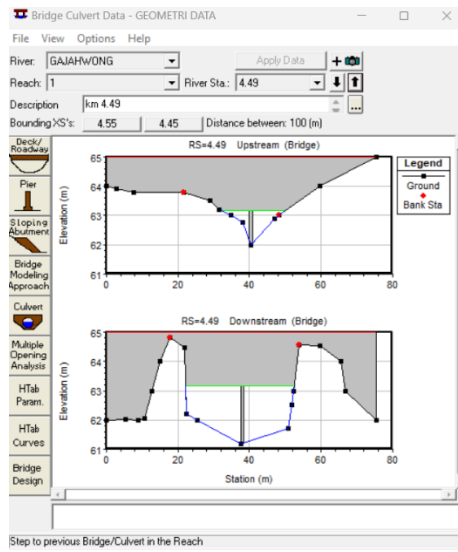
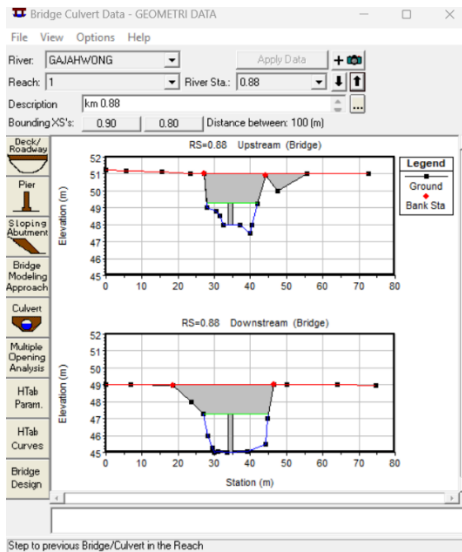




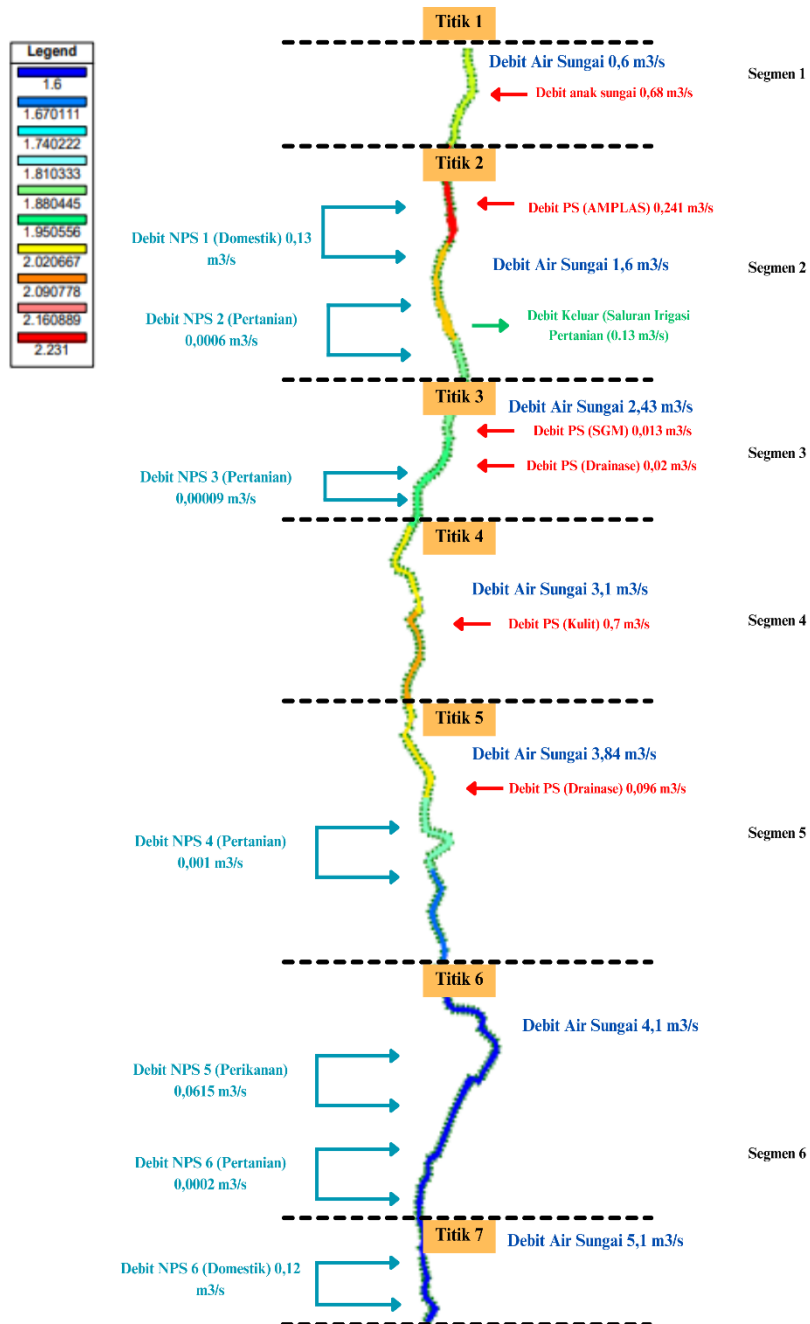


Lampiran 11 Jembatan dan Bendung





Lampiran 12 Schematic Plot



LAMPIRAN F MANUAL HEC-RAS 4.10

Lampiran 13 Manual HEC-RAS



**US Army Corps
of Engineers®**

Hydrologic Engineering Center

River Analysis System HEC-RAS

Release Notes

Version 4.0.0 Beta

November 2006

Approved for Public Release – Distribution Unlimited

RIWAYAT HIDUP

Saya Intan Purnama Dewi yang memiliki nama panggilan Intan. Saya lahir di Denpasar, 7 Mei 2001. Saya merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Kedua orang tua saya bernama Wahyu Sujatmoko dan Ni Putu Suwandewi Natalia. Saya menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 02 Cakranegara, Kota Mataram, NTB (2008 – 2013), dilanjutkan SMPN 15 Mataram (2013 – 2016) serta SMAN 1 Karangmojo, Gunungkidul, DIY (2016 – 2019). Saat ini saya merupakan mahasiswa semester akhir yang mengambil jurusan S1 Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia (UII). Berbagai kegiatan akademik telah saya lakukan disini. Selain menjadi mahasiswa aktif saya mendapatkan banyak pengalaman. Saya pernah mengikuti perlombaan paper Malachite 2.0 dengan tema “*Green Energy for Indonesia*” yang diselenggarakan oleh Universitas Pertamina pada tahun 2021 dan menjadi finalis mewakili Universitas Islam Indonesia dengan judul “Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Tiu Saong Desa Benteke”. Selain itu, saya pernah menjalani perkuliahan selama 1 semester di Universitas Gajah Mada dalam program “*Future Skill Fisipol*” dengan mata kuliah “*Green Planet and Future Living*” Danone Indonesia. Saya juga melaksanakan kerja praktik pada Proyek Internasional yaitu di pembangunan “Proyek Sirkuit Mandalika II, Lombok Tengah, NTB” dalam divisi pemantauan saluran U-Ditch dan K3. Saya pernah bergabung di StartUp AiKite bagian *Marketing, Communication, Public Relation and Documentation* pada tahun 2022. Saya berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai departemen keilmuan dan menjadi mentor di bidang riset dan teknologi. Selain itu saya juga menjadi bagian dari kegiatan EPIC sebagai humas pada tahun 2021.