

TA/TL/2023/1656

TUGAS AKHIR
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI CODE
UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGGUNAKAN HECRAS 4.1.0

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



ALINA ISHMA SYAHIDAH

19513179

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023

TUGAS AKHIR
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI CODE
UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGGUNAKAN HECRAS 4.1.0

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



ALINA ISHMA SYAHIDAH
19513179

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Tanggal : 12-10-2023



Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng)., Ph.D.
Tanggal : 13/10/2023

**HALAMAN PENGESAHAN
STUDI PEMODELAN KUALITAS AIR SUNGAI CODE
UNTUK PARAMETER BOD DAN DO
MENGUNAKAN HECRAS 4.1.0**

Telah diterima dan disahkan oleh tim penguji

Hari: Kamis

Tanggal: 12 Oktober 2023

Disusun oleh :

Alina Ishma Syahidah

19513179

Tim Penguji :

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

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

Dr. Eng. Awaluddin Nurmivanto, 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* computer 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, 16 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Alina Ishma Syahidah

NIM : 19513179

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 “Studi Pemodelan Kualitas Air Sungai Code Menggunakan Parameter BOD dan DO Menggunakan Hecras 4.1.0”.

Penyusunan Laporan 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 laporan ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik S1 Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan 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 Ali Imdad dan Ibu Salami yang selalu memberikan dukungan, kepercayaan dan memanjatkan doa-doa terbaik serta kasih sayang kepada penulis. Kemudian, Kakak-kakak penulis Mas Gani, Mas Khabib, Mas Sonny, Mba Zulfi, Mbak Fenny, dan Mbak Prita, Serta keponakan-keponakan tercinta. Terimakasih atas *supportnya*.
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 . 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 Fadillah, S.T.P., M. Eng, Mr. Hanief Ally, Mba Hana, Mas Albertus, dan Mas Elang. Terimakasih telah meluangkan waktu dan membagikan ilmu tentang *software* HEC-RAS.
7. Teruntuk teman seperjuangan Intan Purnama Dewi, terimakasih banyak telah menemani dan kebersamai dalam suka dan duka selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman “Bimbingan TA Pak Adam” Intan, Dany, Ratih, Cholil, Hanif, Sabiq, Ferdit dan Bagas yang memberikan banyak bantuan dan berproses bersama.
9. Sahabat penulis Elvira, Karin, Muthia, Mita, Dara yang selalu membantu dan menemani dalam proses belajar dari awal semester hingga selesai.
10. Sahabat penulis Hamim, Dhea, Jodi, mbak nanat dan teman badminton yang lain yang selalu *support* penulis, dan semua pihak lainnya.

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. Diharapkan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 21 September 2023

Alina Ishma Syahidah

NIM : 19513179

ABSTRAK

ALINA ISHMA SYAHIDAH Studi Pemodelan Kualitas Air Sungai Code Menggunakan Parameter BOD dan DO Menggunakan Hecras 4.1.0. Dibimbing oleh ADAM RUS NUGROHO, S.T., M.T.Ph.D.

Sungai Code memiliki panjang 42 km dan memiliki peran penting dalam ekosistem serta pasokan air. Pada penelitian ini menggunakan panjang sungai 32,01 km dengan memfokuskan pada pemodelan kualitas air Sungai Code dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami distribusi kualitas air di Sungai Code dan mengetahui nilai daya tampungnya melalui pendekatan pemodelan, khususnya dalam hal parameter BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan DO (Dissolved Oxygen). Pemodelan dilakukan dengan mengintegrasikan data hidrologi, topografi, dan karakteristik kualitas air di delapan titik pengambilan sampel yang terbagi menjadi 7 segmen. Langkah-langkah analisis menggunakan teknik simulasi dengan dua skenario, kemudian kalibrasi dan memvalidasi model menggunakan koefisien manning dan *RMSPE*. Aplikasi HEC-RAS dapat memodelkan kualitas air sungai, dengan menggunakan data sekunder hidraulik (penampang sungai). Hasil kualitas air Sungai Code untuk parameter DO, dan BOD di tiap titik pemantauan menunjukkan DO berkisar antara 6,482 mg/L hingga 7.38 mg/L dan untuk BOD berkisar 3,036 mg/L hingga 5,487 mg/L. Nilai daya tampung beban pencemaran BOD yang melebihi (negatif) ada pada segmen 1 hingga 4 dengan nilai adalah -42,30 kg/hari, -74,94 kg/hari, -411,93 kg/hari, dan -336,31 kg/hari. Untuk daya tampung yang bernilai negatif dilakukan strategi penurunananya.

Kata kunci : Sungai Code, BOD, DO, HEC-RAS

ABSTRACT

ALINA ISHMA SYAHIDAH Code River Water Quality Modeling Study Using BOD and DO Parameters Using Hecras 4.1.0. Supervised by ADAM RUS NUGROHO, S.T., M.T.Ph.D.

The Code River is 42 km long and has an important role in the ecosystem and water supply. This study uses a river length of 32,01 km by focusing on modeling the water quality of the Code River using HEC-RAS software. The purpose of this study is to understand the distribution of water quality in the Code River and determine the value of its capacity through a modeling approach, especially in terms of BOD (Biochemical Oxygen Demand) and DO (Dissolved Oxygen) parameters. Modeling was conducted by integrating hydrological data, topography, and water quality characteristics at eight sampling points divided into 7 segments. The analysis steps use simulation techniques with two scenarios, then calibrate and validate the model using manning coefficient and RMSPE. The HEC-RAS application can model river water quality, using hydraulic secondary data (river cross section). The Code River water quality results for DO, and BOD parameters at each monitoring point showed DO ranging from 6.482 mg/L to 7.38 mg/L and for BOD ranging from 3.036 mg/L to 5.487 mg/L. The value of BOD pollution load capacity that exceeds (negative) is in segments 1 to 4 with values of -42.30 kg/day, -74.94 kg/day, -411.93 kg/day, and -336.31 kg/day. For the capacity that has a negative value, a reduction strategy is carried out.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Key words: Code River, BOD, DO, HEC-RAS

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	1
TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	i
PRAKATA	i
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I	ix
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	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sungai Code	5
2.2 Kualitas Air	6
2.3 Parameter Kualitas Air Sungai	7
2.3.1 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD).....	7
2.3.2 <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	8
2.4 Baku Mutu Kualitas Air Sungai	9
2.5 <i>Self-Purification</i>	10
2.6 Daya Tampung Beban Pencemar	11
2.6.1 Tahapan Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran.....	12

2.7 Model Kualitas Air.....	13
2.8 Model HEC-RAS.....	14
2.8.1 Persamaan Kontinuitas.....	17
2.8.2 Persamaan Momentum.....	18
2.8.3 Persamaan Energi.....	19
2.8.4 Koefisien Kekasaran Manning Dalam Hec-Ras	20
2.8.5 Koefisien Kontraksi Dan Ekspansi Dalam HEC-RAS.....	21
2.8.6 Keseimbangan Massa.....	21
2.8.7 Parameter Transpor Polutan	22
2.8.9 BOD	23
2.8.10 DO.....	24
2.9 Penelitian Terdahulu	25
BAB III.....	28
METODE PENELITIAN	28
3.1 Diagram Alir Penelitian	28
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	29
3.3 Penentuan Segmen Atau Ruas.....	30
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	32
3.4.1 Data Primer	32
3.4.2 Data Sekunder.....	33
3.5 Pemodelan Dengan Program HEC-RAS 4.1.....	33
3.5.1 Membuat Project Baru (<i>Starting A New Project</i>).....	33
3.5.2 Menginput Data Geometri (<i>Entering Geometric Data</i>).....	34
3.5.3 Melakukan Perhitungan Hidraulik	36
3.5.4 Peniruan Kualitas Air.....	38
3.5.5 Kalibrasi Dan Validasi Perubahan Kualitas Air	39
3.5.6 Teknik Simulasi Skenario	40

3.6 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar	41
BAB IV	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Kondisi Lokasi Titik Sampling	43
4.2.1 Debit Sungai Code	47
4.2 Kondisi Hidraulik Lokasi Titik Sampling	46
4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai	47
4.3.1 Temperatur Air	50
4.3.2 DO	52
4.3.2 BOD	53
4.4 Sumber Pencemar Sungai Code	55
4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Dengan HEC-RAS	57
4.5.1 Model Geometri Pada <i>Software</i> HEC-RAS	57
4.5.2 Penampang Melintang Dan Memanjang	59
4.5.3 Jembatan Dan Bendung	63
4.5.4 Peniruan Hidraulika	66
4.5.5 <i>Boundary Condition Water Quality</i>	67
4.5.6 Initial Condition	70
4.5.7 Koefisien Dispersi	72
4.5.8 Data Meteorologi	74
4.5.9 Data Observasi	74
4.5.10 Kalibrasi dan Validasi Model	75
4.5.11 Hasil Skenario Model	79
4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar	89
4.6.1 Beban Pencemar	89
4.6.2 Daya Tampung Beban Pencemar	90
4.6 Penurunan Daya Tampung Beban Pencemar	91

BAB V	94
KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	96
LAMPIRAN A PERATURAN BAKU MUTU KUALITAS AIR SUNGAI.....	99
LAMPIRAN B DOKUMENTASI KEGIATAN	102
LAMPIRAN C DATA SUMBER PENCEMAR.....	104
LAMPIRAN D KONDISI PENAMPANG SUNGAI CODE	107
LAMPIRAN E DATA HEC-RAS 4.10	109
LAMPIRAN F MANUAL HEC-RAS 4.10.....	115
RIWAYAT HIDUP	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Mutu Berdasarkan Kelas.....	10
Tabel 2.2 Nilai Koefisien Kekasaran Manning Pada HEC-RAS	21
Tabel 2.3 Koefisien BOD	23
Tabel 2. 4 Koefisien DO.....	24
Tabel 3.1 Ringkasan Penelitian	29
Tabel 3.2 Segmentasi Sungai Code	31
Tabel 4. 1 Kondisi Lokasi Titik Sampling	43
Tabel 4.2 Data Kondisi Hidraulik Sungai Code.....	46
Tabel 4. 3 Data Temperatur Air Sungai Code	50
Tabel 4.4 Data DO Sungai Code	52
Tabel 4.5 Data BOD Sungai Code	53
Tabel 4.6 Sumber Pencemar Sungai Code	55
Tabel 4. 7 Nilai Koefisien Manning Terpakai	60
Tabel 4. 8 Data Bendung Sungai Code	64
Tabel 4. 9 Data Jembatan Sungai Code.....	64
Tabel 4.10 Data Boundary Condition Water Quality	68
Tabel 4.11 Data Initial Condition	70
Tabel 4.12 Data Koefisien dispersi	72
Tabel 4.13 Data Meteorologi RS Km 32,01	74
Tabel 4. 14 Data Observer.....	75
Tabel 4. 15 Nilai Koefisien untuk Simulasi BOD dan DO	76
Tabel 4.16 Nilai RMSPE BOD	78
Tabel 4.17 Nilai RMSPE DO	79
Tabel 4. 18 Beban Pencemar BOD Skenario 1	89
Tabel 4. 19 Hasil Data Beban Pencemar BOD Skenario 2	89

Tabel 4. 20 Hasil Daya Tampung Beban Pencemar BOD.....	90
Tabel 4. 21 Hasil Daya Tampung BOD Menggunakan Qual2kw	91
Tabel 4. 22 Penurunan Daya Tampung Beban Pencemar Parameter BOD.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Adminitrasi Yogyakarta	6
Gambar 2.2 Ilustrasi Self-Purification	10
Gambar 2.3 Penerapan Daya Tampung Beban Pencemar dalam Perizinan Lingkungan yang Berkaitan dengan Pembuangan Air Limbah ke Sumber Air	13
Gambar 2.4 Ilustrasi Kontnuitas	18
Gambar 2.5 Ilustrasi Energi Grade Line	20
Gambar 3.1 Skema Kerangka Penelitian	28
Gambar 3.2 Titik Sampling Sungai Code	30
Gambar 3.3 Segmentasi Sungai Code.....	32
Gambar 3.4 Jendela Awal HEC-RAS.....	34
Gambar 3.5 Jendela Geometri Data	35
Gambar 3.6 Jendela Cross Section.....	35
Gambar 3.7 Ilustrasi Penampang Sungai Dalam HEC-RAS	36
Gambar 3.8 Jendela Steady Flow.....	37
Gambar 3.9 Jendela Boundary Steady Flow	37
Gambar 3.10 Jendela Water Quality	39
Gambar 4.1 Grafik Nilai Debit Sungai Code.....	47
Gambar 4.2 Mass Balance Sungai Code.....	48
Gambar 4. 3 Grafik Temperatur Air Sungai Code	51
Gambar 4.4 Nilai DO Sungai Code.....	52
Gambar 4. 6 River Reach Sungai Code	58
Gambar 4. 7 Pemasukan Penampang Melintang Sungai Code.....	61
Gambar 4. 8 Profil Memanjang Sungai Code	61
Gambar 4. 9 Profil X,Y,Z Sungai Code	62
Gambar 4. 10 Maukan Data Bendung Km 16,59.....	65
Gambar 4. 11 Masukan Data Jembatan Km 15,57.....	66
Gambar 4. 12 Pemasuakan Data Steady Flow	67

Gambar 4.13 Masukan Data Boundary Condition.....	69
Gambar 4.14 Masukan Data Initial Condition	71
Gambar 4. 15 Masukan Data Koefisien Dispers	73
Gambar 4. 18 Pemasukan Nutrien parameter	77
Gambar 4. 19 Grafik Hasil Mode BOD Skenario 1	81
Gambar 4. 20 Schematic plot BOD Sungai Code.....	82
Gambar 4. 21 Hasil Grafik DO Skenario 1	84
Gambar 4. 22 Schematic Plot DO Sungai Code	85
Gambar 4. 23 Model BOD Skenario 2.....	87
Gambar 4. 24 Model DO Skenario	88
Gambar 4. 25 Grafik Penurunan Daya Tampung.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Code merupakan sungai utama yang ada di Kota Yogyakarta. DAS Sungai Code mempunyai luas sekitar 4.006,25 Ha. Mencakup tiga wilayah kabupaten/kota, yaitu; Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Sungai ini mengalami pencemaran terparah jika dibandingkan dengan sungai winongo, dan sungai gajahwong, karena bagian tengah DAS Sungai Code melintasi permukiman padat penduduk. Sumber pencemar di sungai adalah pertanian, hotel, rumah sakit, bengkel, pabrik penyamakan kulit, dan limbah rumah tangga, yang secara kumulatif berdampak terhadap kualitas lingkungan. (Sriyono et al. 2017).

Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Nomor 20 Tahun 2008, Sungai Code tentang Penetapan Kelas Air Sungai, Sungai Code memiliki tiga kelas yaitu kelas satu, kelas dua dan kelas tiga dengan batas-batas yang sudah ditetapkan. Baku mutu sungai harus diperhatikan untuk mendukung pemanfaatannya. Dalam penelitian ini BOD dan DO menjadi topik pembahasan karena keduanya adalah Salah satu parameter peninjauan kualitas air.

Hasil penelitian kualitas air Sungai Code tahun 2022 oleh (Safar Hamidi, 2022) air Sungai Code melebihi baku mutu kelas II dan di beberapa titik tertentu melebihi baku mutu kelas III. Ini di atas ambang batas yang diizinkan dan menunjukkan bahwa ada sumber pencemaran dari tumpahan limbah rumah tangga, limbah industri, dan pupuk pertanian. Masuknya pencemar ke dalam badan air Sungai Code akan menimbulkan dampak yang merugikan bagi konsumen, air yang tercemar dapat menimbulkan berbagai penyakit pada manusia, merusak ekosistem dan mematikan kehidupan akuatik, serta mempengaruhi estetika lingkungan. Sedangkan hasil penelitian (Astari, 2016) dengan menggunakan metode QUAL2KW menyatakan bahwa beban pencemar di Sungai Code telah melebihi daya tampung. Penelitian tersebut belum adanya gambaran umum tentang

perubahan kualitas air seiring waktu dan ruang di Sungai Code agar mempermudah mengidentifikasi aktivitas atau sumber pencemaran tertentu yang perlu diatasi atau diubah untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan, kemudian melihat daya tampung sungai untuk melakukan proses pemurnian diri (self-purification). Diperlukan adanya pemodelan terbaru yang dapat menggambarkan kajian penyebaran polutan di Sungai Code. Program aplikasi *Hydraulic Engineering Center-River Analysis System* (HEC-RAS) berguna mengetahui perubahan kualitas air sungai seiring waktu dan ruang, terutama dalam konteks aliran dan distribusi polutan dalam sistem sungai.

HEC-RAS awalnya dikembangkan untuk pemodelan hidrolis aliran sungai, namun kemudian diperluas untuk memungkinkan pemodelan kualitas air dengan mengintegrasikan parameter kualitas air ke dalam simulasi hidrolis. Melalui penelitian ini, penulis berharap dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang kualitas air sungai dan kontribusi HEC-RAS dalam pemodelan kualitas air. Hasil penelitian ini bisa dijadikan landasan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan sungai dan perlindungan lingkungan air, serta mendukung upaya untuk mencapai kualitas air yang lebih baik untuk generasi mendatang di Sungai Code (USACE, 2006).

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 Code ?
2. Bagaimana menentukan daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Code menggunakan HEC-RAS?
3. Berapakah nilai daya tampung beban pencemar BOD di Sungai Code menggunakan HEC-RAS?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya :

1. Mengetahui pemodelan kaulitas air di Sungai Code menggunakan software HEC-RAS
2. Mengetahui cara penentuan beban pencemar di Sungai Code menggunakan software HEC-RAS.
3. Mengetahui nilai daya tampung beban pencemar di Sungai Code dengan software HEC-RAS.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain :

1. Lokasi penelitian dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Code yang melintasi Kota Yogyakarta dengan bagian hulu berada di Kecamatan Pakem dan hilirnya berada di Kecamatan Pleret sepanjang 32,01 km
2. Pengambilan sampel di mulai dari Jembatan Boyong, Ngentak, Kewek hingga Jembatan Sayidan Gondomanan, Keparakan, Tungkak, Abang ngoto, dan Wonokromo.
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*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Memberikan informasi penyebaran dan tingginya kadar BOD, DO, dan TSS

kepada pemerintah ataupun masyarakat untuk pengelolaan air sungai khususnya Sungai Code.

2. Sebagai bahan pembelajaran dalam melakukan pemodelan lingkungan menggunakan HEC- RAS
3. Manfaat bagi penelitian selanjutnya sebagai acuan pendugaan konsentrasi BOD dan DO di Sungai Code tanpa melakukan pengujian di laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Code

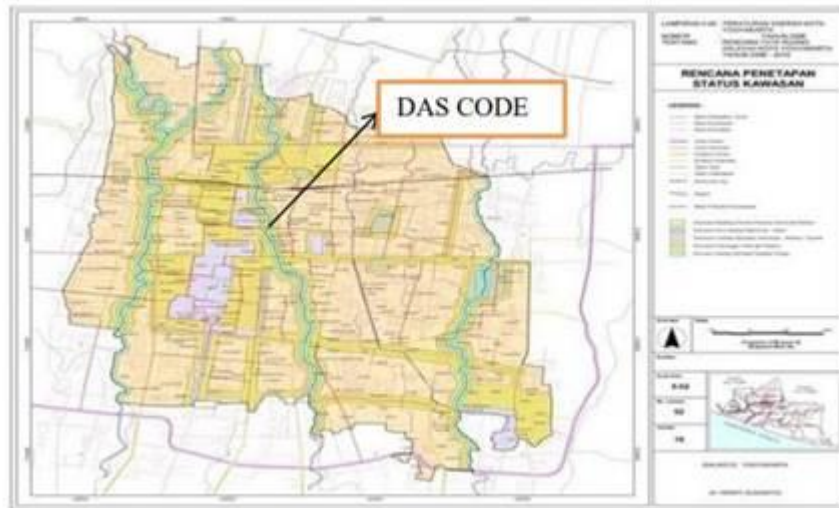
Berdasarkan sumber yang didapat dari Laporan BLH DIY Tahun 2015 Sungai Code terbagi menjadi 2 sungai, yaitu:

1. Sungai Boyong (sebelah hulu), panjang sungai 23 km dengan batas hilir di Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman.
2. Sungai Code (sebelah hilir), panjang sungai 18 km dengan batas hilir tepat di pertemuan dengan Sungai Opak di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul.

Menurut (Brontowiyono et al., 2010) kondisi air Sungai Code terus menurun. Perubahan fungsi sungai dan tata guna lahan di sepanjang DAS Code telah mengurangi daya dukung lingkungan. Saat musim kemarau, aliran di Sungai Code berkurang, yang mengakibatkan daya dukung sungai berkurang untuk memperbaiki kondisinya, berdampak pada bendung hulu dan hilir. Kemudian, selama musim hujan, banjir sering terjadi di sungai Code, yang mencemari lingkungan dan sumur warga. Sungai Code memainkan peran penting dalam pembangunan ekosistem di daerah yang terkait, terutama untuk mendukung kesehatan dan kehidupan masyarakat di DAS Code. Daerah-daerah di pinggiran kota (Sleman dan Bantul, misalnya) menunjukkan peningkatan, sedangkan pertumbuhan penduduk di bagian tengah, yang merupakan pusat Kota Yogyakarta, menunjukkan penurunan, atau pertumbuhan negatif. Hal ini menunjukkan perpindahan penduduk dari pusat kota ke pinggiran kota. Namun kepadatan penduduk di pusat kota masih relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kepadatan di pinggiran kota.

Beberapa permasalahan yang ada di Sungai Code membuatnya semakin rumit. Seperti mengalami penyempitan badan sungai, meningkatnya erosi dan sedimentasi, serta seringnya terjadi banjir merupakan dampak dari padatnya pemukiman penduduk di sekitar pinggiran Sungai. Kondisi kualitas yang terus

menurun dari tahun ke tahun akibat tingginya tekanan DAS terhadap lingkungan. (Brontowiyono et al., 2010)



Gambar 2. 1 Peta Adminitrasi Yogyakarta

Sumber : Administrasi Yogyakarta

2.2 Kualitas Air

Air adalah sumber daya penting bagi kehidupan di Bumi; perubahan pada sistem distribusi dan kualitas air memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Permintaan air yang terus meningkat karena pertumbuhan penduduk, ekonomi pembangunan dan penggunaan lahan. Namun perubahan iklim mengancam ketersediaannya di masa mendatang, sekitar 2,5% adalah air yang dapat dijangkau di bumi, dan sisanya disimpan sebagai gletser atau air tanah. Meskipun hidrologi siklus memastikan keseimbangan, polutan merupakan faktor dalam penurunan kualitas air di seluruh dunia.

Daerah Aliran Sungai atau DAS ialah wilayah yang dibatasi oleh topografi alami berupa punggung bukit atau pegunungan, dimana presipitasi yang jatuh di atasnya mengalir melalui titik keluar tertentu yang (Ramdan Hikmat, 2004). Badan air termasuk dalam DAS, Badan air mencakup sungai, danau, kanal, atau badan air permukaan lainnya yang menerima aliran air dari Daerah Aliran Sungai (DAS) dan mengarahkannya ke tujuan akhir, seperti laut atau lokasi lainnya. Dalam peran

utamanya, badan air berfungsi sebagai saluran utama yang membawa air dari sumbernya di DAS ke destinasi akhirnya. Selama air mengalir melalui badan air ini, berbagai proses fisik, kimia, dan biologi atau kontaminasi dapat terjadi, yang pada akhirnya memiliki dampak signifikan pada kualitas air di dalamnya. Kontaminasi terbagi menjadi dua yaitu : alami, dan buatan. Kontaminasi alami Terjadi ke lingkungan tidak intensif dibandingkan dengan tipe buatan manusia. Kegiatan yang disebabkan oleh manusia menyebabkan polusi air yang mengubah kualitas kimia, fisik, biologis dan radiologi air. Ada dua jenis: sumber polutan yang merupakan sumber *point source* dan *non point source* :

1. *Non point source* : pencemar non-point terjadi ketika pencemar mengumpul di sungai atau saluran air saat naik dari limbah pertanian, hujan asam dari pembakaran bahan bakar fosil, dan air yang terlalu banyak mengandung nutrien dari lahan pertanian atau kebun.
2. *Point source* : ini terjadi ketika pencemar masuk ke sungai atau saluran air melalui titik-titik tertentu, seperti pipa pembuangan pabrik atau instalasi pengolahan air limbah. Contoh pencemar titik sumber meliputi limbah industri seperti logam berat, bahan kimia berbahaya, atau limbah rumah tangga.

2.3 Parameter Kualitas Air Sungai

2.3.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran indikator parameter tentang jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan pencemar yang terdapat di dalam sungai. Adanya BOD mengindikasikan terjadi pencemaran pada sungai. Parameter BOD sering digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran suatu air limbah. Faktor yang berpengaruh terhadap tinggi atau rendahnya BOD yaitu suhu air dan pencemaran limbah. Begitu juga ketika tingkat pencemarannya rendah menyebabkan berkurangnya konsentrasi BOD pada sungai tersebut. Pada sungai yang memiliki konsentrasi BOD rendah karena berkurangnya masukan limbah, maka sungai

tersebut dapat melakukan pemurnian diri sendiri atau yang disebut dengan *self purification*. Ketika konsentrasi BOD tinggi pada suatu sungai, hal itu memperlihatkan bahwa sungai tersebut telah terjadi pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri, pertanian dan permukiman pada umumnya (Rahmawati, 2011).

BOD sebenarnya adalah jumlah dari CBOD dan NBOD di mana NBOD adalah kebutuhan oksigen nitrogen yang dikonsumsi selama oksidasi senyawa nitrogen (terutama NH_3) menjadi nitrat dengan nitrit menjadi zat antara yang tidak stabil (Yudianto & Yuebo, 2008). Menurut (Ajayi AA et al., 2016) perbedaan utama antara CBOD dan NBOD adalah bahwa dua kelas bakteri berbeda yang dapat menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan produk akhir teroksidasi lainnya.

2.3.2 Dissolved Oxygen (DO)

Parameter yang disebut sebagai oksigen terlarut, juga disebut DO, menunjukkan oksigen terlarut di dalam air yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk respirasi dan metabolisme. Oleh karena itu, oksigen terlarut sangat penting untuk kehidupan biota air. DO juga diperlukan oleh bakteri untuk menghancurkan beban masukan organik.

Salah satu faktor yang mempengaruhi konsentrasi DO adalah kedalaman sungai, pada kondisi sungai yang dangkal, jumlah oksigen yang tersedia cukup tinggi karena udara dapat dengan mudah masuk ke dalam air, sehingga konsentrasi DO meningkat. Pada kondisi sungai yang dalam, jumlah oksigen yang tersedia berkurang karena udara sulit masuk ke dalam air, sehingga konsentrasi DO menurun. Faktor kedua adalah suhu air, yang dapat menurun karena suhu air meningkat. Karena peningkatan metabolisme dan respirasi organisme air, konsumsi oksigen meningkat. konsentrasi DO meningkat karena kondisi sungai dengan suhu air rendah. Sebaliknya, kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air menurun, yang mengakibatkan peningkatan kadar oksigen. Faktor ketiga adalah vegetasi di sekitar sungai. Di lingkungan dengan banyak vegetasi, konsentrasi DO dapat turun karena hasil foto sintesis tumbuhan di sekitar sungai. Oleh karena itu,

DO dan BOD memiliki hubungan yang berkebalikan. Semakin tinggi BOD di dalam air, semakin rendah DO. Kurangnya DO menunjukkan penurunan kualitas air (Saily & Sjelly Haniza, 2020). Semua organisme membutuhkan oksigen terlarut untuk proses pernapasan dan metabolisme, serta untuk tumbuh dan berkembang biak. Kehidupan organisme dalam aliran air yang dapat bertahan hidup akan berkurang ketika kadar oksigen terlarut turun menjadi 4 mg/L atau kurang dalam aliran air yang sehat.

Salah satu cara untuk memahami permodelan oksigen terlarut adalah dengan memfokuskan pada dua proses utama yaitu : deoksigenasi (pengurangan oksigen oleh mikroorganisme selama proses biodegradasi) dan rearasi (masuknya kembali oksigen dari atmosfer ke dalam badan air sungai). Fokus pada dua proses utama permodelan oksigen terlarut adalah salah satu cara untuk memahaminya. Ini adalah deoksigenasi, yang terjadi ketika oksigen dibuang oleh mikroorganisme selama proses biodegradasi, dan rearasi, yang terjadi ketika oksigen kembali ke badan air sungai dari atmosfer (Nur, 2022).

2.4 Baku Mutu Kualitas Air Sungai

Dalam pengelolaan sumber air terdapat baku mutu yang digunakan yaitu Stream Standard Standar baku mutu yang telah ditetapkan sesuai dengan peruntukannya badan air berdasarkan PP No 22 Tahun 2021. Menurut PP No 22 Tahun 2021, konsentrasi atau zat, energi, komponen atau makhluk hidup memiliki batas keberadaannya disuatu badan air disebut baku mutu air. Kategori baku mutu air menjadi 4 kelas antara lain :

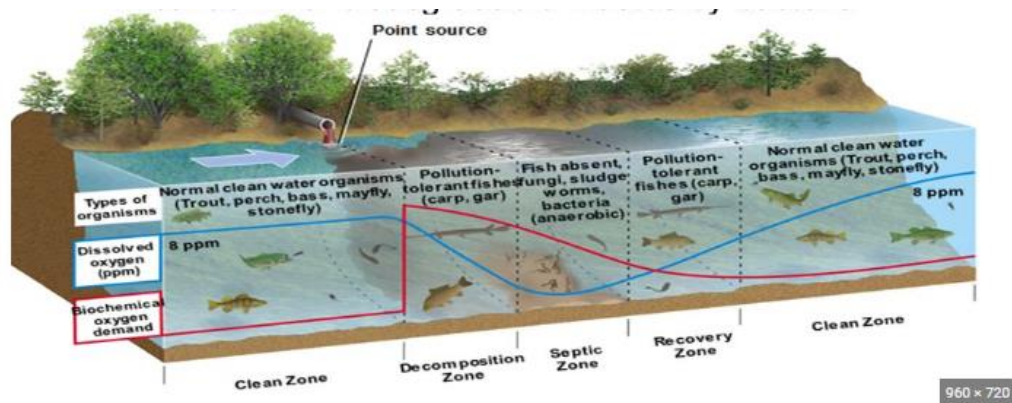
- a. Kelas I, digunakan untuk bahan baku air minum;
- b. Kelas II, digunakan untuk prasarana rekreasi air, pengairi perkebunan, perikanan dan peternakan;
- c. Kelas III, digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman;
- d. Kelas IV, digunakan untuk perkebunan dan peruntukan lainnya.

Tabel 2.1 Kriteria Mutu 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	Batas minimal

Sumber : PP No 12 Tahun 2021

2.5 Self-Purification



Gambar 2.2 Ilustrasi *Self-Purification*

Sumber : *Living In The Enviroment Book*

Self-Purification adalah cara pemurnian alami (*Self-Purification*) pada sungai. pada dasarnya sungai memiliki kemampuan mengatasi masalah pencemaran yang terjadi. Mekanisme yang disebut self purification itu, lahir bersamaan dan ada dalam diri alam dari waktu ke waktu. *Self-Purification* atau daya dukung alam hanya bisa muncul pada kondisi pencemaran tertentu. Pencemaran sudah melebihi ambang batas atau kapasitas daya dukung alam. Pengembangan pemurnian alami (*Self-Purification*) terdiri dari beberapa zona yaitu :

1. Zona air bersih, zona ini terdapat jauh di hulu sungai, jauh dari sumber pencemaran indikatornya adalah masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan air minum

2. Zona Dekomposisi, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemaran, limbah yang mengalir akan didekomposisi/dioksidasi proses pembongkaran bahan organik oleh bakteri dan mikroorganismenya. Indikator daerah ini kaya akan bakteri dan mikroorganismenya
3. Zona Biodegradasi, pada daerah ini terjadi penurunan oksigen terlarut Dissolved Oxygen. Sehingga nilai BOD di perairan sangat tinggi.
4. Zona pemulihan, pada zona ini kualitas air kembali bersih, nilai oksigen terlarut kembali normal.

Dengan menganalisis kapasitas pemurnian diri (*self-Purification*), dapat diketahui peningkatan kualitas air akibat pencemaran. Pemurnian diri adalah kemampuan untuk membersihkan air dari kontaminan di badan air melalui proses alami tanpa pengaruh aktivitas manusia (Hendrasarie et al., 2008).

Menurut (Arbie et al., 2015) mencatat bahwa kapasitas ini dapat terjadi pada kondisi dimana kontaminasi tidak melebihi ambang batas atau daya dukung alami. Mekanisme pembersihan secara alami terbatas pada parameter organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganismenya dalam kondisi aerobik. Oleh karena itu, parameter kualitas air *Dissolved Oxygen* (DO) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan faktor yang sangat penting yang menggambarkan kapasitas pemurnian diri.

2.6 Daya Tampung Beban Pencemar

Kemampuan suatu sumber air untuk menahan beban pencemaran yang masuk tanpa mencemari air tersebut dikenal sebagai daya tampung beban pencemaran (DTBP), juga dikenal sebagai daya tampung beban pencemaran harian (DTBP). Metode pengendalian pencemaran air DTBP menggunakan pendekatan pengendalian berbasis kualitas air. Metode ini bertujuan untuk mengendalikan zat pencemar yang masuk ke dalam sumber air dari berbagai sumber. Metode pengendalian ini memperhitungkan kondisi intrinsik sumber air dan standar kualitas air yang telah ditetapkan. Dalam *Clean Water Act* tahun 1972, DTBP menggunakan istilah *Total Maximum Daily Loads* (TMDLs), yang merujuk pada alokasi beban

pencemaran, yaitu jumlah maksimum beban pencemar yang diperbolehkan dibuang ke sumber air tanpa mencemari sumber air tersebut.

2.6.1 Tahapan Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomer 1 Tahun 2010 Penetapan Daya Tampung Beban Pencemar dipergunakan untuk :

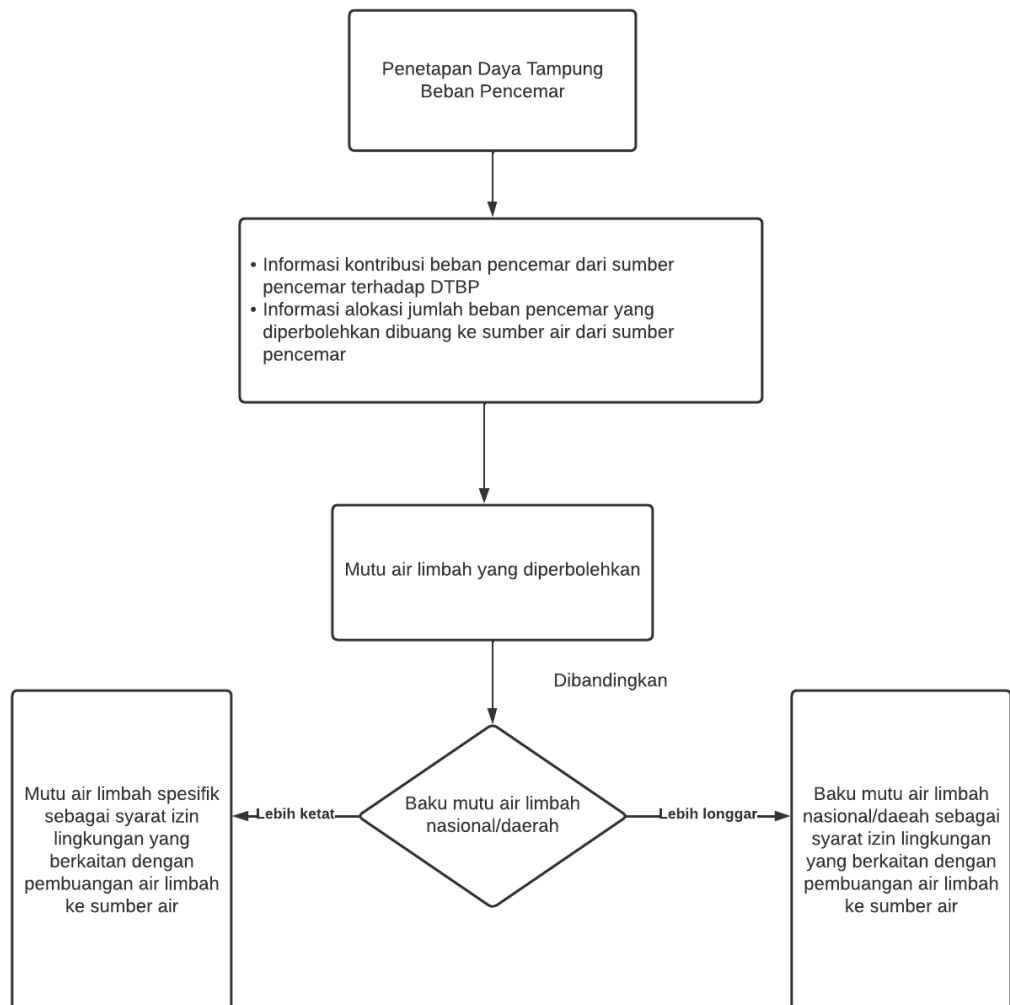
- a) Penetapan rencana tata ruang,
- b) Pemberian izin usaha dan/atau kegiatan yang lokasinya secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi kualitas sumber air,
- c) Pemberian izin lingkungan yang berkaitan dengan pembuangan air limbah ke sumber air,
- d) Penetapan mutu air sasaran serta kebijakan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

Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran ditetapkan oleh :

- Menteri lintas provinsi dan/atau lintas negara
- Gubernur lintas kabupaten/kota
- Bupati/Walikota di dalam kabupaten/kota

Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran harus memperhitungkan :

- a. Kondisi hidrologi dan morfologi sumber air
- b. Status mutu dan/atau status trofik sumber air
- c. Baku mutu air untuk sungai dan muara
- d. Baku mutu air serta kriteria status trofik untuk danau, situ, dan waduk
- e. Beban pencemaran pada masing-masing sumber pencemar air



Gambar 2.3 Penerapan Daya Tampung Beban Pencemar dalam Perizinan Lingkungan yang Berkaitan dengan Pembuangan Air Limbah ke Sumber Air

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

2.7 Model Kualitas Air

Model kualitas air dapat diterapkan pada berbagai jenis sistem air termasuk aliran, sungai, danau, waduk, muara, perairan pesisir, dan lautan. Model-model ini menggambarkan proses kualitas air utama dan biasanya membutuhkan input

hidrologi dan konstituen (aliran atau volume air dan beban polutan). Model-model ini mencakup istilah-istilah untuk transportasi dispersif dan/atau advectif yang bergantung pada karakteristik hidrologis dan hidrodinamis badan air, dan istilah-istilah untuk reaksi biologis, kimiawi, dan fisika di antara unsur-unsurnya. Transpor advectif mendominasi di sungai yang mengalir. Dispersi adalah fenomena transportasi yang dominan di muara yang dipengaruhi oleh pasang surut.

Menurut (Loucks & Van Beek, 2017) prediksi model dapat digunakan sebagai tambahan atau sebagai pengganti data pemantauan karena beberapa alasan :

1. Pemodelan dapat dilakukan dalam beberapa situasi di mana pemantauan tidak dapat dilakukan.
2. Sistem pemantauan dan pemodelan yang terintegrasi dapat memberikan informasi yang lebih baik daripada pemantauan atau pemodelan saja dengan total biaya yang sama. Misalnya, analisis regresi yang menghubungkan konsentrasi polutan dengan beberapa faktor yang lebih mudah diukur (misalnya, aliran sungai) dapat digunakan untuk memperluas data pemantauan untuk tujuan perencanaan awal. Model juga dapat digunakan untuk menentukan distribusi probabilitas awal penurunan kualitas yang dapat membantu mengarahkan upaya pemantauan dan mengurangi jumlah data pemantauan yang diperlukan untuk membuat keputusan pencatatan pada tingkat keandalan tertentu.
3. Pemodelan dapat digunakan untuk menilai (memprediksi) situasi kualitas air di masa depan yang dihasilkan dari berbagai strategi pengelolaan. Misalnya, menilai peningkatan kualitas air setelah pabrik pengolahan air limbah baru mulai beroperasi, atau efek peningkatan pertumbuhan industri dan pembuangan limbah.

2.8 Model HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center US Army menyediakan aplikasi gratis HEC-RAS. Aplikasi HEC-RAS berfokus pada analisis hidrolika pada sistem sungai atau sungai, berbeda dengan aplikasi HEC-HMS yang dikeluarkan, yang berfokus pada analisis hidrologi. Data hujan yang digunakan oleh input HEC-RAS dapat diperoleh

melalui aplikasi HEC-HMS, yang berfungsi sebagai analisis hidrologi. Program HECRAS juga digunakan untuk menghitung analisis hidrolika penampang saluran, yang memungkinkan untuk mengetahui elevasi HEC-RAS melakukan analisis aliran steady, unsteady, dan sedimentary. Aliran steady dapat digunakan untuk memodelkan aliran 1 dimensi sedangkan untuk unsteady digunakan untuk aliran 2 dimensi.

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi software di kembangkan hingga dapat memodelkan analisis temperatur dan penyebaran bahan polutan (Algae, Dissolved Oxygen, Carbonaceous Biological Oxygen Demand, Dissolved Orthophosphate, Dissolved Organic Phosphorus, Dissolved Ammonium Nitrate, Dissolved Nitrite Nitrogen, Dissolved Nitrate Nitrogen, dan Dissolved Organic Nitrogen).

Water Quality Hec-RAS dapat digunakan untuk menganalisis aliran air di sungai dan sistem perairan dengan mempertimbangkan kualitas air secara bersamaan. Ini memungkinkan pengguna untuk memprediksi efek perubahan kualitas air pada aliran sungai dan memahami bagaimana perubahan hidrolika dapat mempengaruhi kualitas air (USACE, 2006).

2.8.1 Perbandingan HEC-RAS dengan *Software* Lainnya

Saat menggunakan HEC-RAS untuk pemodelan, menurut (Ismawati, 2010) terdapat kelebihan dan kelemahan pada pendekatan pemodelan, kelebihan dalam pemodelan aliran menggunakan HEC-RAS seperti keakuratan hasil cukup baik untuk masalah praktis di lapangan karena pemodelan aliran memerlukan data hidraulika dan hidrologi yang cukup rinci. Selain itu, jika terdapat kendala dalam pengumpulan data hidrologi yang akan dimasukkan ke dalam HEC-RAS, software ini menyediakan opsi untuk mengatur kondisi batas dan kondisi awal untuk pemodelan. Distribusi debit pada setiap cross section dapat diketahui secara langsung setelah pemodelan, memungkinkan untuk mengetahui besarnya debit di bagian hulu, hilir, atau daerah percabangan. Pada proses pemodelan dengan HEC-RAS, terdapat kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah kesulitan dalam memodelkan sungai yang memiliki banyak meander dan cross section sungai

yang lebar. Hal ini dapat menyebabkan perpotongan antar cross section yang berdekatan, mengakibatkan geometri sungai yang dimodelkan kurang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selain itu, HEC-RAS memiliki keterbatasan dalam melakukan analisis aliran yang tidak stabil (unsteady flow) terutama pada keadaan aliran dasar dengan debit yang kecil atau bahkan dalam kondisi yang benar-benar kering (Q mendekati $0 \text{ m}^3/\text{s}$). Program HEC-RAS 4.1.0 juga hanya mampu melakukan analisis hidraulika dalam satu dimensi. Dalam proses desain hidraulik menggunakan HEC-RAS, diperlukan data yang lebih komprehensif dibandingkan dengan perhitungan analitis.

Untuk perbandingannya sendiri pada analisis kualitas air digunakan HEC-RAS, QUAL2Kw, dan WASP mereka software yang digunakan dalam pemodelan dan analisis sistem hidrologi serta kualitas air. Berikut adalah perbandingan antara ketiganya terkait dengan pemodelan kualitas air:

1. HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) adalah perangkat lunak yang berfokus pada analisis aliran sungai, perhitungan elevasi permukaan air, dan pemodelan banjir. Meskipun memiliki kemampuan terbatas dalam memodelkan parameter kualitas air, HEC-RAS lebih berorientasi pada hidrologi dan hidraulika. Kelebihannya terletak pada dapat memperkirakan sebaran polutan di sepanjang sungai atau sistem saluran air dalam jangka waktu tertentu. Namun, tidak dioptimalkan untuk pemodelan mendalam terkait kualitas air.
2. QUAL2Kw (Quality 2nd Generation Model for River Water Quality) merupakan perangkat lunak khusus yang difokuskan pada pemodelan kualitas air di sungai, mempertimbangkan parameter seperti oksigen terlarut, BOD, nutrisi, dan logam berat. Software ini didesain khusus untuk memodelkan aspek biokimia dan polutan terkait kualitas air. QUAL2Kw mendalam dalam pemodelan kualitas air, memperhitungkan beragam parameter, dan sesuai untuk manajemen kualitas air. Namun, fokusnya terbatas pada kualitas air dan mungkin tidak memiliki integrasi yang kuat dengan analisis hidrologi.

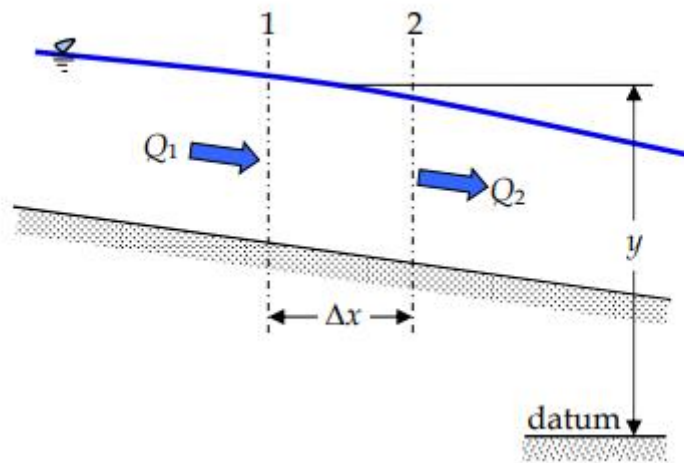
3. WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) difokuskan pada simulasi kualitas air di berbagai perairan seperti sungai, danau, estuari, dan laut. Program ini memiliki kemampuan yang kuat dalam memodelkan transportasi dan distribusi polutan serta parameter kualitas air. WASP ideal untuk analisis kualitas air secara mendalam, mempertimbangkan dinamika air dan polutan. Meskipun demikian, mungkin tidak memiliki integrasi yang kuat dengan analisis hidrologi dan hidraulika.

Pemilihan software tergantung pada tujuan analisis yang diinginkan. QUAL2Kw lebih fokus pada kualitas air di sungai dengan penekanan pada parameter kualitas air, sedangkan WASP adalah software yang lebih luas untuk simulasi kualitas air di berbagai jenis perairan. HEC-RAS lebih cocok untuk analisis aliran sungai dan banjir dengan penekanan pada aspek hidrologi dan hidraulika, sambil juga mempertimbangkan beberapa aspek kualitas air.

2.8.2 Persamaan Kontinuitas

Menurut (Schild, 2018) persamaan kontinuitas menjelaskan bahwa fluida yang bergerak melintasi pipa dengan luas penampang yang berbeda akan memiliki massa yang sama ketika masuk ke ujung lain pipa. Kecepatan aliran cairan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Jika penampangnya besar, kecepatan alirannya akan lebih rendah, dan sebaliknya, jika penampangnya kecil, kecepatan alirannya akan lebih tinggi.

Sebuah volume kontrol dapat digunakan untuk menjelaskan persamaan konservasi massa atau kontinuitas untuk aliran tak permanen satu dimensi.



Gambar 2.4 Ilustrasi Kontnuitas

Sumber : Jurnal Model Matematika

Rumus perhitungan jika terdapat aliran dari samping sepanjang pias Δx , menjadi:

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

Q adalah debit aliran ($m^3/detik$), x adalah jarak memanjang sungai, A adalah luas tampang basah (m^2), t menunjukkan waktu dalam detik, dan q_l adalah debit lateral dari samping kiri dan kanan sungai ($m^3/detik/m$) (Luknanto D, 2003).

2.8.3 Persamaan Momentum

Selain hukum kekekalan massa, aliran air juga harus memenuhi hukum kekekalan momentum, yang ditunjukkan dalam persamaan momentum sebenarnya sebagai penjabaran gaya dan momentum pada air dalam volume kontrol, Sehingga menyebabkan air mengalir. Hukum kekekalan momentum mengatakan bahwa

“jumlah fluks momentum yang masuk dan keluar volume kontrol + jumlah gayagaya yang bekerja pada volume kontrol = perubahan momentum didalam volume kontrol.”

Persamaan hukum kekentalan momentum pada Hec-Ras 6.0 adalah :

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

dengan :

S_f : kemiringan garis energi.

z : elevasi permukaan air (m).

g : gaya gravitasi (m²/det).

2.8.4 Persamaan Energi

Persamaan energy di ambil dari Hukum Kekekalan Energi yang memiliki prinsip bahwa energy disepanjang aliran adalah kekal (konstan). Hanya saja, energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Menurut(Riyanto, 2019) dalam HEC-RAS Untuk menghitung profil muka air dari satu penampang melintang ke penampang berikutnya, *Standar step method* digunakan untuk menyelesaikan persamaan energi secara iterasi. Persamaan energi ditulis sebagai berikut.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.3)$$

dengan :

Z : Elevasi dasar sungai di penampang [m]

Y : Kedalaman air di penampang [m]

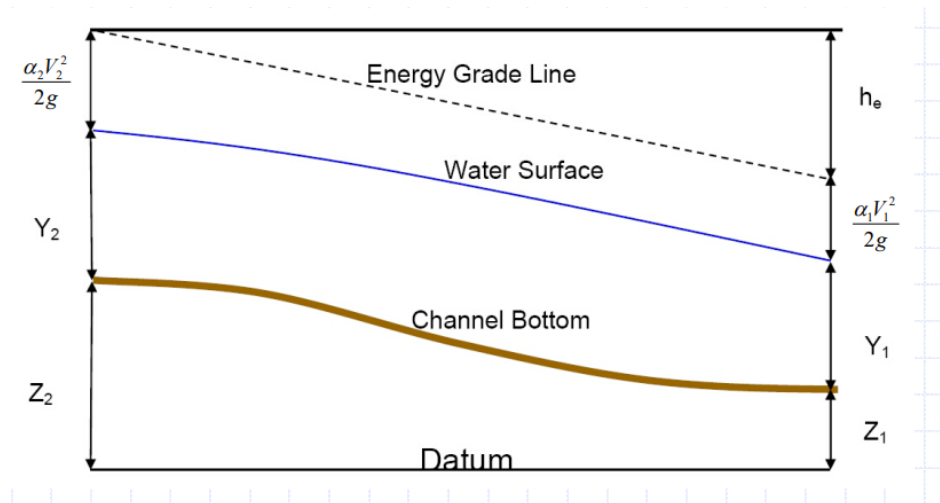
α : Koefisien kecepatan di penampang

g : Percepatan gravitasi [m/s²]

h_e : Kehilangan energi antara penampang [m]

Dalam HEC-RAS sendiri untuk nilai *energy grade line* (EGL) sudah dapat diketahui dengan melihat output geometri.

Berikut adalah diagram energi grade line pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Ilustrasi Energi Grade Line

Sumber : Dasar Teori HEC-RAS 1D

2.8.5 Koefisien Kekasaran Manning Dalam Hec-Ras

Kekasaran saluran digambarkan oleh koefisien kekasaran Manning, yang digunakan untuk menghitung kecepatan rerata suatu penggal saluran. Salah satu metode empiris yang digunakan adalah rumus kecepatan kekasaran Manning. Masalah terbesar dengan menggunakan rumus ini adalah menemukan koefisien kekasaran n , karena nilai n tidak dapat dipilih dengan cara yang spesifik. Persamaan kecepatan yang dipengaruhi oleh koefisien kekasaran Manning seperti pada persamaan berikut ini :

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

dimana :

V : Kecepatan (m^2/det)

n : koefisien kekasaran manning

R : Jari-jari haidraulik (m)

Sumber : USACE, 2006

Tabel 2.2 Nilai Koefisien Kekasaran Manning Pada 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 nomer 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 nomer 3, dengan tanaman pengganggu, batu-batu	0,035	0,045	0,050
5.	Sepeerti nomer 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 : HEC-RAS Manual Book

2.8.6 Koefisien Kontraksi Dan Ekspansi Dalam HEC-RAS

Kemiringan garis energi dipengaruhi oleh bentuk tampang yang berubah-ubah. Perubahan tampang ini dikenal sebagai kontraksi dan ekspansi. Ketika tinggi kecepatan (*velocity head*) di hulu lebih rendah daripada tinggi kecepatan di hilir, dan sebaliknya ketika ekspansi terjadi, ini menunjukkan bahwa ada kontraksi.

2.8.7 Keseimbangan Massa

Prinsip konservasi massa adalah bahwa jumlah massa yang masuk dan keluar selama selang waktu Δt sama dengan jumlah perubahan massa total selama Δt . Persamaan ini juga dikenal sebagai persamaan kesetimbangan massa, dan dapat diterapkan.

Konsep keseimbangan massa yang mendasari pembentukan persamaan angkutan limbah dan polutan yang digunakan dalam program HEC-RAS. Persamaan ini pada dasarnya digunakan untuk menentukan seberapa banyak limbah dan polutan yang masuk dan diangkut ke dalam aliran sungai tertentu.

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

dimana :

$C_{ps,i,j}$: 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).

2.8.8 Parameter Transpor Polutan

Parameter transpor polutan adalah hasil dari reaksi fisik dan kimiawi yang berbeda. Dalam hal ini HEC-RAS menggunakan koefisien dispersi. *Water quality* analisis menghitung koefisien dispersi berdasarkan variabel hidraulik pada setiap permukaan. Metode ini menghindari ketidakstabilan model potensial yang mungkin terjadi ketika penampang melintang dengan luas permukaan yang besar dan koefisien dispersi yang besar diikuti oleh penampang dengan luas permukaan yang kecil dan koefisien dispersi yang kecil. Nilai konstanta koefisien dispersi menggunakan rumus berikut :

$$D = 0.011 \frac{B^2 U^2}{h u^*} \quad (2.6)$$

dimana:

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

u^* : kecepatan geser (m/det).

h : kedalaman air (m).

B : lebar sungai (m).

Untuk mencari kecepatan geser u^* digunakan rumus :

$$\sqrt{g \cdot h \cdot sf} \quad (2.7)$$

dimana:

g : gravitasi konstan

h : Kedalaman air (m)

Sf : Slope friction / EGL

2.8.9 BOD

Oksidasi karbon dipengaruhi dua faktor yaitu *dissolved* BOD dan *precipitant* BOD. Pada *dissolved* BOD reaksi terjadi secara langsung tanpa terpengaruh partikel lain. Fungsi dari *dissolved* BOD ini adalah K_1 BOD. Sementara itu reaksi *precipitant* BOD terpengaruh dengan partikel lain. *Precipitant* BOD disebut juga *settling rate* yang memiliki fungsi yaitu K_3 BOD. K_3 atau *settling rate* dapat bernilai negatif karena terpengaruh dengan partikel lain, misalkan pada saluran telah terdapat endapan eksisting dan kembali menjadi partikel melayang karena pengaruh dari kecepatan yang berubah-ubah. BOD adalah variabel tetap.

Tabel 2.2 menunjukkan rentang nilai yang disarankan untuk parameter BOD. Koefisien nilai defaultnya diatur dengan rentang nilai yang paling rendah.

Tabel 2.3 Koefisien BOD

Simbol	Deskripsi	Satuan	Kisaran yang disarankan	Nilai Value	Koefisien terkoreksi temperatur (Θ)
K_1	laju deoksigenasi	Hari	0,02-3,4	0,02	1,047
K_3	laju pengendapan	Hari	-0,36-0,36	0	1,024

Sumber: USACE, 2006

2.8.10 DO

Pemodelan DO di HEC-RAS bermula dari reareasi atmosfer dan fotosintesis alga yang merupakan sumber oksigen terlarut yang terlarut; fotosintesis dapat menghasilkan konsentrasi oksigen terlarut yang melampaui kejenuhannya. Kisaran nilai DO untuk koefisien default-nya adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 4 Koefisien DO

Simbol	Deskripsi	Satuan	Kisaran nilai tang disarankan	Nilai default	Koefisien koreksi temperatur
	<i>O₂ Production per unit</i>	mgO/mgA	1,4 – 1,8	1,4	-
	<i>Uptake per unit alga respired</i>	mgO/mgA	1,6 – 2,3	1,6	-
	<i>Uptake per unit NH₄ oxidized</i>	mgO/mgN	3,0 – 4,0	3	-
	<i>Uptake per unit NO₂ oxidized</i>	mgO/mgN	1,0 – 1,14	1,0	-
	<i>Reaerationrate</i>	/hari	0 -100	0	1,024
	<i>SOD oxygen uptake</i>	/hari	Variabel	0	1,060

Sumber : USACE, 2006

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah penelitian-penelitian terdahulu dengan menggunakan HEC-RAS :

No	Nama Studi	Penulis	Tahun Terbit	Parameter yang di uji	Keterangan
1.	Pemodelan Kualitas Air (BOD ₅ dan DO) Dengan Menggunakan Software Hec-Ras 4.1	Albertus Andika Julianto ngeta	2017	BOD dan DO	<ul style="list-style-type: none">• Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sumber polutan dan hubungan pengaruh bangunan air di kawasan UGM terhadap kualitas air di Kali Belik berdasarkan sifat penyebaran, dengan menggunakan software HEC – RAS.• Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan konsentrasi BOD₅ yang cukup signifikan sebelum dan sesudah memasuki kawasan UGM.
2.	Kajian Penyebaran Polutan Sungai Code	Doddy Meidiansyah	2014	BOD dan DO	<ul style="list-style-type: none">• Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas air sungai pada musim kemarau dan hujan. Selain itu, penelitian ini lokasinya dari Ringroad Utara hingga Ringroad Selatan yang berjarak 10 km.

No	Nama Studi	Penulis	Tahun Terbit	Parameter yang di uji	Keterangan
					<ul style="list-style-type: none"> • Hasil penelitian ini dapat membantu mengetahui konsentrasi DO sebagian besar yang memenuhi syarat, karena melebihi batas minimum yang diijinkan sedangkan untuk BOD5 tidak memenuhi syarat karena melebihi batas maksimum yang diijinkan
3.	Menganalisis daya tampung air berdasarkan beban pencemar organik pada Sungai Tapin	Afresa Amanda, Rony Riduan, Chairul Abdi	2020	Parameter Kimia (BOD, COD, dan Ammonia)	<ul style="list-style-type: none"> • Perhitungan HEC-RAS tidak dapat menunjukkan interaksi antar berbagai parameter dan variabel, jadi permodelan harus dilakukan secara terpisah. • Hasil penelitian dapat membantu menentukan status sungai atau tingkat kualitas airnya, sehingga dapat dibandingkan dengan yang ditargetkan oleh undang-undang setempat.

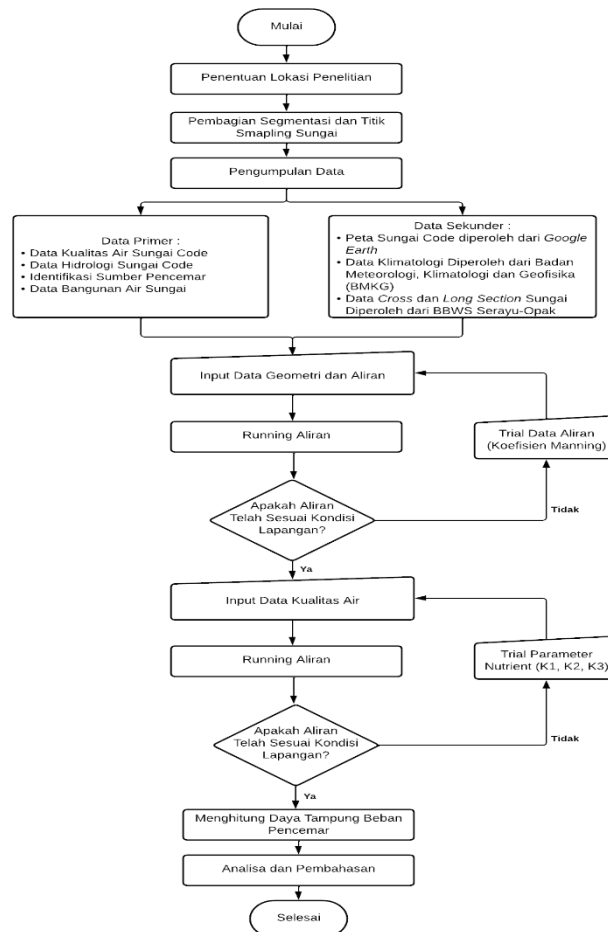
4.	<i>Using Hec-Ras And Qual2e To Assess Johor River Water Quality.</i>	Ali Ahmed Sulaimin	2020	Parameter BOD, dan TSS	HEC-RAS digunakan untuk memodelkan; dan diikuti oleh QUAL2E untuk mensimulasikan kualitas air di Johor Sungai. Juga Untuk menilai kinerja strip penyangga vegetasi, dan karena mengurangi penetrasi cahaya, mekar alga berbahaya, berkurang dalam oksigen terlarut, total suspended solid (TSS) diperkirakan. Semua parameter dibandingkan dengan Standar Kualitas Air Nasional Sementara (INWQS) disediakan oleh Departemen Lingkungan (DOE). Dari temuan itu, rata-rata konsentrasi padatan tersuspensi adalah 17,97 mg/l. Efisiensi perangkat untuk pengurangan beban polusi oleh strip penyangga vegetasi diperkirakan 9,17% dan ini nilai akan lebih besar selama pelepasan tinggi.
5.	Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Code Menggunakan Software Qual2kw	Anggraeni Fajri Tri Astari	2016	Parameter DO, BOD dan COD	Penelitian dilakukan di Sungai Code dengan panjang ± 41 km mengalir melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta hingga Kabupaten Bantul. Ada 7 titik pengukuran sample dengan dibagi menjadi 6 segmen. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa daya tampung beban pencemar terhadap BOD 4 segmen yang melebihi kapasitas, sedangkan untuk COD ada 4 titik yang melebihi kapsitas.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada prosedur pengujian digunakan diagram alir sebagai gambaran mengenai langkah-langkah pengujian yang akan dilakukan, seperti pada Gambar di bawah ini .



Gambar 3.1 Skema Kerangka Penelitian

Sumber : Penulis 2023

Tabel 3.1 Ringkasan Penelitian

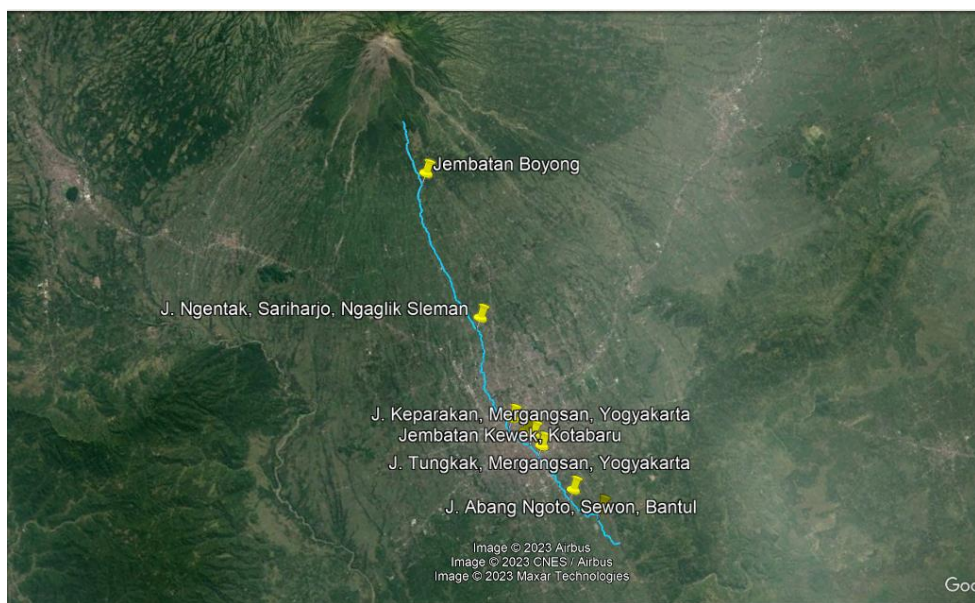
No	Tujuan	Input Data	Metode	Luaran
1	Mensimulasikan hidrolika Sungai Code menggunakan HEC-RAS	Data Geografi sungai, data cross section sungai, debit aliran sungai	Simulasi HEC-RAS	Hasil simulasi hidrolika sungai
2	Mengidentifikasi besaran beban pencemar DO dan BOD yang masuk ke badan air Sungai Gajahwong	<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	Mensimulasikan HEC-RAS	Hasil Simulasi HEC-RAS

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu pengambilan sampel di mulai dari bulan Januari hingga Februari pada tahun 2023. Pengambilan sampel untuk uji kualitas air pada tanggal 16 Januari dan untuk sampel limbah pada tanggal 23 Februari, untuk pengujian laboratorium dimulai pada bulan Januari. Penentuan titik lokasi pengambilan sampel berdasarkan sample survey method, yaitu suatu metode pengambilan sampel dengan cara membagi daerah penelitian menjadi beberapa titik atau segmen yang diharapkan dapat mewakili populasi penelitian. Selain itu, penentuan titik pengambilan sampel

air didasarkan pada kemudahan akses, waktu, maupun biaya dalam penelitian. Pemantauan titik sampling pada penelitian ini berjumlah 8 titik berdasarkan titik pemantauan kualitas air Sungai Code oleh DLH (Dinas Lingkungan Hidup)

Lokasi survei dilakukan di hulu Sungai Code yaitu Sungai Code yang dimulai dari Jembatan Boyong, kemudian sungai tersebut berakhir di hilir di Jembatan Wonokromo. Sungai Code yang melintasi Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul merupakan aliran dari Sungai Boyong.



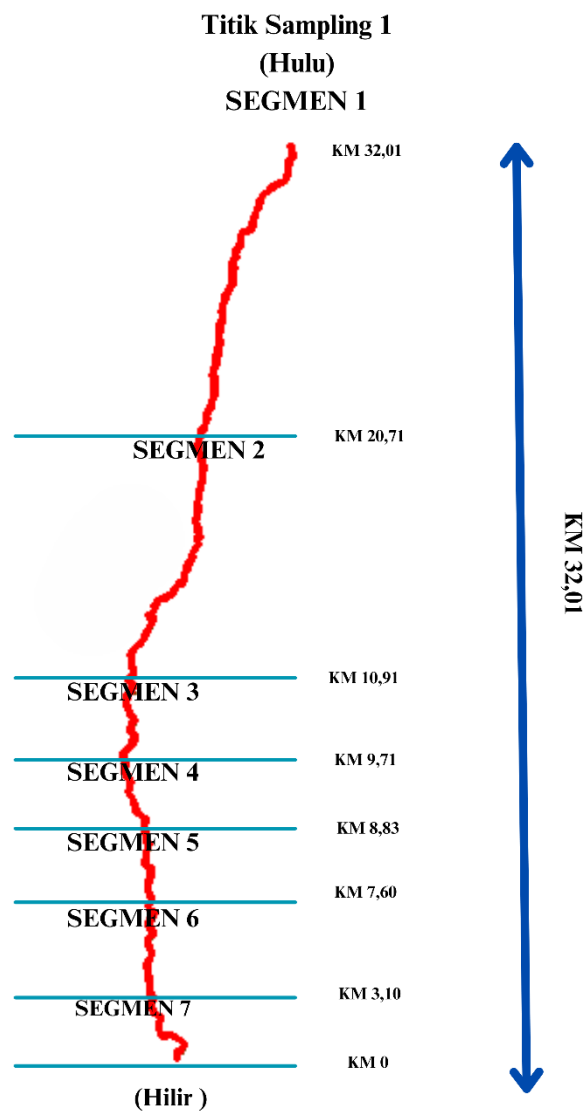
Gambar 3.2 Titik Sampling Sungai Code

3.3 Penentuan Segmen Atau Ruas

Sungai Code dari hulu sampai hilir mempunyai panjang 42 km, panjang objek pada penelitian ini 32,01 km. penentuan segmen ditentukan dari data sekunder yang diapat.

Tabel 3.2 Segmentasi Sungai Code

Segmen	Titik Sampling	Lintang Selatan	Lintang Timur
1	J. Boyong, Pakem, Sleman	-7.624138889	110.4144722
2	J. Ngentak, Sariharjo, Ngaglik Sleman	-7.722638889	110.3894444
3	Jembatan Kewek, Kotabaru	-7.789333333	110.3689722
4	J.Sayidan Gondomanan, Ngupasan, Pakualaman, Yogyakarta	-7.8015	110.3713333
5	J. Keparakan, Mergangsan, Yogyakarta	-7.8061	110.3742528
6	J. Tungkak, Mergangsan, Yogyakarta	-7.815625	110.3745806
7	J. Abang Ngoto, Sewon, Bantul	-7.851594444	110.3752333
8	J. Pacar Wonokromo, Pleret, Bantul	-7.872688889	110.3833083



Gambar 3.3 Segmentasi Sungai Code

3.4 Metode Pengumpulan Data

3.4.1 Data Primer

Data primer ini penulis mengambil data hidrologi seperti kecepatan, debit, ketinggian muka air, meteorologi, dan dimensi badan air seperti lebar dan kedalaman sungai secara langsung dari lokasi badan air sungai Code. Kemudian untuk parameter BOD dan DO dilakukan pengujian di laboratorium Air Teknik Lingkungan. Untuk pengujian parameter BOD digunakan SNI sebagai patokan.

Untuk SNI pengujian DO digunakan regulasi SNI 06-6989.14-2004, pengujian BOD digunakan regulasi SNI 6989.72.2009, Temperatur air digunakan regulasi SNI 06-6989-23-2005, kecepatan aliran digunakan regulasi SNI 8066:2015.

Untuk pengukuran kondisi hidrolis Sungai (kecepatan, debit, lebar, dan kedalaman) Code disederhanakan. Ketika kondisi terakses pengukuran kecepatan menggunakan alat current meter namun jika kondisi sungai tidak dapat diakses, pengukuran kedalaman, kecepatan, dan lebar sungai dapat dilakukan secara manual. Pengukuran kedalaman sungai dilakukan dengan memasukkan tongkat ke dasar sungai dan menggunakan meteran untuk mengukur bagian tongkat yang basah. Jika sungai tidak dapat dijangkau, pengukuran kedalaman dilakukan dengan memasukkan pemberat batu ke dalam tali dan mengukur bagian tali yang basah dengan meteran. Jika jembatan tidak dapat dijangkau, pengukuran lebar sungai dilakukan dengan mengukur lebar jembatan menggunakan meteran

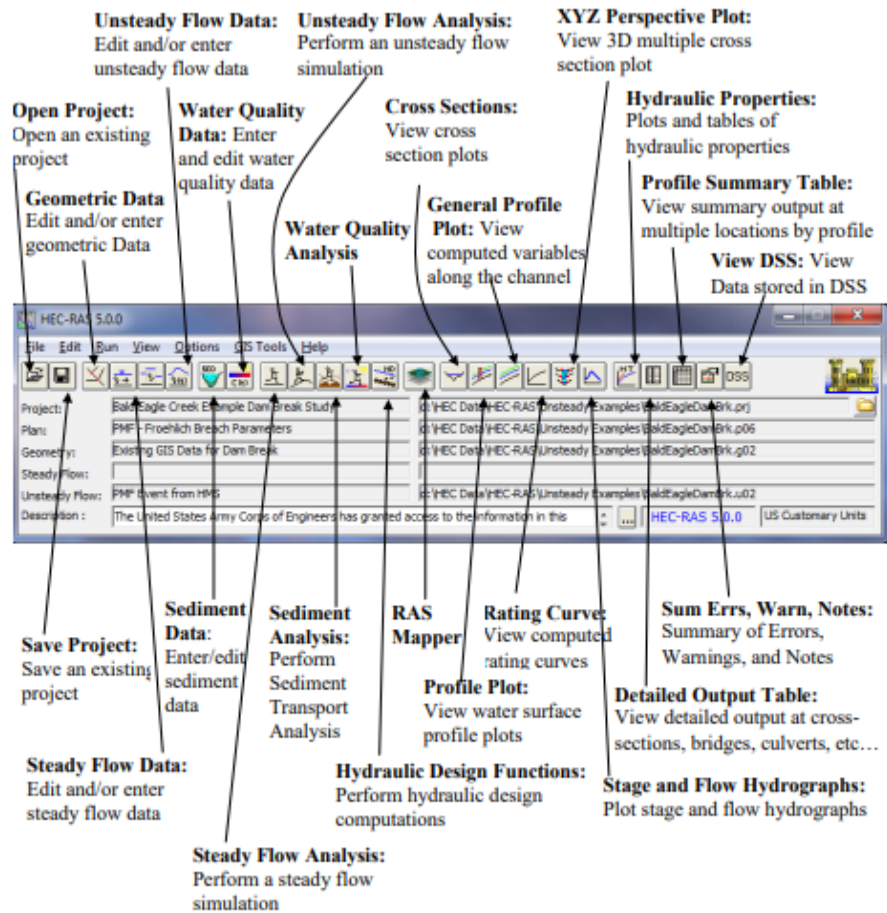
3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder yang penulis kumpulkan meliputi data penampang cross section dan long section yang didapatkan dari BBWS, selain itu data elevasi untuk interpolasi didapatkan dari Peta DEMNAS Yogyakarta yang didapat dari geoportal.ina, dan peta didapatkan dari *Google Earth Pro*.

3.5 Pemodelan Dengan Program HEC-RAS 4.1

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

Proses pemodelan atau hitungan hidraulik dengan HEC-RAS 4.1 dimulai dengan menyimpan model HEC-RAS 4.1 dalam sebuah file proyek. Selanjutnya, pengguna membuat dan memasukkan nama file proyek, sehingga HEC-RAS 4.1 akan menamai semua file yang berhubungan dengan model dengan nama yang telah dimasukkan.

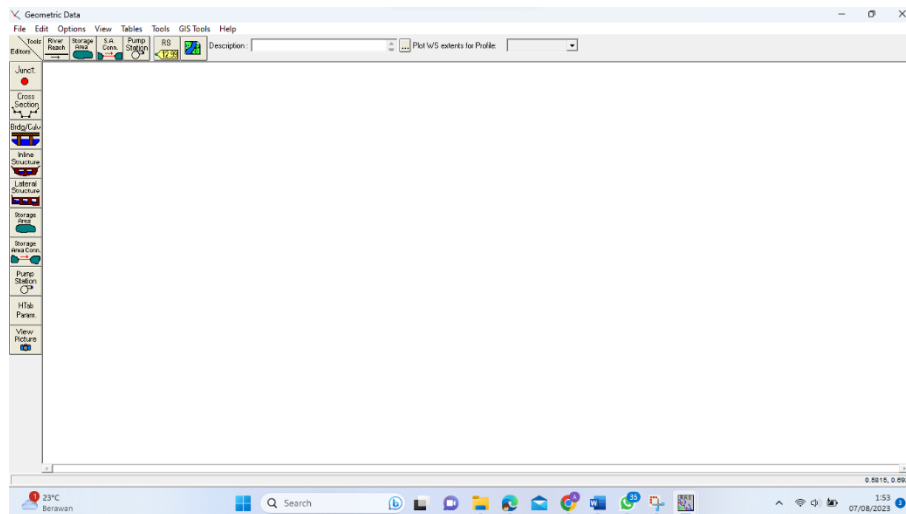


Gambar 3.4 Jendela Awal HEC-RAS

Sumber : HEC-RAS Manual Book

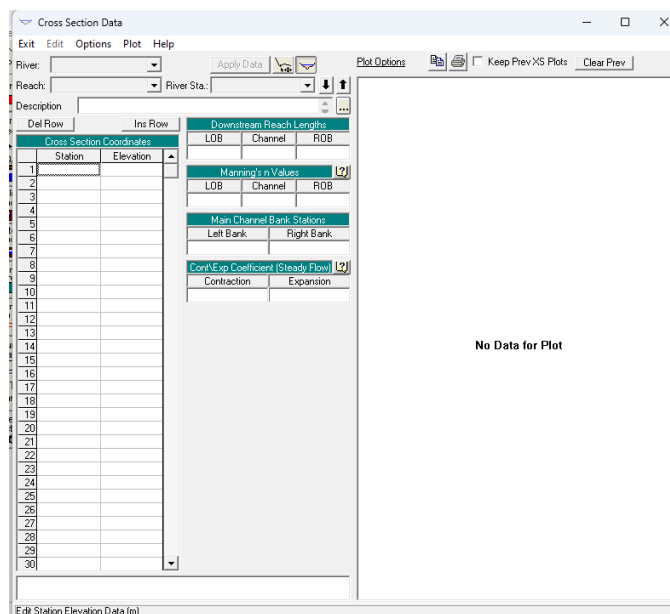
3.5.2 Menginput Data Geometri (*Entering Geometric Data*)

Geometrik dimasukkan dengan memilih *Geometric Data* dari menu edit pada jendela utama HEC-RAS. Ketika opsi ini dipilih, jendela-jendela data geometrik akan muncul seperti yang ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



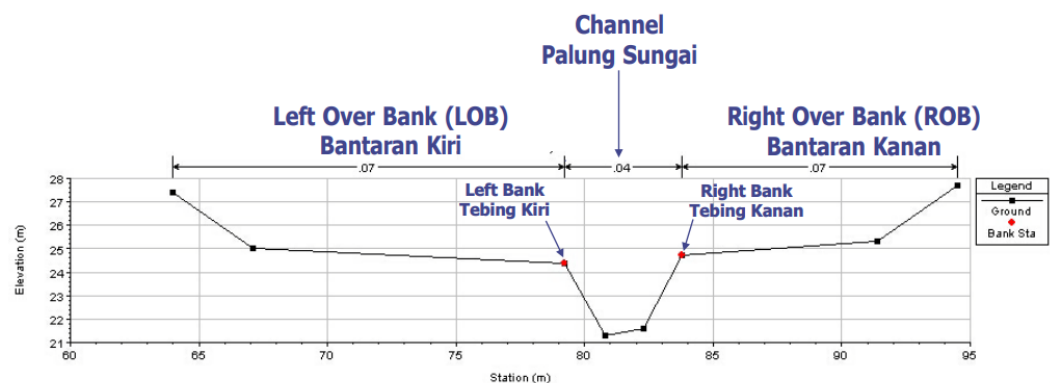
Gambar 3.5 Jendela Geometri Data

Pada bagian ini dimulai dengan membuat *river reach*, *river reach* berguna untuk pembuatan alur sungai dan kemudian menggambar jangkauan dari hulu ke hilir (dalam arah aliran positif). Kemudian pada bagian *cross section* diisi dengan data penampang melintang dan data struktur hidraulik. Ketika *Cross section* di klik akan muncul jendela seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.6 Jendela Cross Section

Penampang melintang terdiri dari: data elevasi stasiun (titik penampang koordinat); panjang jangkauan hilir (jarak dari penampang-penampang melintang saat ini ke penampang melintang berikutnya di hilir); nilai Manning's n (harus memiliki overbank kiri, saluran utama, dan nilai n Manning di tepi kanan sungai, saluran utama stasiun bank (mendefinisikan batas tepi kiri dan kanan saluran utama) dan koefisien kontraksi dan ekspansi (standarnya adalah 0,1 dan 0,3).

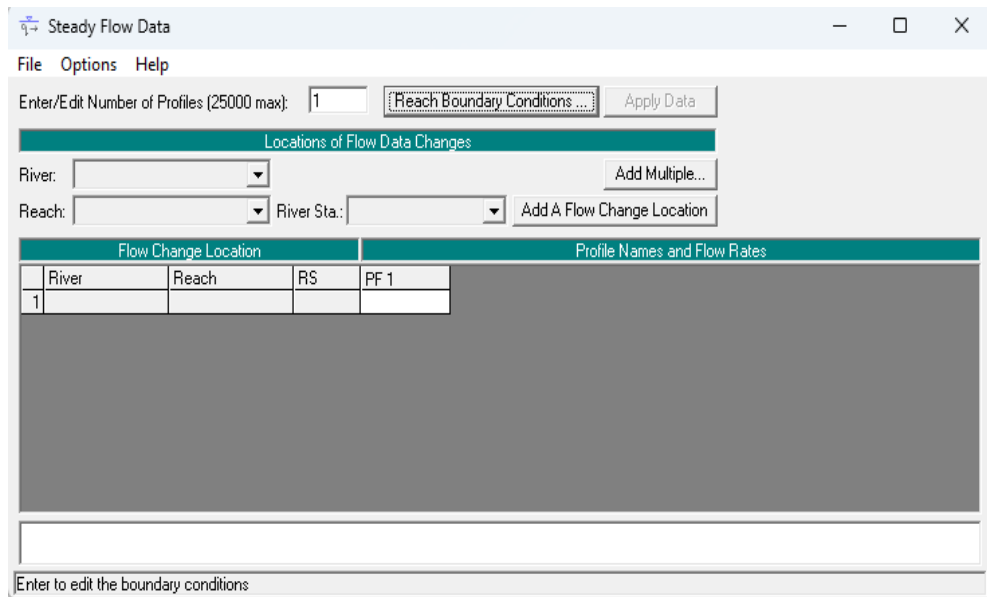


Gambar 3.7 Ilustrasi Penampang Sungai Dalam HEC-RAS

Sumber : Dasar Teori HEC-RAS 1 Dimensi

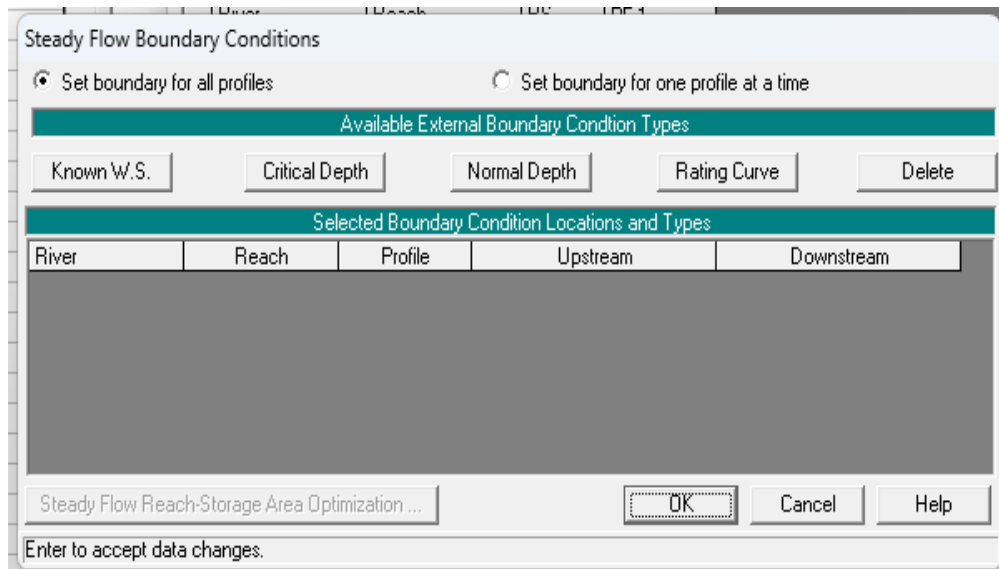
3.5.3 Melakukan Perhitungan Hidraulik

Pada bagian input data aliran digunakan *steady flow* untuk memasukan debit aliran air untuk setiap titik aliran air. Dalam penelitian terdapat satu jenis debit yang digunakan.



Gambar 3.8 Jendela *Steady Flow*

Kemudian memasukan data reach boundary condition, reach boundary condition di HEC-RAS digunakan untuk menggambarkan kondisi batas aliran pada titik akhir sebuah sungai atau saluran yang sedang dianalisis menggunakan HEC-RAS, sebuah perangkat lunak simulasi hidrolika.



Gambar 3.9 Jendela *Boundary Steady Flow*

Sumber : HEC-RAS Manual Book

Untuk set reach boundary condition dapat memilih 4 kategor : Known W.S, Critical depth, Normal depth, Rating curve. Untuk mengetahui perbedaannya sebagia berikut :

1. *Known W.S (Water Surface)*: Ini mengacu pada elevasi atau ketinggian permukaan air yang diketahui atau diukur pada suatu titik dalam sistem sungai atau saluran. Ini adalah perbedaan antara rating curve, critical depth, normal depth, dan known W.S (Water Surface). Memahami level air saat ini bergantung pada informasi ini.
2. *Critical depth* adalah kedalaman di mana aliran mencapai kecepatan aliran maksimumnya. Pada saat ini, daya geser aliran dan daya lenting secara matematis seimbang. Ketika kecepatan melebihi kecepatan kritis, kritisitas terjadi, yang menyebabkan kondisi aliran berubah secara signifikan.
3. *Normal depth* adalah kedalaman di mana kecepatan aliran stabil dan tidak ada perubahan yang signifikan dalam geometri dan slope saluran atau sungai. Kedalaman normal adalah kedalaman di mana suatu aliran mencapai keseimbangan antara tekanan hidrostatis dan kehilangan gesekan.
4. *Rating curve*: Ini digunakan untuk memperkirakan debit air berdasarkan elevasi yang diukur. Ini adalah hubungan empiris antara elevasi permukaan air (W.S) dan debit air yang melewati suatu saluran atau sungai dalam kondisi tertentu. Kurva didasarkan pada pengukuran yang dilakukan dalam berbagai kondisi aliran.

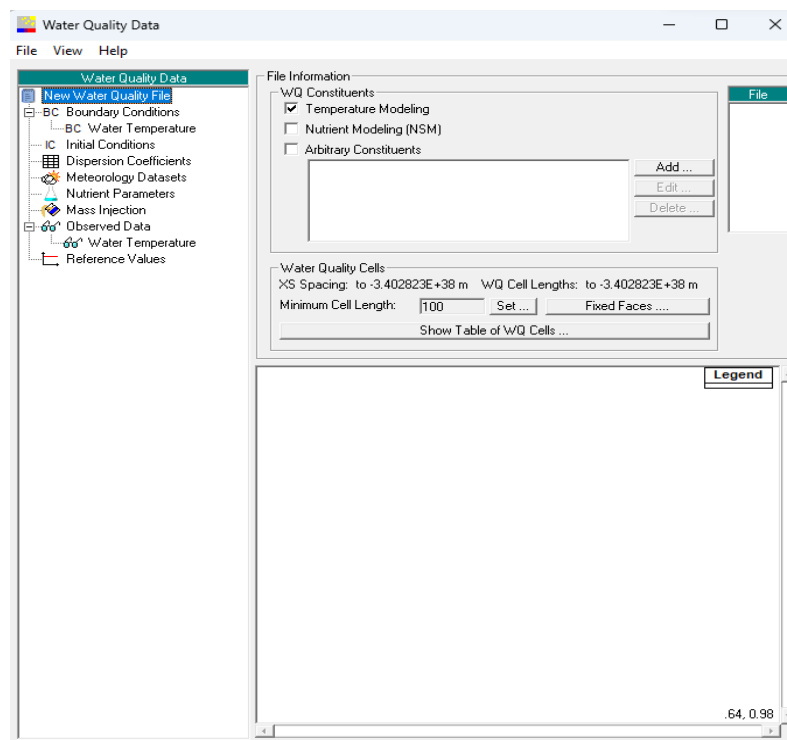
3.5.4 Peniruan Kualitas Air

Pada peniruan kualitas air terdapat beberapa input seperti boundary condition pada *water quality* memiliki dua syarat yaitu :

- 1) Syarat awal suhu adalah hanya untuk lokasi pemantauan sungai, sedangkan syarat batas suhu air berlaku untuk seluruh sungai yang ditinjau.

- 2) Kondisi batas konsentrasi polutan (BOD dan DO), yang merupakan persyaratan awal model nutrisi, berasal dari data konsentrasi polutan yang digunakan pada awal titik monitoring sungai.

Selanjutnya ada pengisian nilai koefisien dispersi, data meteorologi, parameter nutrisi, dan data observasi harus dimasukkan selain syarat batas dan syarat awal. Setelah data kualitas air telah dimasukkan, langkah terakhir adalah melakukan eksekusi atau *run* data. Menampilkan hasil *run* kualitas air dapat dilakukan dengan memilih tab *view* pada menu utama HEC-RAS , lalu pilih plot WQ spasial.



Gambar 3.10 Jendela Water Quality

Sumber : HEC-RAS Manual Book

3.5.5 Kalibrasi Dan Validasi Perubahan Kualitas Air

Setelah running kualitas air selesai, langkah selanjutnya adalah menyesuaikan model kualitas air HEC-RAS dengan data observasi. Hasil peniruan kualitas air diamati dalam grafik untuk melakukan penyesuaian ini.

Pola sebaran konsentrasi kualitas air dan data observasi lapangan ditunjukkan pada grafik hasil run. Jika pola grafik hasil run belum mendekati data observasi, maka parameter nutrisi K_1 , K_2 , dan K_3 diubah sesuai dengan kisarnya masing-masing sampai pola grafik mulai mendekati data observasi.

Selanjutnya evaluasi digunakan Evaluasi menggunakan metode *Root Mean Squared Percent Error* (RMSPE). RMSPE adalah salah satu cara untuk mengevaluasi model regresi linear dengan mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model. Selain itu RMSE merupakan cara untuk pengukuran suatu model dalam memprediksi data kuantitatif yang menunjukkan seberapa tersebar data di sekitar garis yang paling cocok. Secara matematis, rumusnya ditulis sebagai berikut :

$$RMSPE = \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{n} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

- RMSPE : Nilai *root mean square percent error*
- y : Nilai hasil observasi
- \hat{y} : Nilai hasil prediksi
- i : Urutan data pada database
- n : Jumlah data

Nilai RMSPE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya. RMSPE menghitung rentang perbedaan seperangkat nilainya. Semakin kecil nilai RMSPE, Semakin dekat nilai yang diprediksi dan diamati. Interpretasi nilai RMSPE rentangnya dari 0 hingga ∞ , RMSPE dapat berorientasi negatif dimana nilai yang lebih rendah menunjukkan nilai yang lebih baik. Menurut (Deksissa Chuco, 2004) model dapat diterima dan digunakan jika nilai RMSPE dibawah 50%.

3.5.6 Teknik Simulasi Skenario

1. Simulasi skenario 1

Simulasi skenario 1 dilakukan dengan membuat model sesuai kondisi eksisting (beban pencemar eksisting). Data lapangan yang dimasukkan yaitu, hidrolis sungai, data kualitas air, data sumber pencemar, koefisien dispersi serta data meteorologi. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai beban pencemar eksisting yang masuk ke dalam Sungai Code.

2. Simulasi skenario 2

Simulasi skenario 2 dilakukan dengan membuat model yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yaitu baku mutu kelas I, II, dan III. Pada simulasi ini dilakukan trial and error agar hasil yang diperoleh memenuhi baku mutu untuk air sungai kelas II. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besaran beban pencemar maksimum yang dapat masuk ke Sungai Code tanpa mencemari sungai.

3.6 Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemar

Daya tampung beban pencemaran menganalisis tentang daya tampung suatu beban pencemar atau polutan yang masuk ke dalam air sedangkan beban pencemar diartikan sebagai jumlah pencemar dalam air atau limbah yang dapat ditimbulkan setelah kegiatan komersial, swasta dan pertanian.

Hasil penelitian DTBP dapat digunakan di Indonesia saat menyusun tata ruang dan kebijakan Pengendalian Pencemaran Air (PPA). Namun, karena masih bersifat makro, perlu diberikan penjelasan lebih lanjut tentang alokasi beban pencemar. Alokasi ini didefinisikan sebagai jumlah beban pencemar yang harus diturunkan berdasarkan jenis sumber pencemar (sektoral), lokasi administrasi, wilayah subdas, dan segmen sungai (spasial). Menurut (Dewata, 2018) DTBP dapat dihitung dengan rumus :

$$BPS = C_s \times Q_s \times f \quad (3.2)$$

BPS : Beban Pencemar Sungai (kg/hari).

C_s : kadar terukur sebenarnya unsur pencemar (mg/l).

Q_s : Debit air sungai (m^3/det).

F : Faktor Konversi.

Setelah melakukan perhitungan beban pencemar, kemudian DTBP dapat dihitung melalui persamaan :

$$\text{Daya tampung} = \text{beban pencemar penuh} - \text{beban kondisi awal} \quad (3.3)$$

BAB IV


HASIL DAN PEMBAHASAN




4.1 Kondisi Lokasi Titik Sampling




Panjang Sungai Code pada lokasi titik sampling yaitu 32,01 km. Hulu pengambilan sampling ini berada di Jembatan Boyong, kemudian hilir pada titik sampling berada di Jembatan Pacar, Wonokromo.

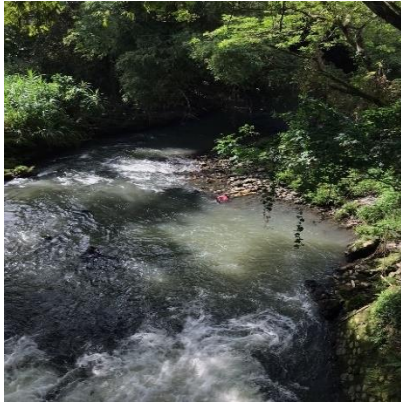
Sampel air sungai ini diambil di delapan tempat di mana air sungai berasal. Pembagian segmen titik pantau BLH DIY digunakan untuk memilih lokasi pengambilan sampel, yang dimulai dari titik Jembatan Boyong hingga titik Jembatan Pacar Wonokromo. Untuk menentukan jarak dan elevasi penulis menggunakan *software Google Earth*. Kondisi lokasi ini menggambarkan kondisi sungai menjadi titik sampling, pada Tabel 4.1 dijelaskan kondisi fisik, meterologi, serta vegetasi di sekitaran kondisi sampling.

Tabel 4. 1 Kondisi Lokasi Titik Sampling

No.	Lokasi titik sampling	Gambar Lokasi	Keterangan
1	Km 32,01		Kondisi lingkungan sekitar titik sampling mempunyai banyak vegetasi, untuk kondisi air mengalami kekeruhan, kemudian untuk kondisi fisik memiliki kedalaman 0.15 m, dan lebar aliran 6 m,. Cuaca pada kondisi titik sampling cerah berawan, dan memiliki sumber pencemar <i>point source</i> .

No.	Lokasi titik sampling	Gambar Lokasi	Keterangan
2	Km 20,71		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 2 memiliki kedalaman sebesar 0.90 m dan lebar aliran sebesar 13.98 m. pada titik 2 kondisi sungai tergolong tidak keruh. Pada titik 2 memiliki sumber pencemar point source. Sumber pencemaran point source berasal dari limbah drainase yang cukup deras.</p>
3	Km 10,91		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 3 memiliki kedalaman sebesar 1.03 m dan lebar aliran sebesar 23.845 m. pada titik 3 kondisi sungai tergolong tidak keruh. Pada titik 3 memiliki sumber pencemar point source. Sumber pencemaran point source berasal dari limbah drainase dari rumah sekitaran titik sampling.</p>
3.	Km 9,71		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 4 memiliki kedalaman sebesar 1.25 m dan lebar aliran sebesar 20.04 m. pada titik 4 kondisi sungai tergolong keruh. Pada titik 4 memiliki tidak ada sumber pencemar point souce.</p>

No.	Lokasi titik sampling	Gambar Lokasi	Keterangan
4.	Km 8,83		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 5 memiliki kedalaman sebesar 1.50 m dan lebar aliran sebesar 18.5 m. pada titik 5 kondisi sungai tergolong keruh. Pada titik 5 memiliki ada sumber pencemar point source berupa drainase.</p>
5.	Km 7,60		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 6 memiliki kedalaman sebesar 1.20 m dan lebar aliran sebesar 18.932 m. pada titik 6 kondisi sungai tergolong keruh. Pada titik 6 memiliki ada sumber pencemar point source berupa drainase.</p>
6.	Km 3,10		<p>Kondisi fisik sungai pada titik 7 memiliki kedalaman sebesar 1.68 m dan lebar aliran sebesar 11.4 m. pada titik 7 kondisi sungai tergolong keruh. Pada titik 7 memiliki sumber pencemar point source berupa industri tahu.</p>

No.	Lokasi titik sampling	Gambar Lokasi	Keterangan
7.	Km 0		Kondisi fisik sungai pada titik 8 memiliki kedalaman sebesar 1.97 m dan lebar aliran sebesar 16.8 m. pada titik 8 kondisi sungai tergolong keruh. Pada titik 8 memiliki tidak ada sumber pencemar point source.

4.2 Kondisi Hidraulik Lokasi Titik Sampling

Data hidrolik Sungai Code dikumpulkan berdasarkan pengukuran dan perhitungan yang dilakukan pada penelitian pada tanggal 16 Januari dan 23 Februari 2023. Data ini termasuk kecepatan aliran, debit, dan kedalaman sungai. Di delapan lokasi sampling, penulis melakukan pengukuran dan perhitungan secara langsung. Data hidrolik Sungai Code diperoleh dengan berbagai cara dan akan dimasukkan ke dalam *software* HEC-RAS untuk proses kalibrasi pemodelan HEC-RAS.

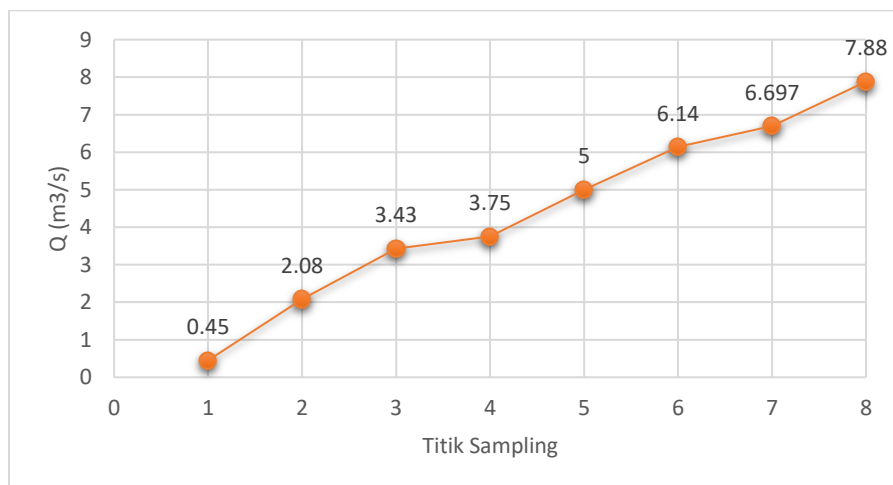
Tabel 4.2 Data Kondisi Hidraulik Sungai Code

TITIK SAMPLING	DEBIT (Q)	LEBAR (L)	KEDALAMAN (d) - H	KECEPATAN ALIRAN (V) – U
1	0.450	6	0.15	0.500
2	2.080	13.98	0.90	0.165
3	3.430	23.845	1.03	0.140
4	3.750	20.04	1.25	0.150
5	5.000	18.5	1.50	0.180
6	6.140	18.932	1.20	0.270
7	6.697	11.4	1.68	0.350
8	7.880	16.8	1.97	0.238

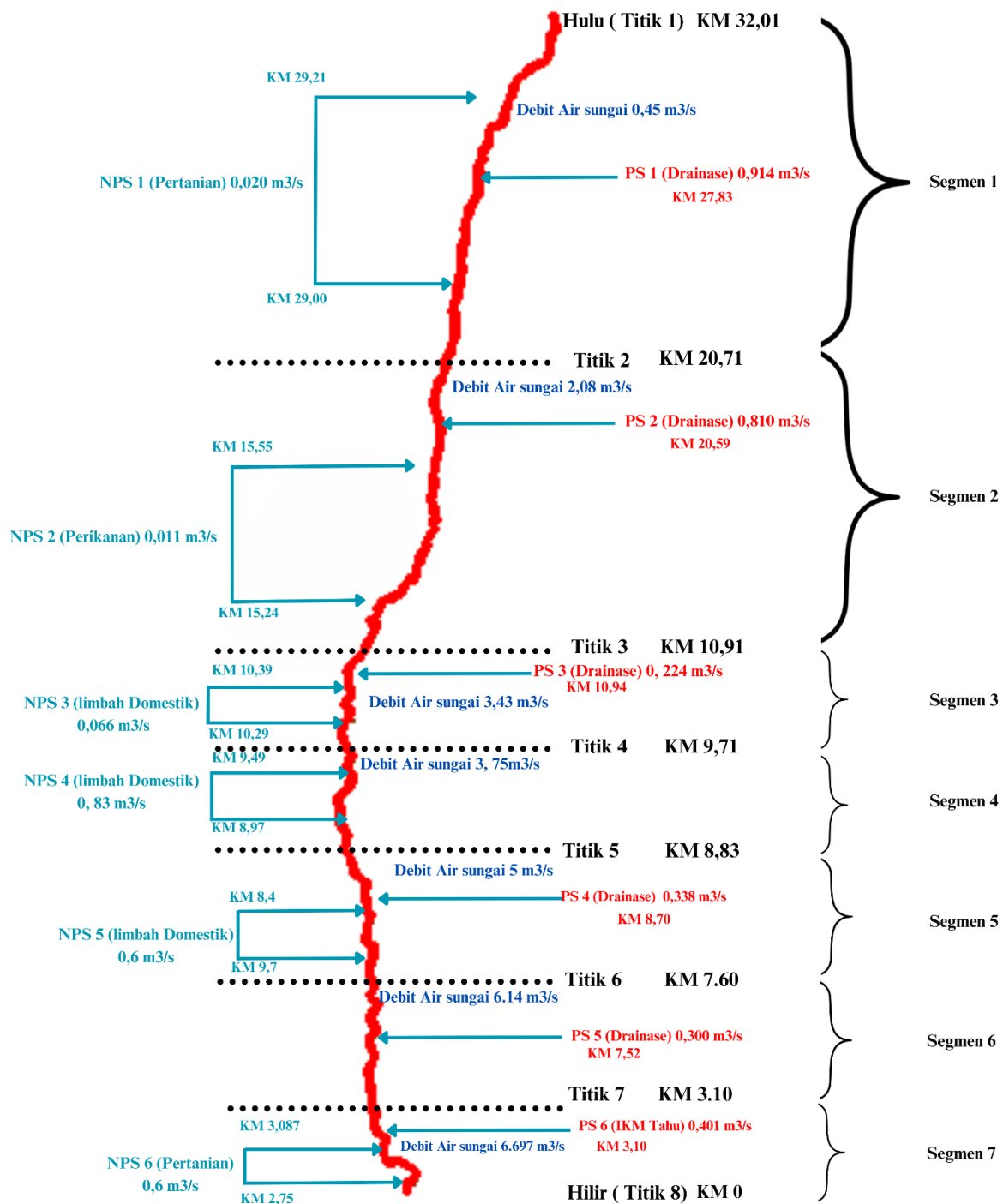
4.2.1 Debit Sungai Code

Nilai debit Sungai Code yang diukur berdasarkan kecepatan aliran, kedalaman, dan lebar sungai di setiap titik sampling. Titik sampling Jembatan Boyong memiliki debit terendah 0.45 m³/s dan Titik sampling Jembatan Pacar Wonokromo memiliki debit tertinggi 7.88 m³/s. Terdapat terjunan di area pengambilan sampel air yang memengaruhi kuantitas debit.

Namun, debit terendah pada titik sampling Jembatan Boyong disebabkan oleh kedalaman yang dangkal dan penampang sungai di hulu yang kecil. Faktor-faktor lain yang berpengaruh dengan debit seperti iklim, kemiringan lereng, jenis penggunaan, tutupan lahan, dan jumlah aliran yang masuk ke dalam sungai, terutama air hujan yang dapat memengaruhi debit air sungai (Asnul Maulana et al., 2014).



Gambar 4.1 Grafik Nilai Debit Sungai Code



Gambar 4.2 Mass Balance Sungai Code

Analisis Mass Balance pada Gambar 4.2, terlihat bahwa titik dengan debit terendah adalah titik 1, dengan debit sebesar 0,45 m³/detik. Hal ini disebabkan oleh kondisi sungai yang memiliki kedalaman yang dangkal yang mengakibatkan keterbatasan mengumpulkan volume yang cukup untuk menghasilkan debit yang tinggi (Maramis et al., 2022). Selanjutnya, terdapat input dari sumber pencemar point source berupa saluran drainase dengan debit sebesar 0,914 m³/detik, dan dari diffuse source berupa pertanian dengan debit sebesar 0,020 m³/detik. Keberadaan vegetasi juga memiliki dampak pada fluktuasi debit, dengan vegetasi yang relatif lebih sedikit membuat penghambatan serapan air melalui proses infiltrasi atau evapotranspirasi yang memengaruhi debit sungai, didapatkan nilai *error* 0,69 m³/detik. Oleh karena itu, pada titik 2, terjadi peningkatan debit menjadi 2,08 m³/detik. Kemudian, terdapat input dari point source berupa saluran drainase dengan debit sebesar 0,810 m³/detik, dan dari diffuse source berupa perikanan dengan debit 0,011 m³/detik, didapatkan nilai *error* 0,53 m³/detik.

Pada titik 3, yang mengakibatkan debit meningkat menjadi 3,43 m³/detik, adanya pemasukan dari debit point source yaitu 0,244 dan non point source 0,066 m³/detik, untuk nilai *error*nya yaitu 0,03 m³/detik. Pada titik 4, terjadi peningkatan debit menjadi 3,75 m³/detik dengan tambahan input dari non point source sebesar 0, 0,83 m³/detik, nilai *error* pada segmen ini yaitu 0,42 m³/detik. Pada titik 5, debit bertambah menjadi 5,00 m³/detik dengan tambahan input dari point source berupa saluran drainase sebesar 0,338 m³/detik dan diffuse source limbah domestik sebesar 0,6 m³/detik, didapatkan nilai *error* sebesar 0,21. Selanjutnya, pada titik 6 debit meningkat menjadi 6,14 m³/detik dengan input dari point source saluran drainase sebesar 0,3 m³/detik, dengan nilai *error* 0,25. Pada titik 7, debit mencapai 6,69 m³/detik dengan tambahan dari point source berupa saluran drainase sebesar 0,4 m³/detik dan diffuse source berupa pertanian sebesar 0,6 m³/detik, kemudian nilai *error*nya yaitu 0,19. Titik dengan debit tertinggi adalah titik 8, dengan debit mencapai 7,88 m³/detik, yang disebabkan oleh profil hidrolis sungai yang memiliki kedalaman 1,97 meter dan lebar 16,8 meter. Penampang sungai yang luas memiliki potensi untuk meningkatkan debit sungai karena memiliki kemampuan untuk menampung lebih banyak air. Ini disebabkan oleh kapasitas yang lebih besar dalam

menahan volume air, sehingga dapat mengakomodasi aliran air yang lebih besar. Selain itu, Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya aliran (debit) yaitu karakteristik topografi DAS, bentuk dan ukuran DAS, kemiringan lereng, karakteristik tata guna lahan dan karakteristik geologi. Data curah hujan, yaitu besarnya curah hujan yang terjadi berdasarkan besarnya debit sungai tahunan (Jailani, 2005).

4.3 Kondisi Kualitas Air Sungai

Sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lainnya di dalamnya disebut kualitas air (Sahabuddin et al., 2014). Kualitas air biasanya ditunjukkan oleh kualitas atau kondisi air yang terkait dengan aktivitas atau kebutuhan tertentu. Mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, hasil uji kualitas air dibandingkan dengan baku mutu yang sudah ditetapkan.

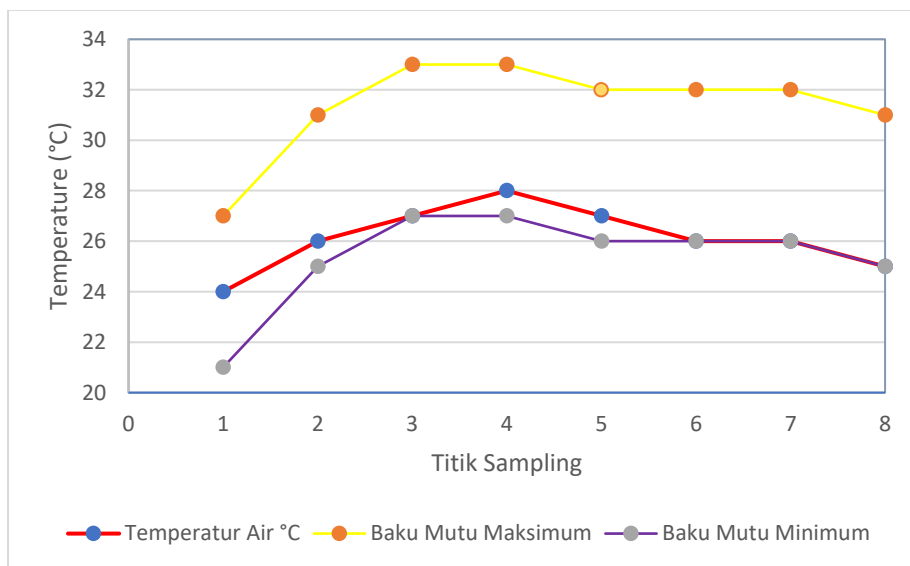
4.3.1 Temperatur Air

Temperatur adalah parameter fisik utama badan air karena memengaruhi reaksi kimia dan laju reaksi, kehidupan akuatik, dan kesesuaian penggunaan air untuk tujuan tertentu (Metcalf and Eddy, 1979). Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi suhu air. Suhu air sungai yang rendah dipengaruhi oleh suhu udara sekitarnya dan intensitas paparan sinar matahari yang masuk ke badan air. Intensitas paparan sinar matahari dipengaruhi oleh penutupan awan, musim, Vegetasi di sekitar sungai dan jumlah sinar matahari yang masuk ke badan air. Selain itu penulis mengambil sample temperatur dari limbah point source yaitu berupa drainase dan limbah industri tahu.

Tabel 4. 3 Data Temperatur Air Sungai Code

Titik	Temperature udara °C	Baku Mutu Maksimum	Baku Mutu Minimum	Temperatur Air
Titik 1	24	27	21	24
Titik 2	28	31	25	26
Titik 3	30	33	27	27
Titik 4	30	33	27	28

Titik	Temperature udara °C	Baku Mutu Maksimum	Baku Mutu Minimum	Temperatur Air
Titik 5	29	32	26	27
Titik 6	29	32	26	26
Titik 7	29	32	26	26
Titik 8	28	31	25	25



Gambar 4. 3 Grafik Temperatur Air Sungai Code

Temperatur air paling besar ada di titik 4 yaitu 28°C ini dikarenakan pengambilan pada siang hari, dan titik terendah ada pada titik 1 yaitu 24°C di kondisi ini tempat sampling mempunyai suhu paling rendah dan masih dalam waktu pagi hari dan di dataran tinggi. Dalam hal ini temperatur Sungai Code memenuhi baku mutu kelas II menurut Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021.

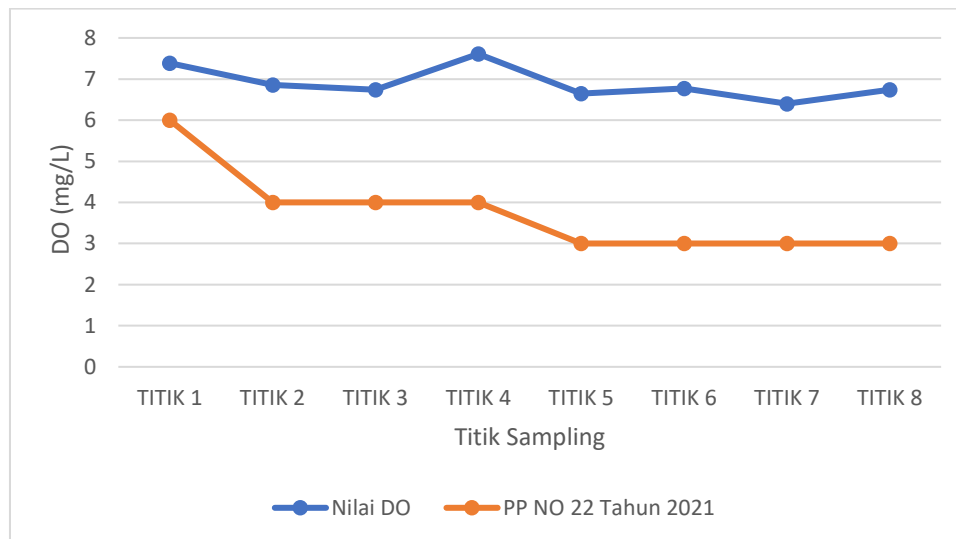
Hubungan antara aktifitas bakteri dan suhu: jika suhu perairan naik 10 °C, kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air meningkat, yang mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen organisme akuatik sekitar 2 hingga 3 kali lipat. Peningkatan suhu bersamaan dengan penurunan kadar oksigen seringkali tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen organisme akuatik untuk respirasi (Effendi 2003).

4.3.2 DO

Jumlah oksigen yang terkandung dalam air dikenal sebagai DO, atau *dissolved oxygen*. Kadar oksigen yang tinggi menunjukkan kualitas air yang baik dan belum tercemar, sedangkan kadar oksigen yang rendah menunjukkan kualitas air yang buruk dan sudah tercemar.

Tabel 4.4 Data DO Sungai Code

TITIK	DO (mg/L)	PP NO 22 TAHUN 2021 (mg/L)	Keterangan DO
TITIK 1	7.39	6	KELAS 1 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 2	6.86	4	KELAS 2 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 3	6.74	4	KELAS 2 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 4	7.61	4	KELAS 2 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 5	6.65	3	KELAS 3 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 6	6.77	3	KELAS 3 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 7	6.4	3	KELAS 3 (SESUAI BAKU MUTU)
TITIK 8	6.74	3	KELAS 3 (SESUAI BAKU MUTU)



Gambar 4.4 Nilai DO Sungai Code

Dengan nilai DO yang lebih tinggi, badan air memiliki kualitas yang lebih baik. Nilai DO kelas II sebesar 4 mg/L dan DO kelas III sebesar 3 mg/L ditetapkan di semua lokasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. DO tertinggi ada di

titik 1 dan titik 4 namun, selisih antar titik tidak signifikan rentangnya berada di nilai 6 mg/L – 7 mg/L .

Nilai *dissolved oxygen* (DO) fluktuatif disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah interaksi antara produksi dan konsumsi oksigen dalam air. Pada siang hari, dengan adanya sinar matahari, tumbuhan akuatik melakukan fotosintesis dan memproduksi oksigen, sehingga tingkat DO meningkat. Namun, pada malam hari atau dalam kondisi kurang sinar matahari, fotosintesis berkurang, dan konsumsi oksigen oleh organisme hidup masih berlanjut, mengakibatkan penurunan DO . Selain itu, tingkat DO juga dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dalam air. Akumulasi bahan organik dapat menyebabkan dekomposisi oleh bakteri, yang pada gilirannya menggunakan oksigen, mengurangi ketersediaan DO (Lukman, 2014).

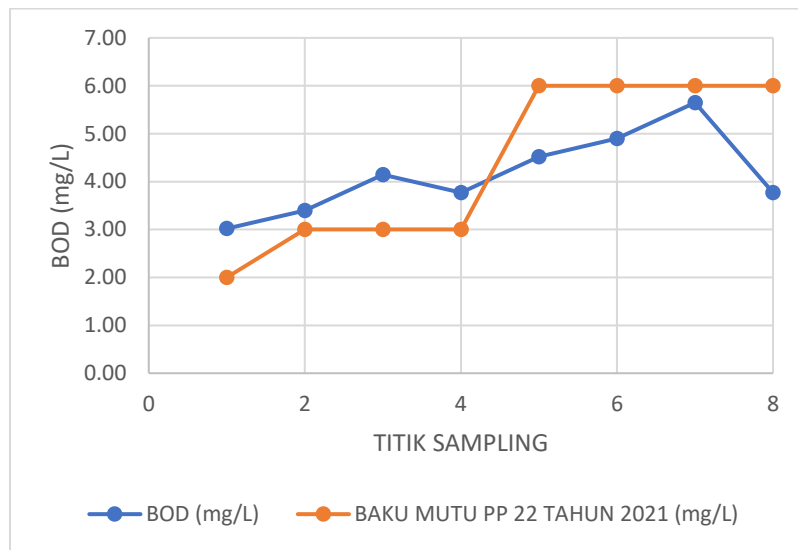
4.3.2 BOD

Tingkat BOD yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air, yang berdampak negatif pada kehidupan akuatik dan kualitas air. Oleh karena itu, mengukur BOD menjadi indikator penting untuk mengelola kualitas air dan pencemaran sungai (Pramudya, 2019). Nilai konsentrasi BOD dalam penelitian ini diperoleh melalui analisis parameter BOD yang dilakukan di laboratorium menggunakan metode titrasi iodometri. Hasil perhitungan BOD disajikan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Data BOD Sungai Code

TITIK	BOD (mg/L)	PP NO 22 TAHUN 2021 (mg/L)	Keterangan BOD
TITIK 1	3.02	2.00	Kelas 1 (Melebihi Baku Mutu)
TITIK 2	3.39	3.00	Kelas 2 (Melebihi Baku Mutu)
TITIK 3	4.15	3.00	Kelas 2 (Melebihi Baku Mutu)
TITIK 4	3.77	3.00	Kelas 2 (Melebihi Baku Mutu)
TITIK 5	4.52	6.00	Kelas 3 (Dibawah Baku Mutu)

TITIK	BOD (mg/L)	PP NO 22 TAHUN 2021(mg/L)	Keterangan BOD
TITIK 6	4.90	6.00	Kelas 3 (Dibawah Baku Mutu)
TITIK 7	5.65	6.00	Kelas 3 (Dibawah Baku Mutu)
TITIK 8	3.77	6.00	Kelas 3 (Dibawah Baku Mutu)



Gambar 4.5 Grafik BOD Sungai Code

Di titik 1 hingga titik 4, menunjukkan bahwa outlet drainase yang terletak tepat sebelum pengambilan sampling berkontribusi pada peningkatan konsentrasi kimia, termasuk BOD, yang terkait. Di sisi lain, di titik 7, terdapat limbah industri tahu yang masuk membuat peningkatan nilai BOD. Sedangkan untuk titik 8 mempunyai nilai BOD yang terkecil karena hanya ada kawasan domestik, pertanian, dan persawahan serta kawasan industri. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 menetapkan baku mutu BOD untuk kelas I adalah 2 mg/L dan kelas II adalah 3 mg/L. Data konsentrasi rata-rata BOD dari titik 1 hingga titik 8 menunjukkan bahwa baku mutu tersebut melampaui batas baku mutu untuk kelas I dan kelas II. Ini menunjukkan bahwa badan air Sungai Code tercemar.

4.4 Sumber Pencemar Sungai Code

Pada setiap segmen sungai, terdapat limbah yang mengalir ke Sungai Code yang berasal dari berbagai sumber pencemar yang beragam. Sumber-sumber ini termasuk saluran drainase, limbah industri skala kecil hingga menengah seperti produksi tahu, limbah domestik, limbah perikanan, dan limbah pertanian. Berbagai jenis sumber pencemar ini telah berperan dalam menyebabkan pencemaran air sungai, dengan setiap sumber memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Dalam penelitian ini, sumber pencemar dibagi menjadi dua jenis, yaitu point source dan diffuse source.

Tabel 4.6 Sumber Pencemar Sungai Code

Segmen	Sumber Pencemar		Konsentrasi BOD(mg/L)	
	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse Source</i>	<i>Point Source</i>	<i>Diffuse Source</i>
1	Saluran Drainase*	Pertanian**	1,52 *	44,61 **
2	Saluran Drainase*	Perikanan**	4,22 *	2,1 **
3	Saluran Drainase*	Limbah Domestik**	4,5 *	16,46**
4	-	Limbah Domestik**	-	28,93 **
5	Saluran Drainase*	Limbah Domestik**	3,85 *	28,07 **
6	Saluran Drainase*	-	4,52*	-
7	Limbah IKM Tahu*	Pertanian**	18,83 *	11,398**

Untuk sumber pencemar diffuse source, tidak ada pengambilan sampel yang dilakukan. Sebaliknya, pendekatan yang digunakan adalah dengan mengestimasi jumlah beban pencemar yang tersebar dari berbagai sumber, sebagaimana dijelaskan oleh (Syahril, 2016) untuk menghitung nilai BOD diffuse source, pendekatan yang digunakan mengacu pada perhitungan potensi beban pencemaran

dan/atau berdasarkan rentang nilai yang diambil dari referensi. Ketika berbicara tentang sumber pencemar limbah pertanian, debit diffuse source diperoleh melalui perhitungan yang menggabungkan luas lahan dengan kebutuhan air untuk area sawah.

Menurut perhitungan potensi beban pencemaran (PBP) di bidang pertanian, ditemukan bahwa konsentrasi BOD mencapai 32,14 mg/L. Sedangkan pada limbah perikanan, debit dihitung berdasarkan volume air yang ada dalam kolam. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Rohman & Laili, 2019)

Pada sumber pencemar *non pointsource* yang berasal dari daerah pertanian, debit diperoleh dari hasil perhitungan luas lahan dikalikan dengan kebutuhan air untuk area sawah. Kebutuhan air irigasi untuk area sawah lahan basah berkisar antara 0,7 – 1,2 l/detik/ha, sedangkan untuk lahan kering berkisar 0,5 – 0,8 l/detik/ha. (Mauliana dkk, 2022) pada penelitian kali ini menggunakan lahan basah. Konsentrasi BOD dalam sektor perikanan berada dalam rentang nilai antara 1,85 hingga 2,12 mg/L, yang didasarkan pada pengamatan parameter lingkungan Abiotik sesuai dengan Standar Kualitas Air berdasarkan PP No. 2 Tahun 2011. Selain itu, berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Fachrurazie, 2005) ditemukan bahwa untuk setiap luasan kolam seluas 100 m², dibutuhkan sebanyak 21 liter air segar per detik untuk menggantikan air di dalam kolam. Proses penggantian air ini harus dilakukan dari bagian dasar kolam karena kualitas air di bagian tersebut diketahui lebih buruk.

Untuk sumber pencemar limbah domestik, dilakukan perhitungan jumlah debit air limbah yang dihasilkan, yang setara dengan 60% (grey water) dari total penggunaan air bersih. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Fadly, 2008) perhitungan debit air limbah dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\text{Debit Air Limbah} = 60\% \times \text{Debit Air Bersih} \times \text{Jumlah Penduduk}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada sumber pencemar diffuse source, debit air limbah dari titik 3 hingga titik 5 adalah masing-masing sebesar 0,066 m³/detik, 0,83 m³/detik, dan 0,6 m³/detik. Sementara itu, konsentrasi limbahnya adalah 16,46 mg/L, 28,93 mg/L, dan 28,07 mg/L

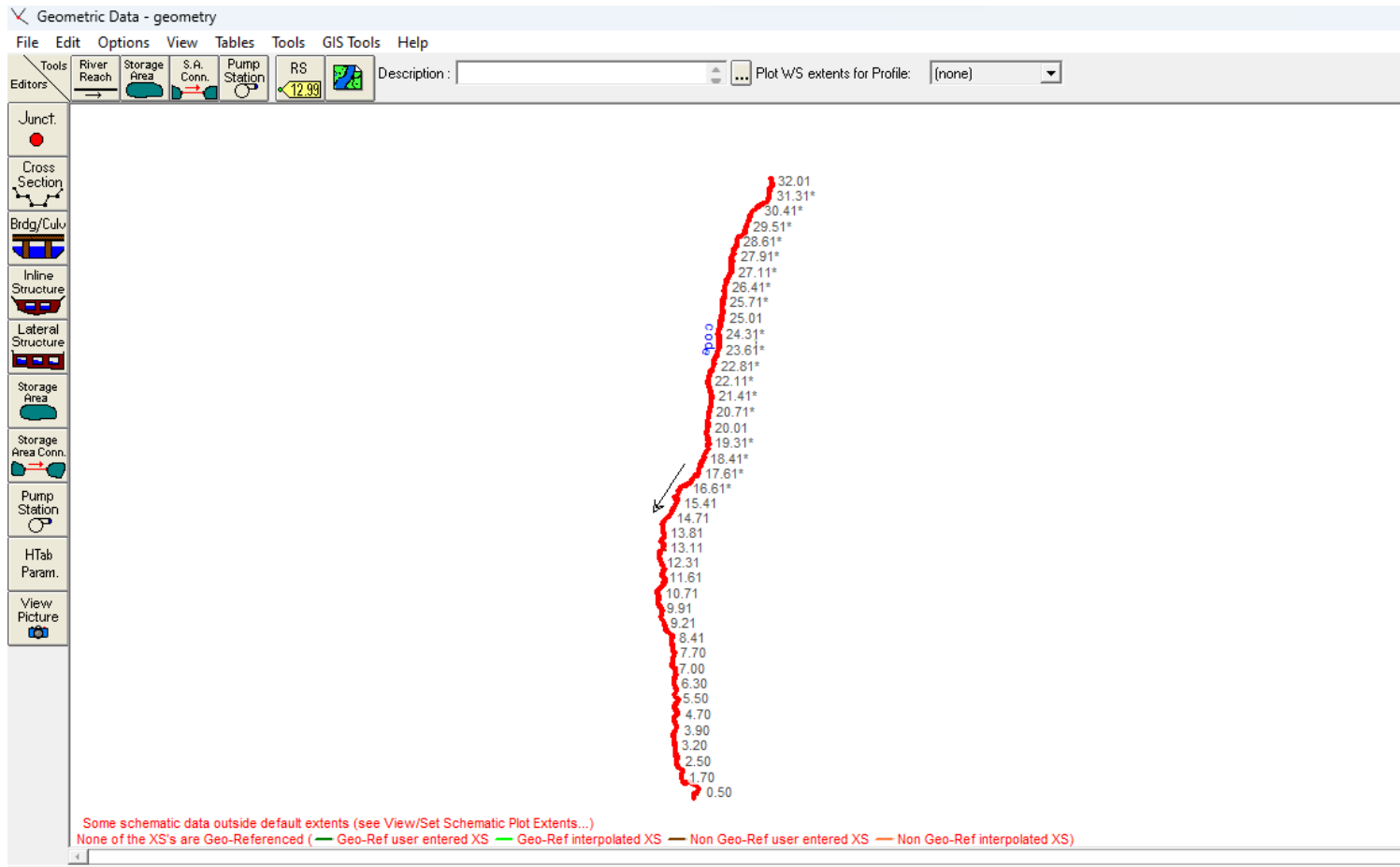
4.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai Dengan HEC-RAS

4.5.1 Model Geometri Pada *Software* HEC-RAS

Untuk mendapatkan bentuk geometris yang tepat di bawah kondisi lapangan, beberapa langkah harus diambil sebelum memulai geometri aliran dengan HEC-RAS. Prosesnya mencakup : Bentuk dan panjang aliran saluran, tampang melintang, tampang memanjang, bendung, serta jembatan.

HEC-RAS menemukan lokasi dengan data geometris. Seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut, titik-titik stasiun sungai (RS) ditemukan di sepanjang Sungai Code. Dalam penelitian ini ada 32,01 penampang terletak di antara stasiun yang berjarak berbeda-beda, dengan batas atas ditandai dengan titik RS kilometer 32,01 dan batas bawah ditandai dengan titik RS kilometer 0.

Untuk menambah stasiun sungai ke panel edit data geometrik, kliklah tombol Edit/Sisipkan data geometrik. Sebelum menambahkan stasiun sungai, klik tombol "*river reach*" di ikon kiri atas, untuk menambahkan panjang dan alur sungai.



Gambar 4.5 River Reach Sungai Code

Dengan mengklik tombol River Reach (ikon kiri-atas), dapat menambah alur saluran sebelum menambah river stasiun. Membuat alur saluran dengan mengklik pada titik-titik di layar editor data geometri. Saluran harus dibuat dari hulu ke hilir dan tidak boleh dibalik. Untuk memulai pembuatan alur, klik sisi tengah atas layar editor geometri data untuk menandai ujung hulu saluran. Kemudian, klik dua kali di sisi tengah bawah layar editor untuk menandai ujung hilir saluran. Jendela layar yang muncul secara otomatis setelah pembuatan alur saluran selesai menampilkan nama sungai Code. Akan ada tanda anak panah kecil untuk menunjukkan arah aliran dan menandai bahwa proses river reach sudah selesai.

4.5.2 Penampang Melintang Dan Memanjang

Tampang melintang HEC-RAS adalah representasi geometris dari batas aliran sungai yang ditempatkan pada interval pendek sepanjang sungai untuk menggambarkan kapasitas aliran dan memperhitungkan perubahan faktor-faktor. Tampang melintang dapat dimasukkan secara manual atau diekstraksi dari data terain. Tampang melintang ini penting untuk membuat model hidrolika yang akurat. (Manual Book HEC-RAS).

Tampang melintang HEC-RAS adalah representasi geometris dari batas aliran sungai yang ditempatkan pada interval pendek sepanjang sungai untuk menggambarkan kapasitas aliran dan memperhitungkan perubahan faktor-faktor. Tampang melintang dapat dimasukkan secara manual atau diekstraksi dari data terain. Digunakan data sekunder dalam pengesian penampang, data sekunder dari BBWS berupa gambar file AUTOCAD yang kemudian penulis ekstraksi kedalam file excel agar mempermudah pemasukannya tiap data. Setiap penampang di identifikasikan sebagai River station. Berikut adalah cara memasukan penampang ke software HEC-RAS :

1. Klik jendela cross section pada bagian toolbars geometri.
2. Kemudian add new cross section, dan menuliskan tampang melintang "0" untuk memulai dan menandai penampang hilir.
3. Lalu kemudian mengisi data station (jarak) dan elevation (elevasi) dari RS Km 0 hingga RS Km 32,01.

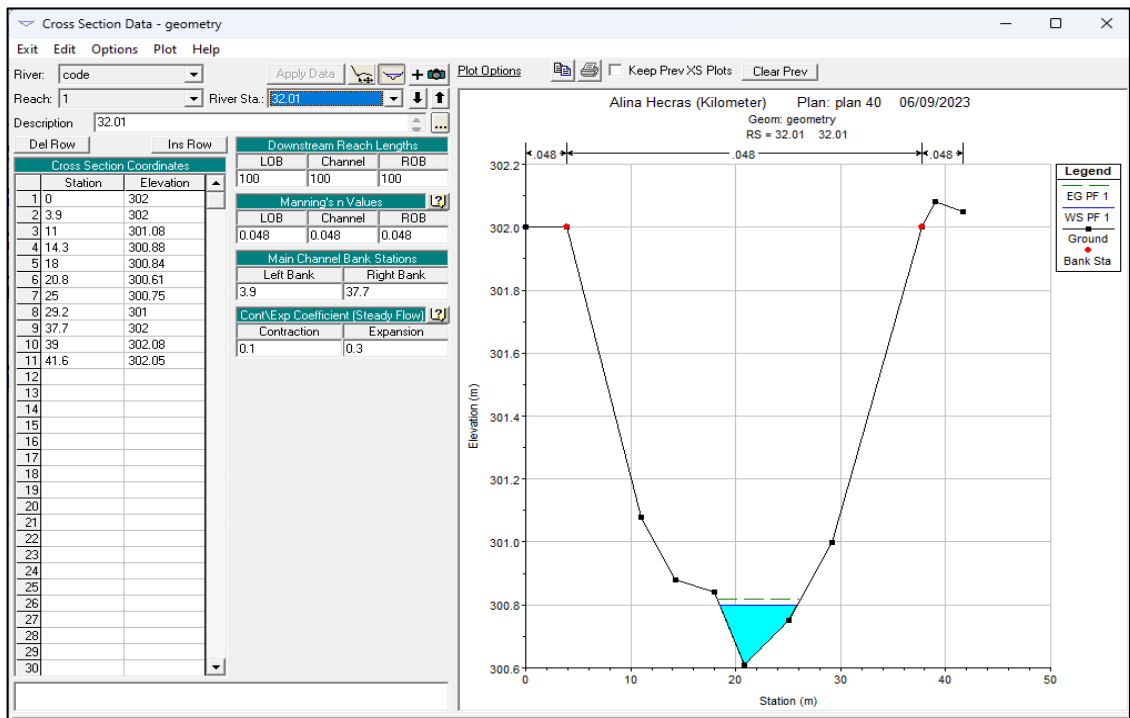
4. Mengisi data jarak antar tampang satu dengan tampang lain disisi hilirnya (downstream reach lenght), yaitu jarak antar bantaran kiri (left overbank, LOB), jarak antar alur utama (main channel, Channel), dan jarak antar bantaran kanan (right overbank, ROB) dari RS Km 0 hingga RS Km 32,01.
5. Terakhir klik apply data.

Pengisian dilakukan hingga Km 32,01 cross section, Km 32,01 cross section ini meliputi penampang dari titik hulu hingga hilir Sungai Code. Kemudian *Running* dilakukan dengan nilai koefisien kekasaran Manning minimum, dan plot *cross-section* tiga dimensi berulang dievaluasi untuk melihat apakah telah sesuai dengan kondisi lapangan. Jika belum sesuai dengan kondisi di lapangan dilakukan koreksi ulang pada bagian koefisien manning. Pada tabel berikut adalah nilai koefisien manning yang digunakan sesuai dengan kondisi di lapangan.

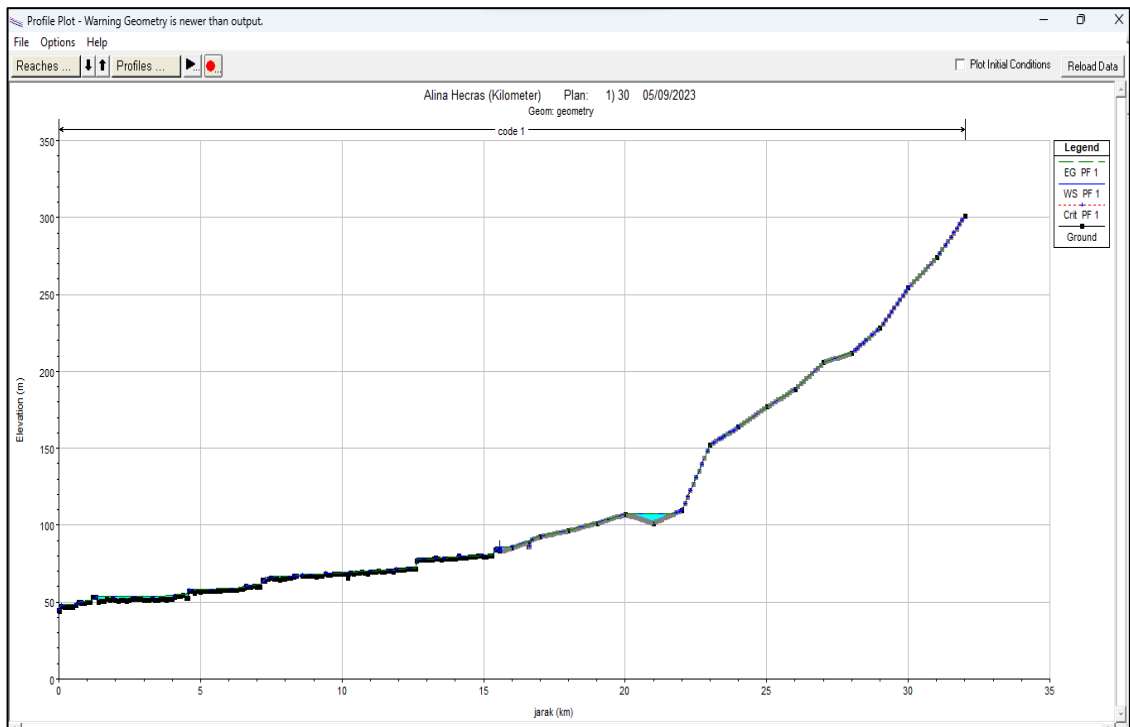
Tabel 4.7 Nilai Koefisien Manning Terpakai

No	River station	Left Of Bank	Channel	Right Of Bank
1	396	0.048	0.048	0.048
2	244	0.048	0.048	0.048
3	183	0.048	0.048	0.048
4	170	0.048	0.048	0.048
5	165	0.048	0.048	0.048
6	154	0.048	0.048	0.048
7	67	0.048	0.048	0.048
8	0.24	0.048	0.048	0.048

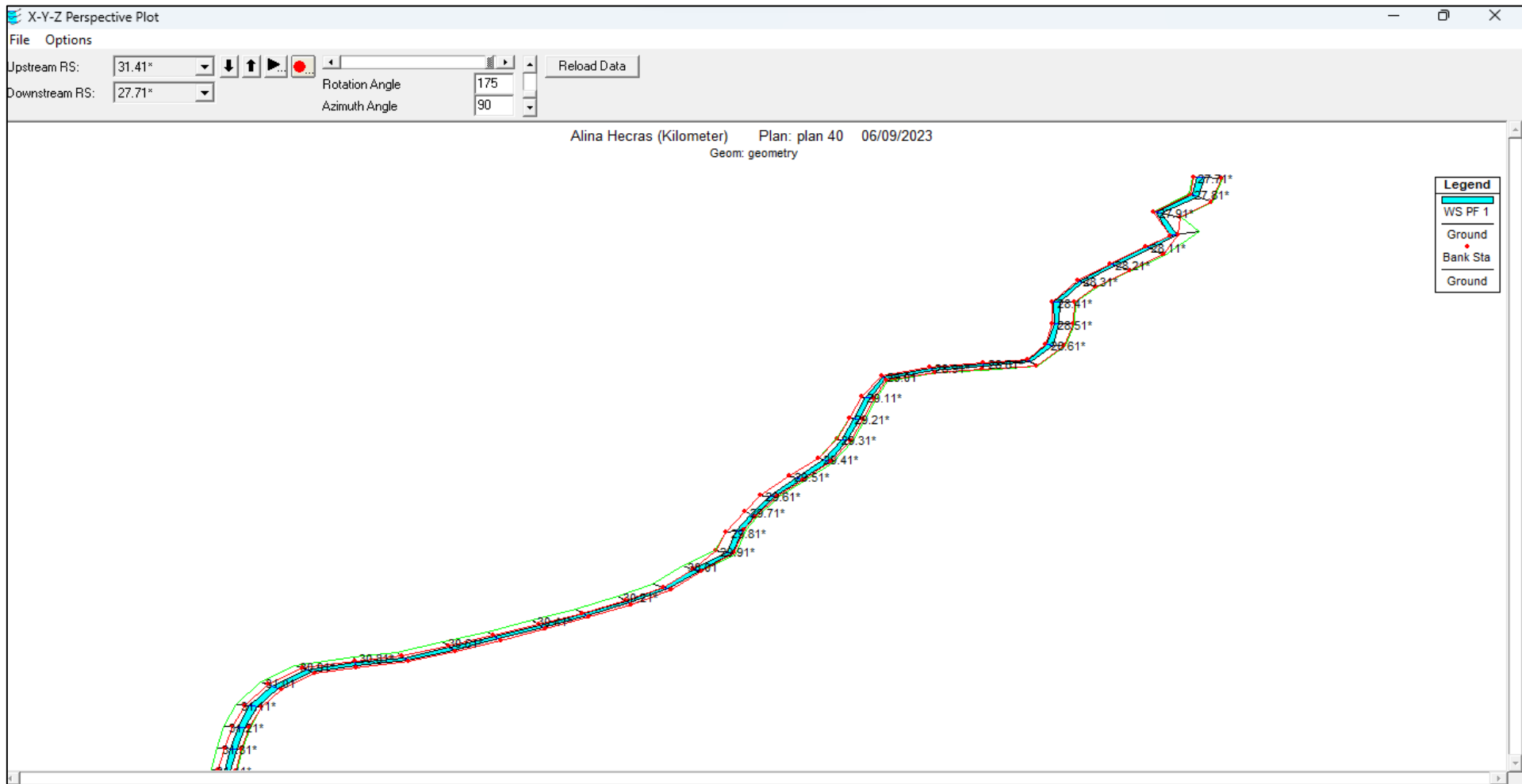
Gambar dibawah ini adalah contoh masukan data tampang melintang dan memanjang Sungai Code pada bagian hulu, tengah, dan hilir.



Gambar 4. 6 Pemasukan Penampang Melintang Sungai Code



Gambar 4. 7 Profil Memanjang Sungai Code



Gambar 4. 8 Profil X,Y,Z Sungai Code

4.5.3 Jembatan Dan Bendung

Karena tidak semua bangunan di daerah penelitian ini mempengaruhi perubahan dimensi penampang sungai, hanya 1 dari 14 jembatan yang dimodelkan. Jembatan yang mempengaruhi adanya perubahan dimensi adalah jembatan yang mempunyai pilar, setelah dilakukan survey terdapat 1 jembatan berpilar di Sungai Code yaitu Jembatan Tungkak. Sedangkan untuk bendung di Sungai Code ada 4 bendung yaitu di Bendung Mergangsan, Bendung Tungkak, Bendung Sorogenen, Bendung Bakung Kaloran. Pada saat pengisian data jembatan dan bendung diperlukan nilai Koefisien weir, *weir coef* di HEC-RAS digunakan untuk menggambarkan karakteristik geometri bangunan pelimpah (weir) dalam analisis aliran sungai. Koefisien ini menentukan hubungan antara ketinggian air dan debit aliran di atas pelimpah. Dengan menentukan nilai *weir coef* yang tepat, HEC-RAS dapat menghitung dan memprediksi perilaku aliran sungai melintasi pelimpah dengan akurasi yang lebih baik. Nilai *weir coef* mempunyai rentang 2.5 – 3.1. Berikut adalah data-data yang diperlukan untuk pengisian Jembatan dan Bendung.

Tabel 4. 8 Data Bendung Sungai Code

No	River station	Nama Lokasi	Jarak	Panjang pintu air	Stasiun	Elevasi	Weir coef
1	Km 16,59	Bendung Mergangsan	1.4	6.3	4.6	89	1.4
					20.8	89	
2	Km 15,49	Bendung Tungkak	16.08	7.1	13.5	85.3	1.4
					48	85.3	
3	Km 4,58	Bendung Sorogenen	15.35	6.1	35.67	57.14	1.4
					78.52	57.14	
4	Km 0,78	Bendung Bakung	12.5	5.9	53.5	50.19	1.4
					69.7	50.19	

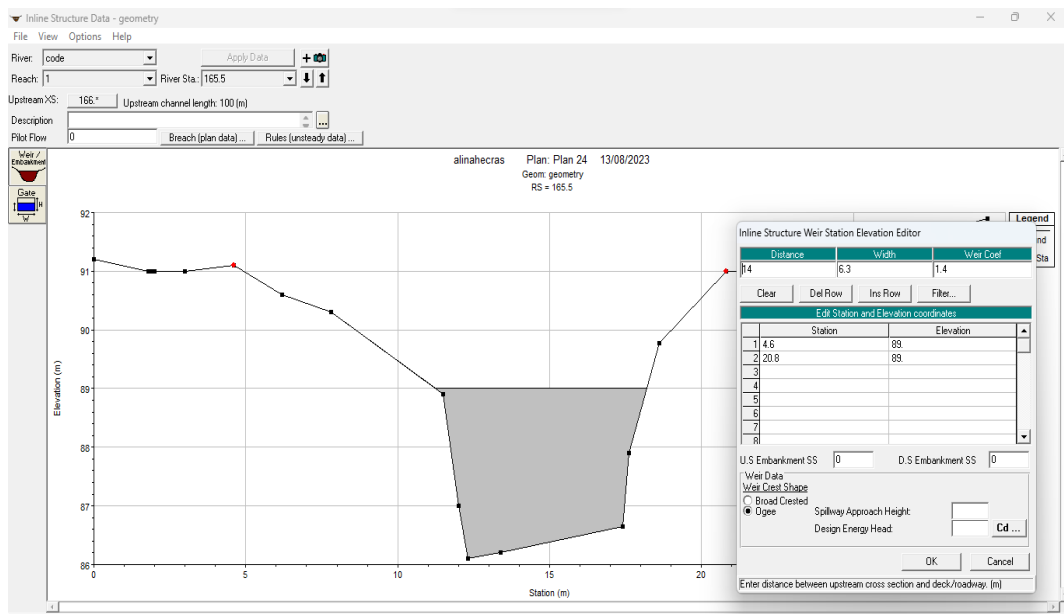
Tabel 4. 9 Data Jembatan Sungai Code

River Station	Jarak	Lebar Jembatan	Deck Upstream			Deck Downstream			Pilar			
			Station	High cord	Low cord	Station	High cord	Low cord	Upstream		Downstream	
									Tebal pilar	elevasi	Tebal pilar	Elevasi
Km 15,57	36.5	15	0	88.87	86.57	0	89.76	87.46	1.2	83	1.2	84.39
			46.63	88.87	86.57	57.5	89.76	87.46	1.2	85.57	1.2	87.46

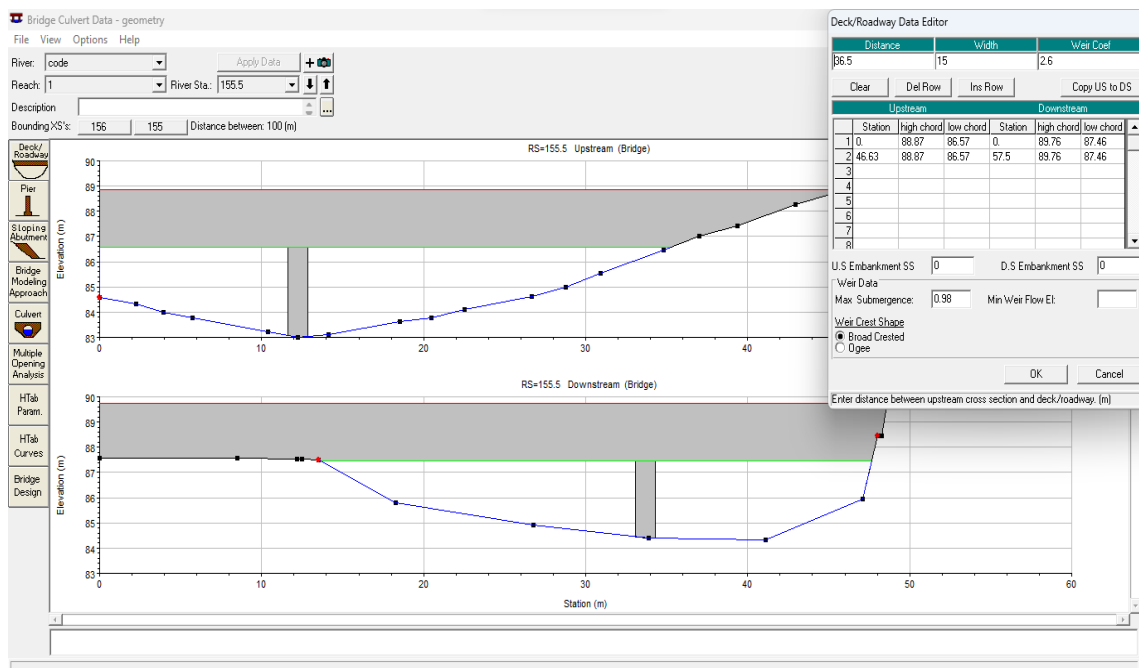
Langkah-langkah dalam pemasukan data jembatan dan bendung berbeda, perbedaan terletak pada toolbars geometri, jika jembatan klik *Bridges and culverts*, namun jika bendung klik *inline structure*. Cara-cara untuk memasukan data jembatan yaitu :

1. Pada bagian kiri layar klik tombol edit and/or creat bridges and culverts.
2. Mengaktifkan *river* : Code, lalu pada option klik *add bridge and/or culverts* tuliskan nama jembatan.
3. Klik *deck /roadway* unuk mengisi data jarak lantai dari tampang lintang hulu dan lebar lantai yang didapatkan dari hasil pengukuran lapangan.
4. Kemudian masukan data elevasi lantai jembatan sisi atas dan bawah.
5. Pilih *pier* untuk measukan data pilar
6. Masukan data *centerline station*, tebal pilar, dan elevasi pilar.

Sedangkan untuk jembatan cara untuk memasukan data dapat klik bagian kiri layar pilih *inline structure*, kemudian masukan pada pada *weir/embankment*, kemudian isikan data jarak, panjang pintu air, stasiun, elevasi, dan koefisien weir. Berikut ini dapat dilihat contoh masukan data bendung dan jembatan Sungai Code.



Gambar 4. 9 Maukan Data Bendung Km 16,59

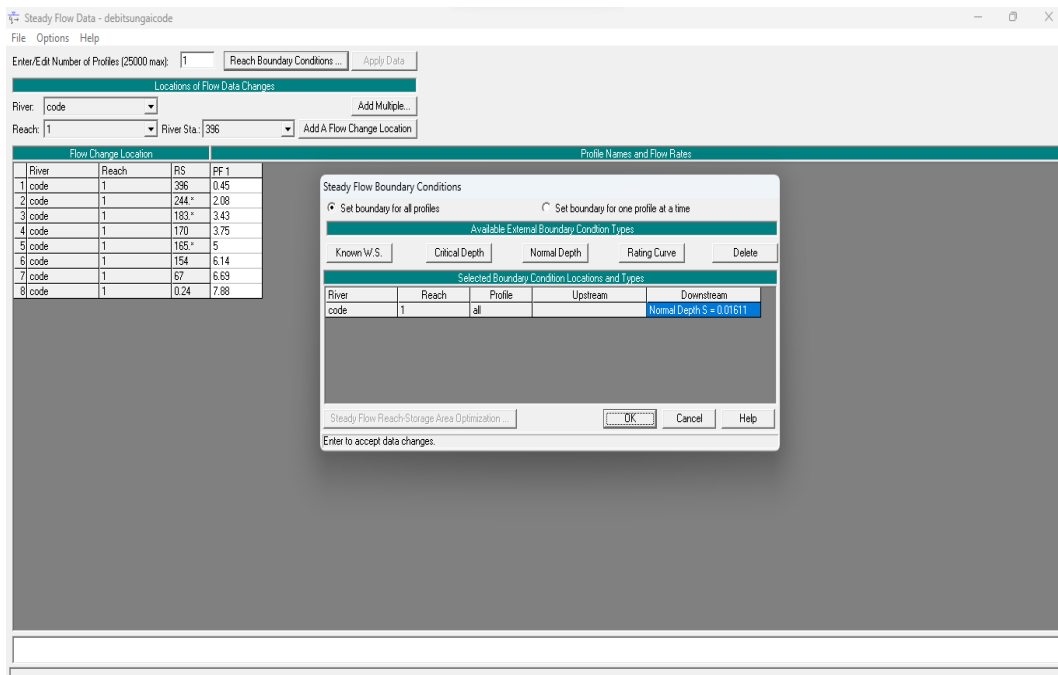


Gambar 4. 10 Masukan Data Jembatan Km 15,57

4.5.4 Peniruan Hidraulika

Simulasi aliran di HEC-RAS dapat digunakan untuk memodelkan dan menganalisis aliran sungai atau aliran air dalam saluran terbuka. Simulasi dapat memprediksi pola aliran, kondisi banjir, tinggi muka air, kecepatan aliran, dan variasi parameter hidrologi dan hidraulik lainnya. Pada kali ini simulasi aliran menggunakan *steady flow simulation*. Debit aliran yang digunakan pada *initial condition* dimasukkan dengan data lapangan yang didapat, kemudian untuk bagian boundary kondisi *upstream* dan *downstream* yaitu data kedalaman normal (normal depth). Untuk normal depth sendiri memiliki nilai 0.01611 m.

Pemasukan data dimulai dengan mengklik tombol *edit/ enter steady flow data*. Lalu mengisi angka 1 pada *enter/edit number of profiles* dikarenakan hanya ada satu profil muka air yang dihitung. PF1 merupakan kolom tempat nilai debit dimasukkan. Pemasukan nilai debit sesuai dengan *river station* masing-masing. Setelah itu klik tombol *reach boundary condition* untuk memasukan nilai *normal depth* pada *downstream*. Setelah semua data diisi mengklik tombol *apply data* dan *save data*. Berikut dapat dilihat contoh pemasukannya pada Gambar 4.9



Gambar 4. 11 Pemasukan Data *Steady Flow*

4.5.5 *Boundary Condition Water Quality*

Ketika memasukan boundary condition di peniruan kualitas, langkah pertama klik panel water quality di edit/or enter, kemudian Klik WQ Consituent yang akan dipilih yaitu water temperature dan NSM (Nutrien simulation model). Setelah itu dapat memasukan boundary condition.

Boundary condition ini untuk memasukkan data syarat awal dan batas adalah langkah pertama dalam peniruan kualitas air. Temperatur air, konsentrasi kualitas maupun beban pencemar DO, dan konsentrasi BOD yang didapatkan di lapangan akan dimasukkan. Pada penelitian ini, pengaruh phosporus, algae, dan oksidasi nitrogen diabaikan atau dapat dituliskan angka 0 pada pengisiannya, agar tidak terjadi eror saat running program.

Lokasi kondisi batas yang diperlukan ditentukan dari keluaran model hidraulik dari keluaran model. Kondisi Batas pada navigasi akan menampilkan daftar lokasi kondisi batas yang diperlukan dengan ikon-ikon yang spesifik untuk setiap jenisnya:

- ▽ Batas hulu (aliran positif melintasi batas)

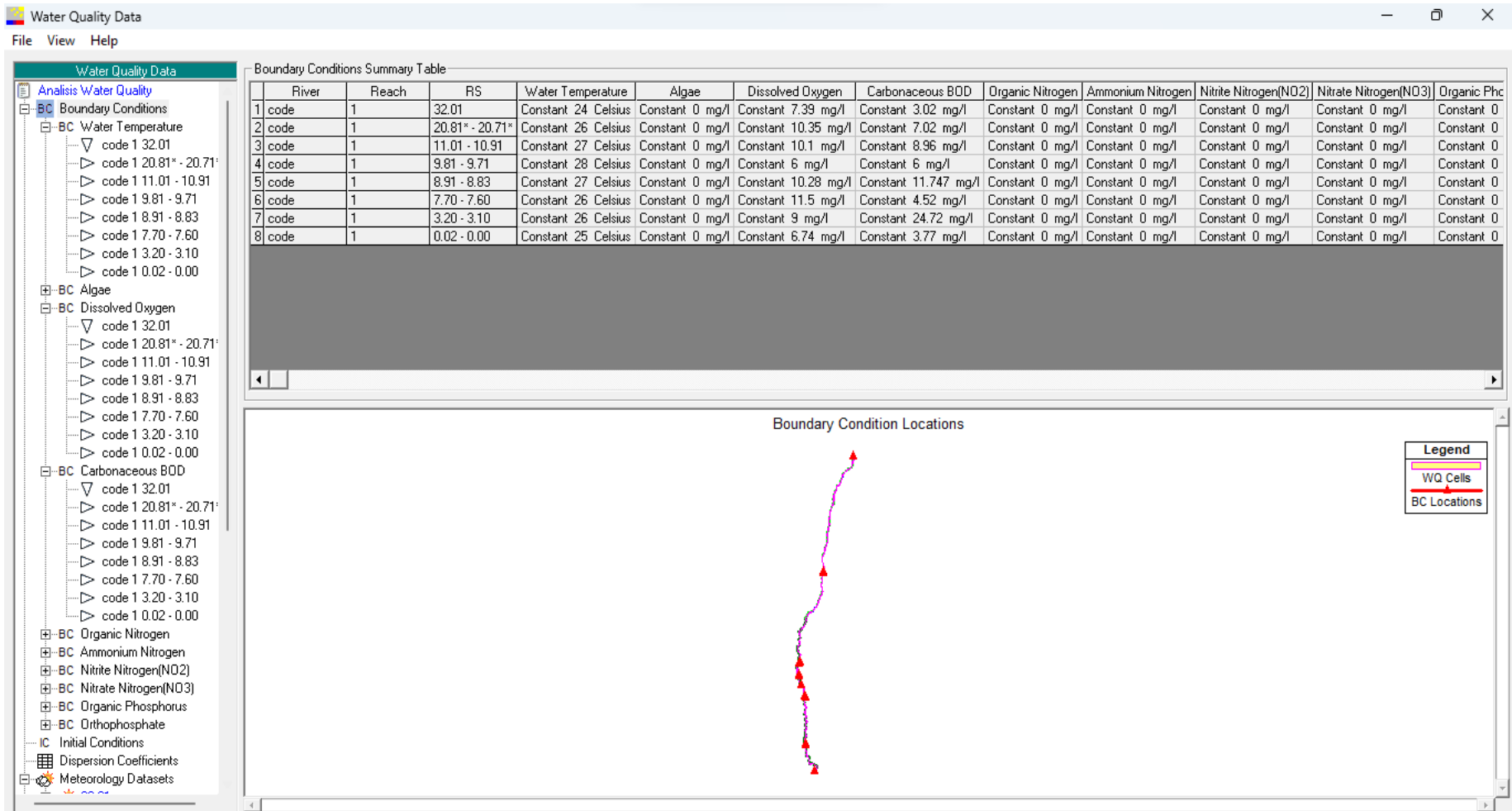
- ▶ Aliran masuk lateral (aliran ke dalam sel kualitas air yang tidak berada di batas)

Pemasukan data ini untuk bagian hulu RS Km 32,01 dimasukkan data kualitas air sedangkan untuk kondisi lateral dimasukkan nilai beban pencemar yang masuk. Pada tabel di bawah ini adalah data-data yang dimasukkan.

Tabel 4.10 Data Boundary Condition Water Quality

River Station	Temperatur °C	Konsentrasi BOD (mg/L)	Konsentrasi DO (mg/L)
Km 32,01	24	3.02	7.39
Km 20,71	26	4.22	5.85
Km 10,91	27	4.46	5.60
Km 9,71	28	3.77	7.61
Km 8,83	27	3.85	5.78
Km 7,60	26	4.52	7.00
Km 3,10	26	18.83	4.50
Km 0	25	3.77	6.74

Berikut adalah gambaran pemasukan data-data boundary condition pada HEC-RAS.



Gambar 4.12 Masukan Data Boundary Condition

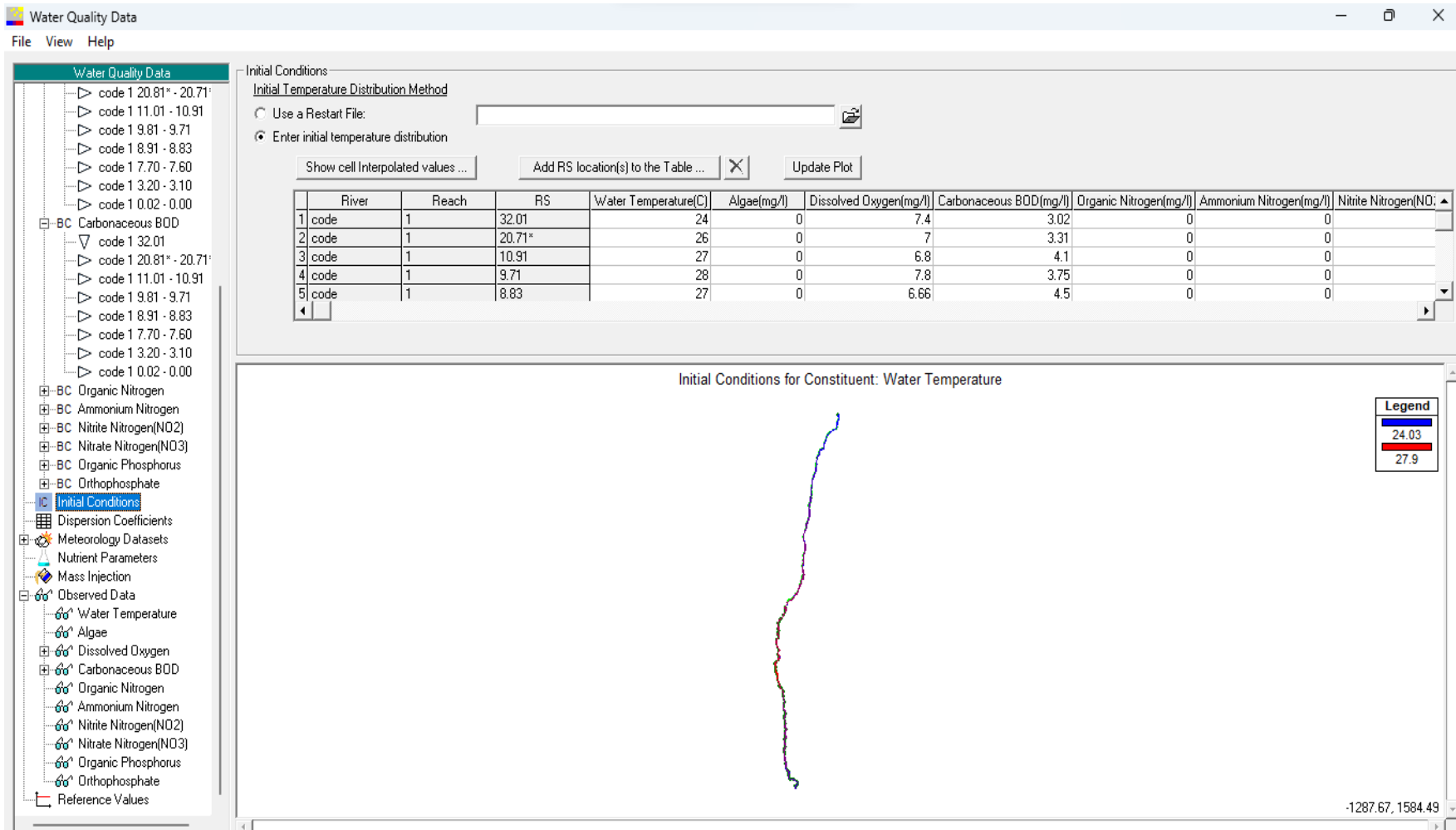
4.5.6 Initial Condition

Initial condition mengacu pada kondisi hidrologi awal atau kondisi sungai pada saat simulasi dimulai. Initial condition dapat di klik di bawah *boundary condition*, sebelum itu perlu dimasukkan lokasi tinjauan data dengan klik *add RS location to the table*, selanjutnya pilih RS. Nilai initial condition dimasukkan pada kolom temperatur, DO, dan BOD untuk parameter lainnya isikan angka 0 agar tidak terjadi eror saat *running program*.

Tabel 4.11 Data *Initial Condition*

River Station	Temperatur °C	Konsentrasi BOD (mg/L)	Konsentrasi DO (mg/L)
Km 32,01	24	3.02	7.39
Km 20,71	26	3.39	6.86
Km 10,91	27	4.15	6.74
Km 9,71	28	3.77	7.61
Km 8,83	27	4.52	6.65
Km 7,60	26	4.90	6.77
Km 3,10	26	5.65	6.40
Km 0	25	3.77	6.74

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat contoh pemasukan data *initial condition* pada *software* HEC-RAS.



Gambar 4.13 Masukan Data *Initial Condition*

4.5.7 Koefisien Dispersi

Dalam HEC-RAS, koefisien dispersi adalah parameter yang menunjukkan penyebaran atau dispersi suatu bahan, seperti sedimen atau polutan, di dalam aliran sungai. Koefisien dispersi mempengaruhi laju penyebaran dan pergerakan bahan di dalam aliran sungai. Nilai koefisien dispersi dapat berbeda-beda tergantung pada karakteristik sungai dan jenis bahan yang dipelajari. Nilai koefisien dispersi di titik-titik pengukuran ditentukan dengan pendekatan persamaan dispersi (rumus perhitungan).

Contoh perhitungan pada RS Km 32,01 :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan geser (u}^*) &= \sqrt{g \cdot h \cdot sf} \\ &= \sqrt{0,81 \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 0,019134} \\ &= 0,1677 \end{aligned}$$

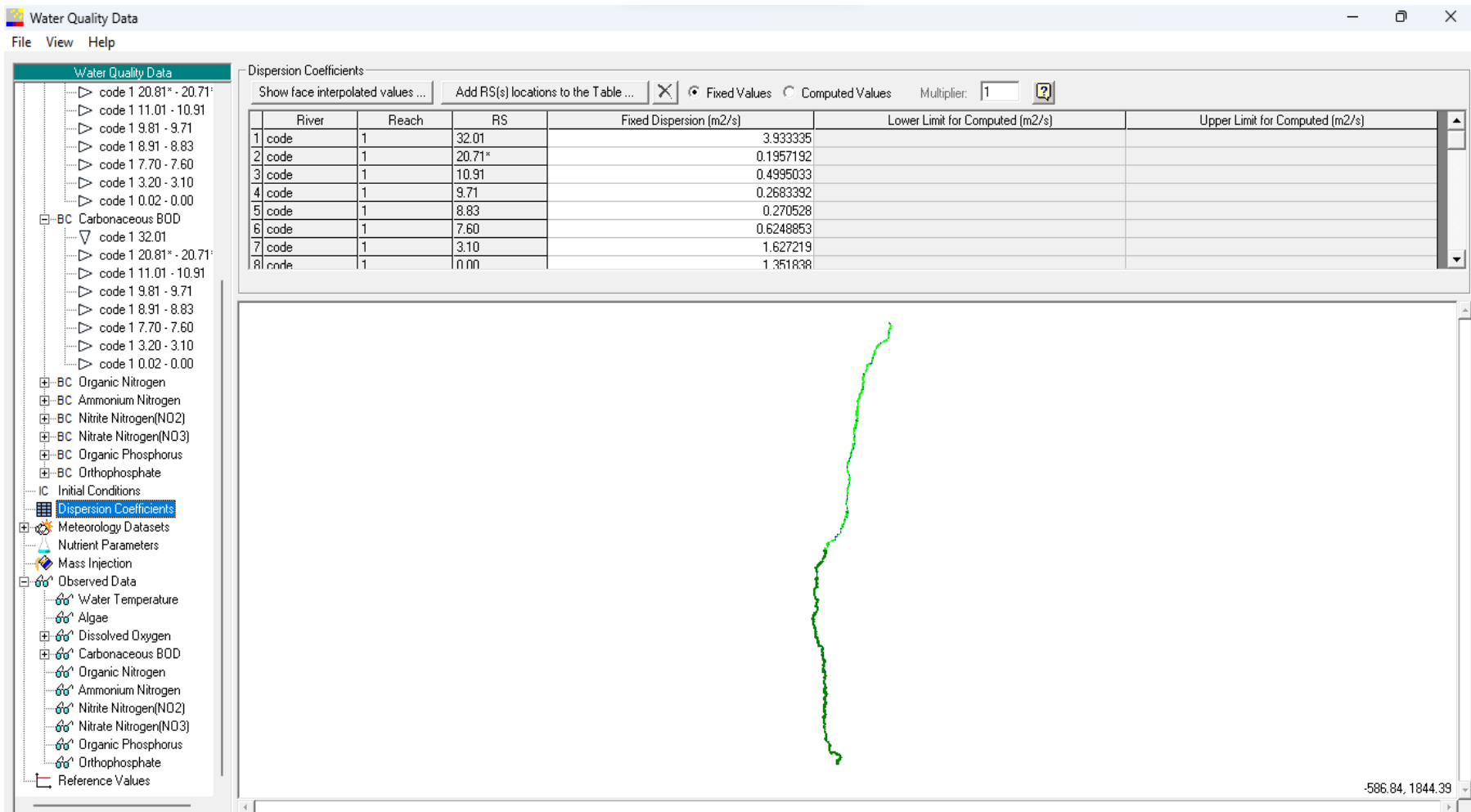
$$\text{Koefisien dispersi} = 0,011 \frac{B^2 U^2}{h u^*}$$

$$\text{Koefisien dispersi} = 0,011 \frac{6^2 \times 0,5^2}{0,15 \times 0,1667}$$

$$\text{Koefisien dispersi} = 3,933335$$

Tabel 4.12 Data Koefisien dispersi

River station	Kedalaman (m)	Lebar (m)	Kecepatan aliran	Kecepatan geser (u*)	Koefisien dispersi
Km 32,01	0.15	6.00	0.50	0.17	3.93
Km 20,71	0.9	13.98	0.17	0.33	0.20
Km 10,91	1.03	23.85	0.14	0.24	0.50
Km 9,71	1.25	20.04	0.15	0.30	0.27
Km 8,83	1.5	18.50	0.18	0.30	0.27
Km 7,60	1.2	18.93	0.27	0.38	0.62
Km 3,10	1.68	11.40	0.35	0.06	1.63
Km 0	1.97	16.80	0.24	0.07	1.35



Gambar 4. 14 Masukan Data Koefisien Dispers

4.5.8 Data Meteorologi

Data meteorologi di dapat langsung di lapangan pada saat sampling. Untuk memodelkan bagaimana kondisi meteorologi memengaruhi aliran sungai; data ini meliputi informasi seperti curah hujan, suhu udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara. HEC-RAS dapat menghasilkan simulasi yang lebih realistis dan menggambarkan bagaimana cuaca memengaruhi aliran sungai dan genangan air.

Langkah pertama pemasukan data meteorologi yaitu dengan memasukan *add rivers station* untuk memilih lokasi pemantauan meteorologi, kemudian diisi dengan *station location* yang berisi *reference elevation, latitude, longitude*, dan zona waktu yang digunakan, selanjutnya dapat dimasukkan seperti *atmospheric pressure, air temperatur, humidity, short wave radiation, cloudiness, dan wind speed*.

Tabel 4.13 Data Meteorologi RS Km 32,01

Data Meteorologi	Satuan	16 Januari 2023
a. Atmospheric	Atm	1
b. Air temperature	Celcius	24
c. Humidity	%RH	92
d. Short wave radiation	w/m ²	7
e. Cloudness	Fraction	0,5
f. Wind Speed	m/det	2,08
'a' coef	10E-6	0,5
'b' coef	10E-6	1,5
'c' coef	10E-6	1

4.5.9 Data Observasi

Data observasi adalah langkah terakhir dalam memasukkan data water quality di HEC-RAS. Data observer ini dapat digunakan untuk memvalidasi dan membandingkan hasil model dengan data lapangan yang sebenarnya. Pemasukkan data observer dengan cara memilih stasiun atau titik yang tepat, kemudian masukkan data observer yang merupakan data hasil olahan sampe dari lapangan. Ini bisa dilakukan yaitu dengan menambahkan lokasi pemantauan, Untuk menambah RS, klik menu baru pada layar data yang diamati dan pilih RS yang akan digunakan. Langkah terakhir adalah memasukkan data yang diamati ke RS, yang

telah disertakan pada langkah sebelumnya. Model pemasukan data yang dipilih adalah nilai konstan dengan satuan yang diatur pada menu unit karena data yang dimasukkan adalah data tunggal.

Dalam proses pemodelan, data yang diamati ini berfungsi sebagai referensi. Mungkin dikatakan bahwa pemodelan kualitas air penelitian ini telah berhasil karena sesuai dengan kondisi di lapangan jika hasil simulasi sesuai dengan data yang diamati. Running program ini dilakukan ketika semua data-data dimasukkan kedalam panel pengisian *water quality*, ketika hasil model belum sesuai maka diperlukan kalibrasi.

Tabel 4. 14 Data Observer

River Station	BOD (mg/L)	DO (mg/L)
Km 32,01	3.02	7.39
Km 20,71	3.39	6.86
Km 10,91	4.15	6.74
Km 9,71	3.77	7.61
Km 8,83	4.52	6.65
Km 7,60	4.90	6.77
Km 3,10	5.65	6.40
Km 0	3.77	6.74

4.5.10 Kalibrasi dan Validasi Model

4.5.10.1 Kalibrasi

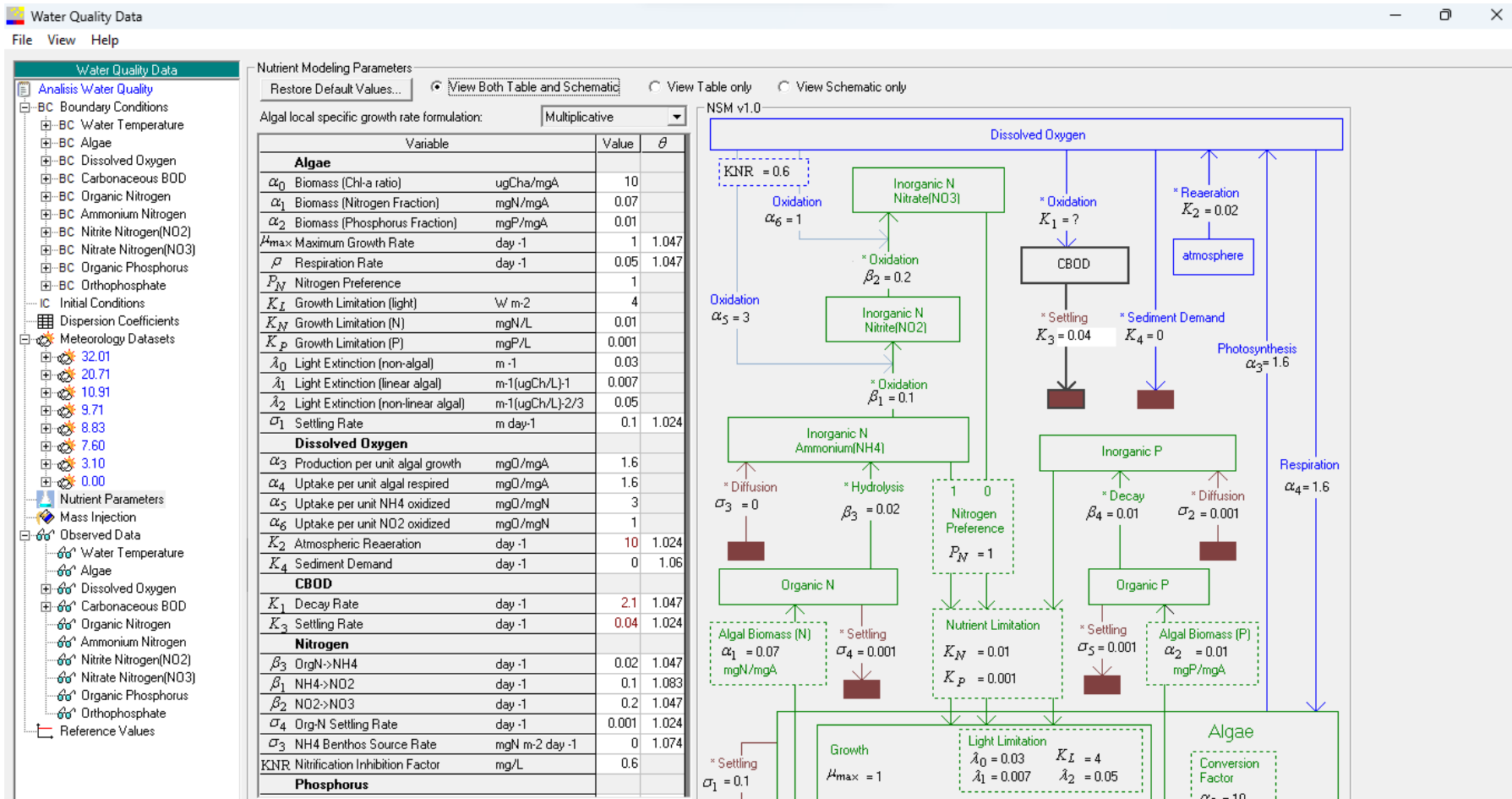
Setelah dilakukan *running program water quality*, hasil permodelan dan data sekunder akan berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan kalibrasi, yang berarti mengubah beberapa variabel, sampai hasil permodelan sesuai dengan keadaan di lapangan. Tiga variabel mempengaruhi pengaturan konfigurasi model kualitas air HEC-RAS untuk parameter BOD. Mereka adalah tingkat oksidasi (K_{bod}), konstanta pengurangan separuh saturation oksigen untuk oksidasi COBD (k_{sOxbod}), dan tingkat sedimentasi (k_{sbod}). Sedangkan untuk parameter DO ada 6 untuk konfigurasi kalibrasi yaitu : *production per unit algae growth, uptake per unit*

algal respired, uptake per unit NH4 oxidized, uptake per unit NO2 oxidized, atmospheric reareation, dan sediment demand.

Setelah mencoba mengubah nilai untuk masing-masing parameter, penulis kemudian menemukan parameter yang dapat mempengaruhi perubahan hasil permodelan secara signifikan, yang dapat dilihat dari grafik hasil permodelan. Mereka menemukan bahwa tiga variabel, yaitu tingkat oksidasi dan sedimentasi untuk parameter BOD, mempengaruhi hasil permodelan secara signifikan. *Decay rate* (K_1) merupakan koefisien degradasi BOD yang dipengaruhi oleh elemen lingkungan, termasuk efek utama bakteri pengurai dan kecepatan endap partikel. Perlu adanya trial dan error seperti nilai K_1 dinaikkan sebesar kelipatan 0,01 hingga bentuk grafik hasil running sesuai dengan data hasil observasi. Setelah itu, nilai K_3 dicoba dengan cara yang sama seperti nilai K_1 , hingga grafik hasil running lebih dekat dengan data hasil observasi. Pada panduan *buku manual user* di HEC-RAS dijelaskan bahwa rentang nilai K_2 yaitu 0-100, sedangkan untuk K_1 yaitu 0.02- 3.4, dan untuk K_3 yaitu -0,36 – 0,36.

Tabel 4.15 Nilai Koefisien untuk Simulasi BOD dan DO

Parameter nutrisi	Satuan	23 Februari 2023
BOD		
K_1 (Decay rate)	Hari ⁻¹	2.1
K_3 (Settling rate)	Hari ⁻¹	0.04
DO		
K_2 (atmospheric reaeration)	Hari ⁻¹	10



Gambar 4. 15 Pemasukan Nutrien parameter

4.5.10.2 Validasi

Tujuan validasi model adalah untuk menghitung nilai error model dan mengetahui seberapa akurat data model dan data lapangan. Validasi data debit dilakukan dengan menggunakan RMSPE, yang merupakan akar kuadrat dari kesalahan mean kuadrat, yang merupakan salah satu kelebihan dari RMSPE adalah bahwa itu mewakili kinerja model lebih baik daripada MAE (*Mean Absolute Error*).

$$RMSPE = \left(\frac{\sum (y_i - y^{\wedge}_i)}{n} \right) \times 100\%$$

Keterangan :

- RMSPE : Nilai *root mean square percent error*
- y : Nilai hasil observasi
- y[^] : Nilai hasil prediksi
- i : Urutan data pada database
- n : Jumlah data

Tabel 4.16 Nilai RMSPE BOD

Titik	lapangan (1)	Model (2)	$\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})^2}{\text{model}}$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\sum(3)] \times 100\%)}$
1	3,02	3,04	$2,8 \times 10^{-5}$	5%
2	3,39	3,41	$2,8 \times 10^{-5}$	
3	4,15	4,03	$9,6 \times 10^{-4}$	
4	3,77	4,01	$3,6 \times 10^{-3}$	
5	4,52	4,63	$5,9 \times 10^{-4}$	
6	4,90	4,91	2×10^{-5}	
7	4,95	5,58	$1,2 \times 10^{-2}$	
8	3,90	4,03	$9,6 \times 10^{-4}$	
Jumlah			$1,8 \times 10^{-2}$	

Tabel 4.17 Nilai RMSPE DO

Titik	lapangan (1)	Model (2)	$\frac{(\text{lapangan}) - (\text{model})}{\text{model}}$ (3)	RMSPE $\sqrt{\frac{1}{8}([\Sigma(3)] \times 100\%)}$
1	7.39	7.38	$1,8 \times 10^{-6}$	4%
2	6.86	7.00	$3,8 \times 10^{-4}$	
3	6.74	7.13	$2,9 \times 10^{-3}$	
4	7.61	7.14	$4,2 \times 10^{-3}$	
5	6.65	6.71	$8,8 \times 10^{-5}$	
6	6.42	6.78	$2,7 \times 10^{-3}$	
7	6.67	6.48	$8,4 \times 10^{-5}$	
8	6.74	6.72	1×10^{-4}	
Jumlah			$1,1 \times 10^{-2}$	

Model dapat diterima dan digunakan jika nilai RMSPE dibawah 50% (Deksissa Chuco, 2004). Semakin kecil nilai RSMPE, semakin baik kualitas peramalan yang dihasilkan oleh model. Dengan demikian nilai RSMPE BOD dan DO pada tabel diatas dapat diterima.

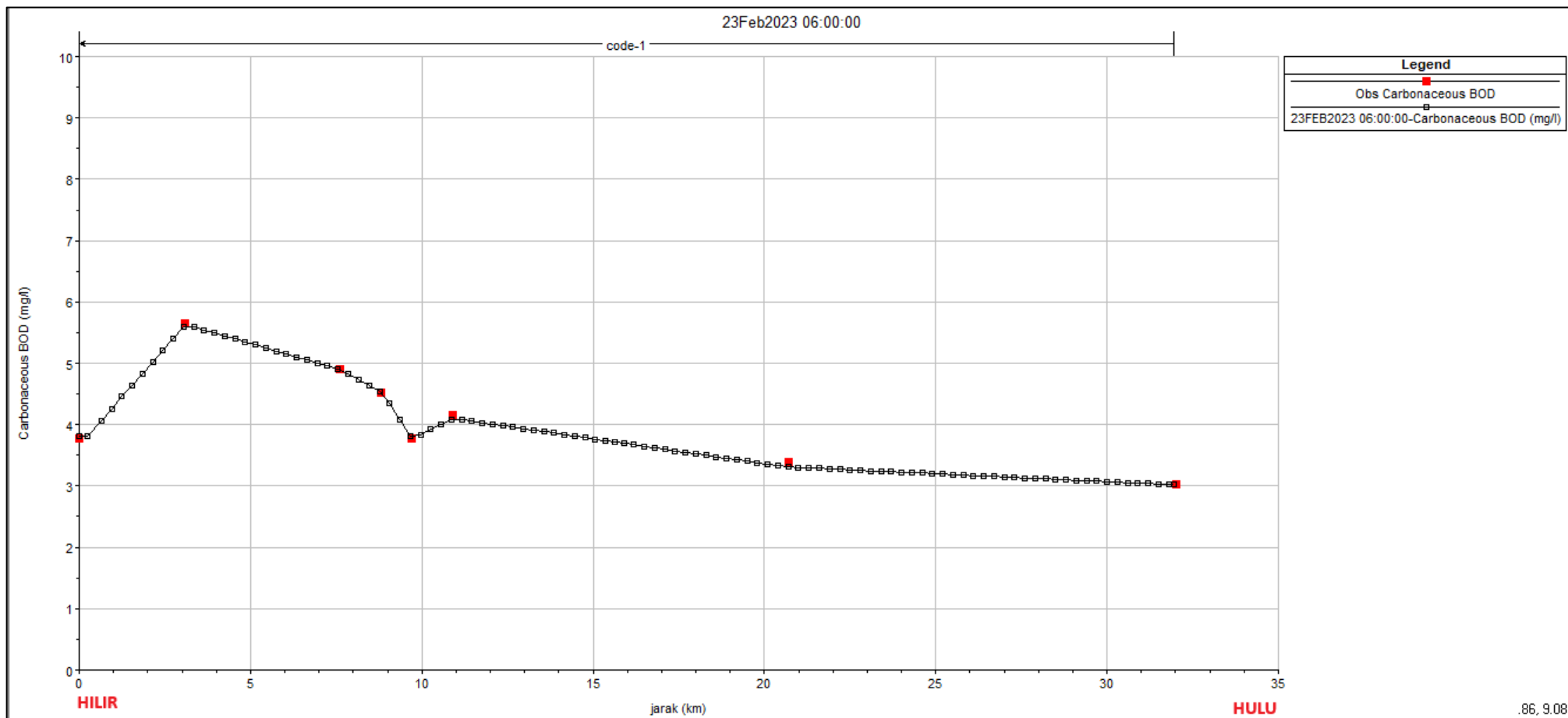
4.5.11 Hasil Skenario Model

Skenario dilakukan dengan dua model, skenario pertama disimulasikan dengan memebentuk model sesuai dengan data observasi, kemudian di skenario 2 disimulasikan dengan kualitas air sungai kategori kelas II dan kelas III sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021.

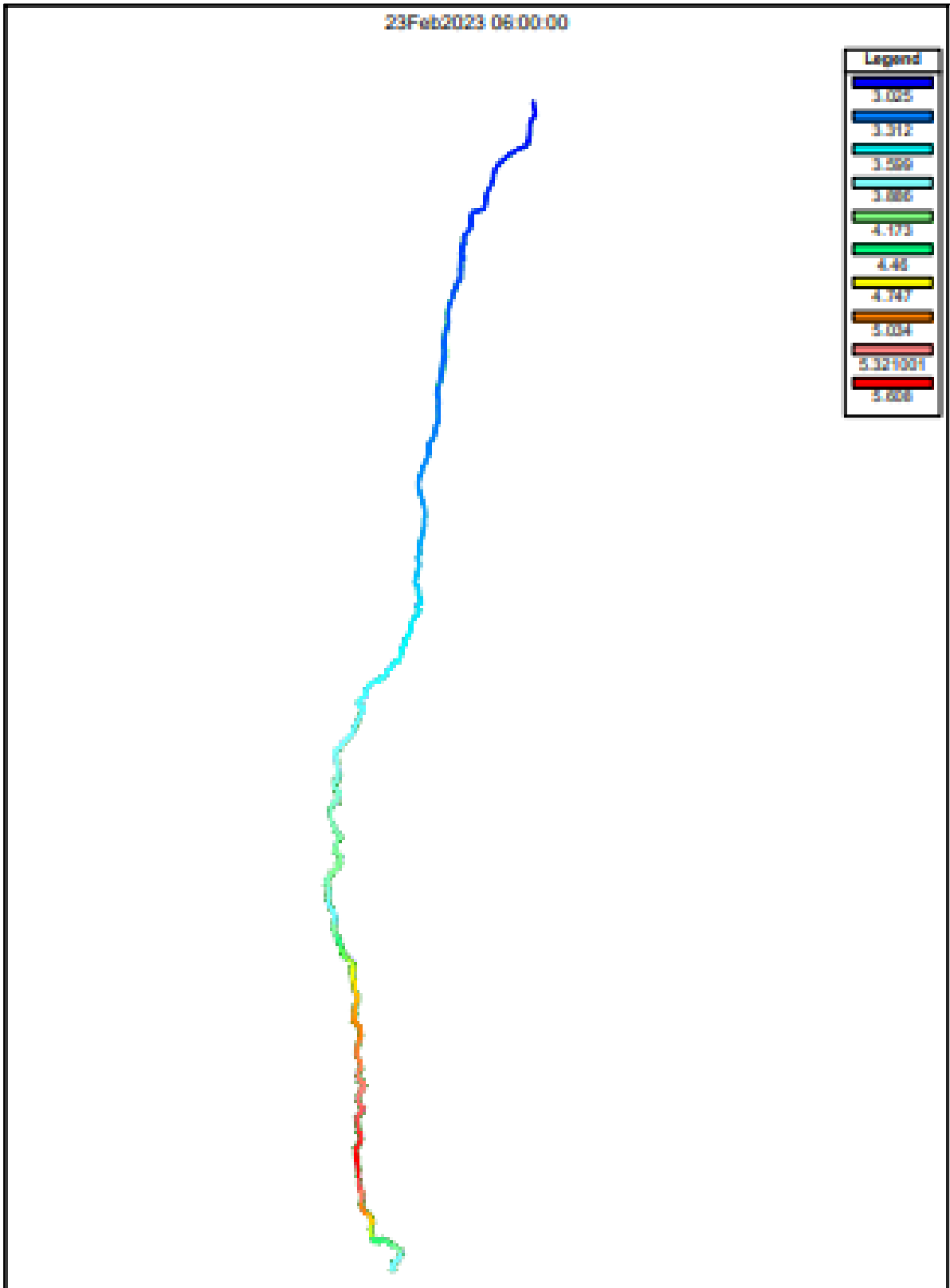
1) Skenario 1

Skenario 1 menggunakan kondisi eksisting Sungai Code sesuai dengan hasil model yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa skenario 1 untuk parameter BOD memiliki nilai yang fluktuatif, nilai fluktuatif ini dikarenakan kecil dan besarnya beban pencemar yang masuk ke DAS Sungai Code. Titik BOD yang terendah berada di titik hulu RS Km 32,01 yaitu 3,036 mg/L, kehadiran vegetasi yang melimpah di sekitar hulu sungai berkontribusi pada penurunan muatan BOD, sedangkan di lokasi Km 32,01 yang berada di dataran tinggi, suhu air cenderung mencapai titik terendah. Selain itu, minimnya masukan polutan juga berperan penting pada nilai

kecilnya BOD. Sedangkan untuk titik tertinggi ada pada RS Km 3,10 yaitu 5,578 mg/L ini dikarenakan adanya beban pencemar yang masuk ke badan air berupa limbah industri tahu. Berikut dibawah ini merupakan hasil dari skenario 1.



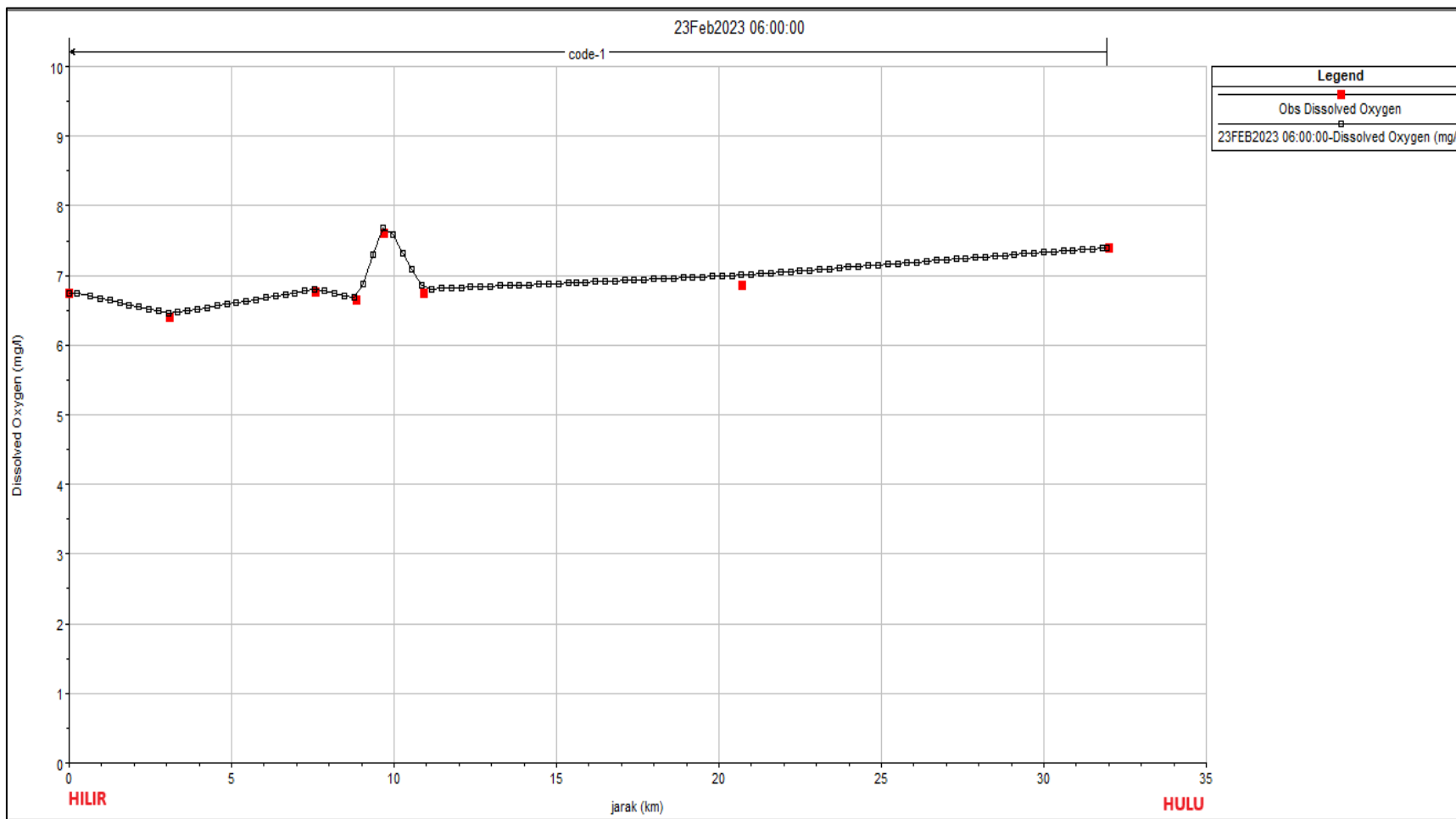
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Mode BOD Skenario 1



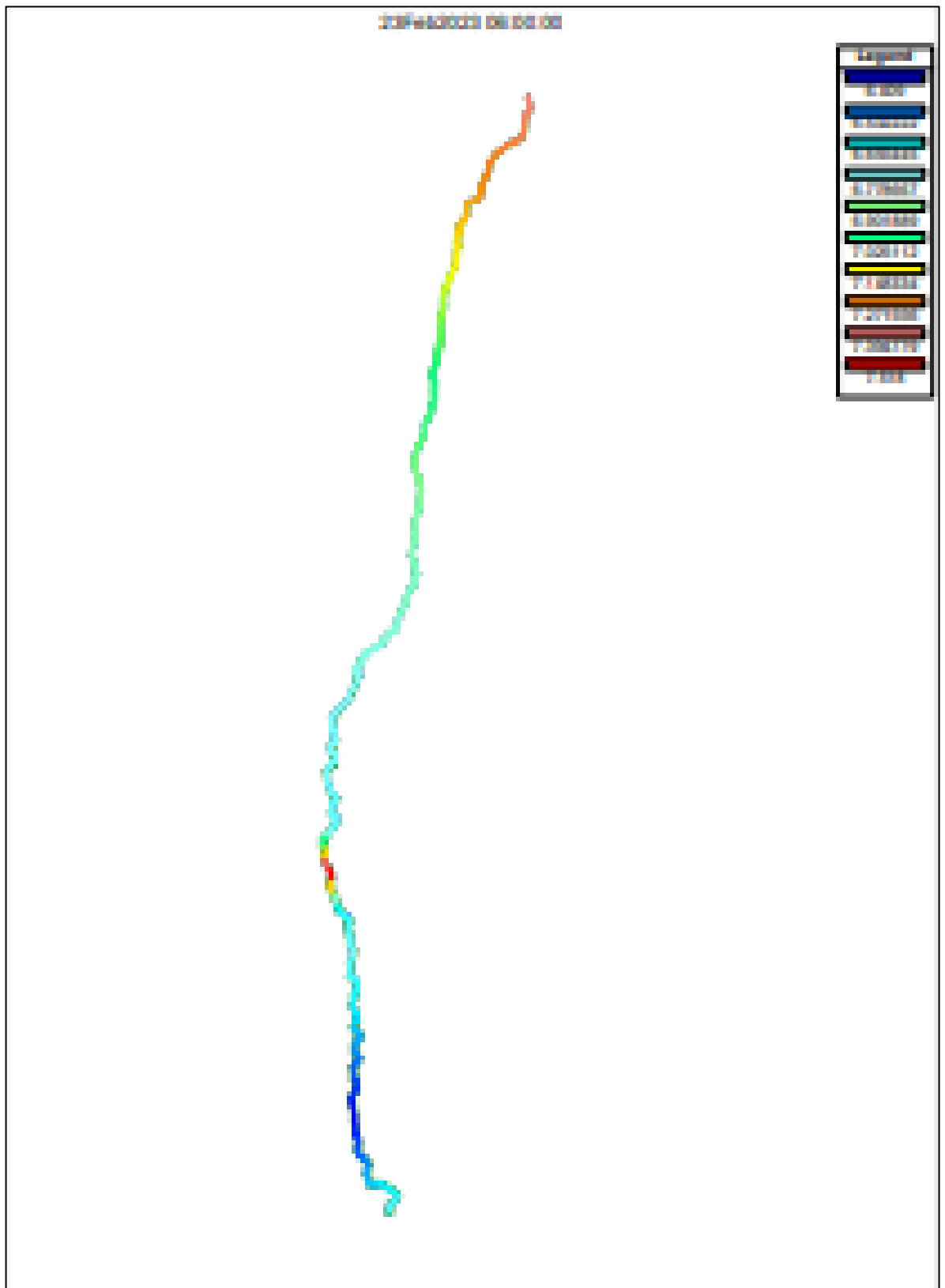
Gambar 4. 17 *Schematic plot* BOD Sungai Code

Pada Gambar 4.20 adalah ilustrasi visual dari perubahan parameter kualitas air parameter BOD, kualitas air berubah sepanjang sungai yang diwakili dengan titik warna merah yaitu mengidentifikasi terjadinya peningkatan pada BOD, sedangkan warna biru tua mengidentifikasi terjadinya penurunan pada BOD. *Schematic plot* berfungsi untuk mengetahui zona-zona di mana pencemaran terkonsentrasi untuk mendapatkan perhatian khusus dalam mitigasi pencemaran. Dari schematic plot diatas dapat diketahui bahwa penyebaran BOD mengikuti pola aliran sungai. Analisis kualitas air di hecras berkaitan dengan hidraulik sungai, semakin besar penampang sungai, semakin banyak air yang dapat membawa dan mengencerkan polutan seperti BOD. Sebaliknya, penampang sungai yang sempit dapat menyebabkan air bergerak lebih lambat, memungkinkan akumulasi polutan dan peningkatan konsentrasi BOD, serta adanya bangunan air seperti jembatan yang dapat menahan beban pencemar sehingga terakumulasi pada pillar, yang menyebabkan nilai konsentrasi BOD tinggi.

Untuk parameter DO menunjukkan titik DO yang terendah berada di titik hilir RS Km 3,10 yaitu 6,482 mg/L, penurunan terjadi karena adanya pemasukan debit dan konstrasi dari limbah industri tahu ke badan air serta tingginya suhu air penurunan konsentrasi DO (Dissolved Oxygen) dalam air, sedangkan untuk titik tertinggi ada pada RS Km 32,01 yaitu 7,38 mg/L ini dikarenakan adanya pengaruh bangunan-bangunan air ataupun vegetasi tumbuhan. yang dapat membantu proses fotosintesis untuk mempengaruhi konsentrasi DO menjadi naik.



Gambar 4. 18 Hasil Grafik DO Skenario 1



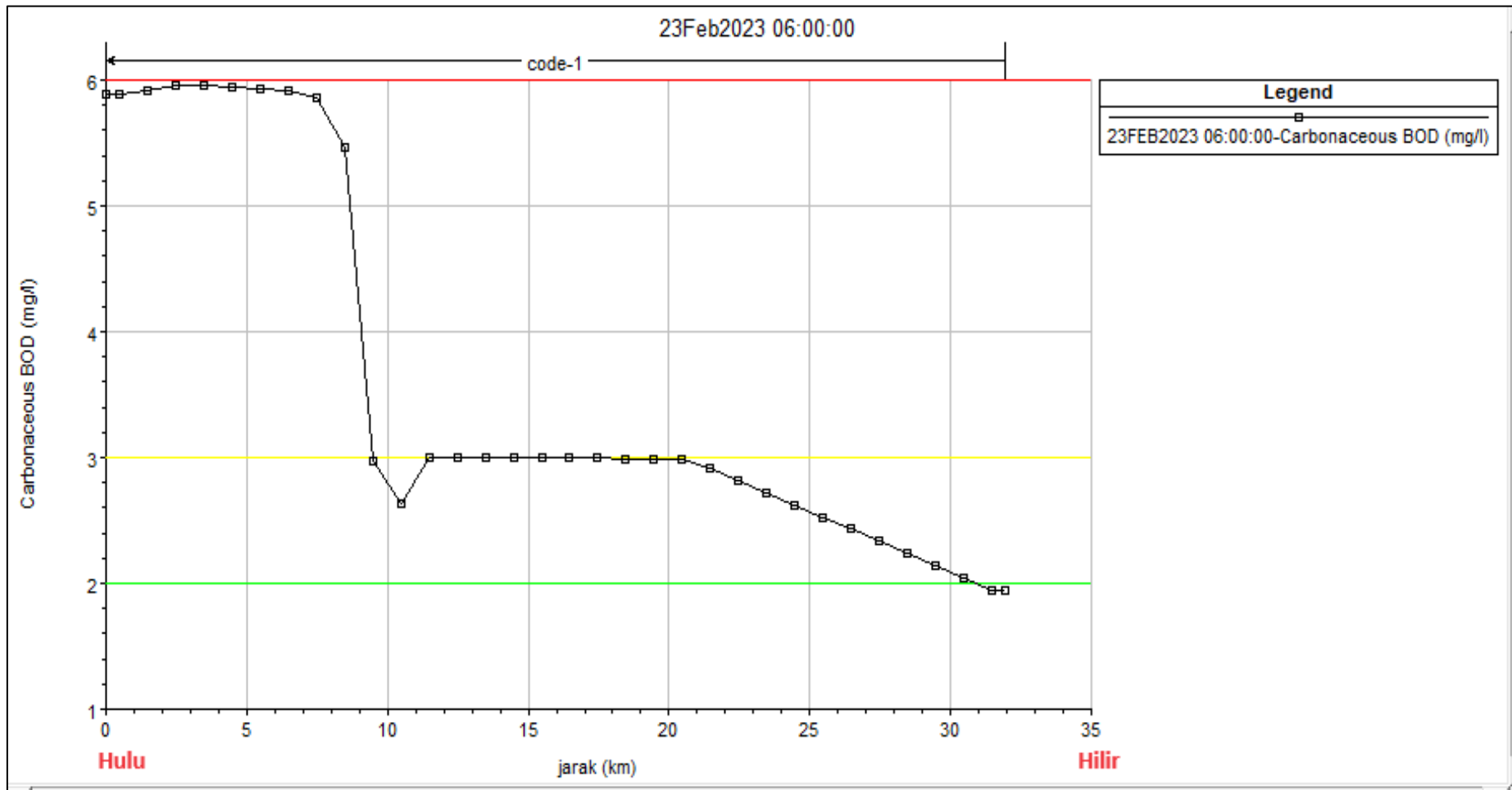
Gambar 4. 19 Schematic Plot DO Sungai Code

Pada Gambar 4.22 adalah ilustrasi visual dari perubahan parameter kualitas air parameter DO, kualitas air berubah sepanjang sungai yang diwakili dengan titik warna merah yaitu mengidentifikasi terjadinya peningkatan pada DO, sedangkan warna biru tua mengidentifikasi terjadinya penurunan pada DO. Penampang sungai memiliki potensi untuk mempengaruhi kenaikan DO (Dissolved Oxygen) dalam air melalui sejumlah faktor hidraulis dan lingkungan, penampang sungai yang lebih lebar cenderung memiliki aliran yang lebih cepat. Aliran yang lebih cepat dapat menghasilkan lebih banyak aerasi aliran, yang dapat membuat lebih banyak oksigen ke dalam air dan meningkatkan DO. Sungai yang sangat berkelok dengan aliran yang lambat di beberapa bagian dapat meningkatkan risiko penumpukan nutrisi dan materi organik, yang dapat mengurangi kualitas air dan DO.

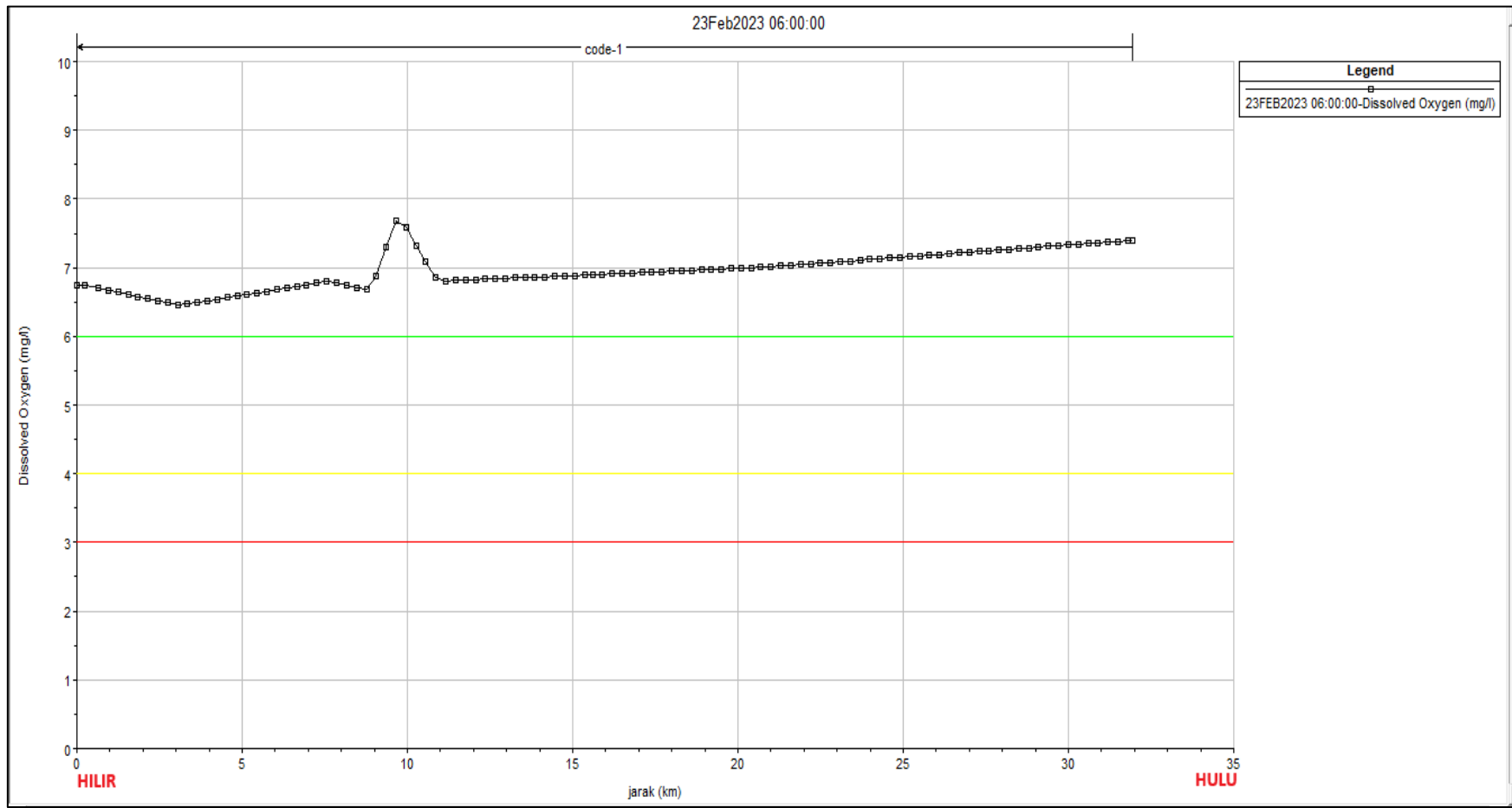
2) Skenario 2

Simulasi skenario 2 dilakukan dengan menggunakan kondisi yang dianggap ada kondisi kualitas air sebelumnya dengan mengasumsikan sudah memenuhi baku mutu untuk air sungai kelas II.

Mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk parameter BOD kelas II yaitu 3 mg/L dan Kelas III yaitu 6 mg/L, sedangkan untuk parameter DO kelas II yaitu 4 mg/L dan kelas III 6 mg/L, maka Gambar 4.23 dan 4.24 sudah sesuai dengan baku mutu.



Gambar 4. 20 Model BOD Skenario 2



Gambar 4. 21 Model DO Skenario

4.6 Analisis Daya Tampung Beban Pencemar

4.6.1 Beban Pencemar

Beban pencemar adalah ukuran atau perkiraan jumlah atau konsentrasi polutan yang masuk ke dalam sistem lingkungan seperti air, udara, atau tanah. Beban pencemar dapat dinyatakan dalam berbagai unit tergantung pada jenis pencemaran yang diukur. Rumus matematis yang digunakan untuk mengukur beban pencemar adalah :

$$BPS = C_s \times Q_s \times f \quad (3.2)$$

Contoh pada perhitungan Segmen 1 yaitu :

$$BPS = 0,45 \times 3,04 \times 86,4$$

$$BPS = 118,04 \text{ kg/hari}$$

Tabel 4.18 Beban Pencemar BOD Skenario 1

Segmen	Km dari hilir	Debit (m ³ /detik)	Konsentrasi (mg/L)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	32,01 - 20,71	0,45	3,04	118,04
Segmen 2	20,71 - 10,91	2,08	3,41	612,46
Segmen 3	10,91 - 9,71	3,43	4,03	1192,82
Segmen 4	9,71 - 8,83	3,75	4,01	1300,54
Segmen 5	8,83 - 7,60	5,00	4,63	2001,46
Segmen 6	7,60 - 3,10	6,14	4,91	2603,14
Segmen 7	3,10 - 0,00	6,70	5,58	3227,55

Tabel 4. 19 Hasil Data Beban Pencemar BOD Skenario 2

Segmen	Km dari hilir	Debit (m ³ /detik)	Konsentrasi (mg/L)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	32,01 - 20,71	0,45	1,95	75,74
Segmen 2	20,71 - 10,91	2,08	2,99	537,52
Segmen 3	10,91 - 9,71	3,43	2,64	780,89
Segmen 4	9,71 - 8,83	3,75	2,98	964,22
Segmen 5	8,83 - 7,60	5,00	5,46	2358,72
Segmen 6	7,60 - 3,10	6,14	5,89	3122,50
Segmen 7	3,10 - 0,00	6,70	5,95	3443,95

4.6.2 Daya Tampung Beban Pencemar

Berdasarkan perbandingan antara simulasi skenario 1 dan skenario 2, dapat menghitung daya tampung beban pencemaran untuk kondisi sungai kelas II dan kelas III. Dalam skenario 1 kondisi sesuai dengan kondisi eksisting, sedangkan dalam skenario 2 kondisi sungai memiliki beban pencemaran yang dikondisikan sesuai dengan baku mutu sungai kelas satu. Rumus berikut dapat digunakan untuk menulis perhitungan.

$$\text{Daya tampung} = \text{Beban Pencemar Penuh} - \text{Beban Kondisi awal}$$

Output dari kedua simulasi tersebut adalah besarnya konsentrasi di tiap segmen pada Sungai Code.

Tabel 4. 19 Hasil Daya Tampung Beban Pencemar BOD

Segmen	DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD	
	Jarak (km)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	32,78 - 20,78	-42,30
Segmen 2	20,78 - 10,96	-74,94
Segmen 3	10,96 - 9,75	-411,93
Segmen 4	9,75 - 8,82	-336,31
Segmen 5	8,82 - 7,62	357,26
Segmen 6	7,62 - 3,12	519,36
Segmen 7	3,12 - 0,00	216,40

Menurut perhitungan daya tampung beban pencemar Sungai Code, tabel 4.19 menunjukkan bahwa segmen 1, segmen 2, segmen 3, dan segmen 4 mengalami beban pencemar yang berlebihan. Beban pencemar BOD adalah -42,30 kg/hari, -74,94 kg/hari, -411,93 kg/hari, dan -336,31 kg/hari. Perlu dilakukan pengolahan lanjutan untuk pemantauan dan penurunan BOD di Sungai Code.

Tabel 4.21 merupakan hasil nilai daya tampung beban pencemar BOD pada Qual2kw di Sungai Code. Hasil pada penelitian dari Qual2kw memiliki 5 segmen yang masih memenuhi dan satu segmen yang melebihi daya tampung. Segmen 5 mengalami beban pencemar berlebih sebesar -106,97 kg/hari.

Tabel 4. 20 Hasil Daya Tampung BOD Menggunakan Qual2kw

Segmen	DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD	
	Jarak (km)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	32,78 - 20,78	471,27
Segmen 2	20,78 - 10,96	104,70
Segmen 3	10,96 - 9,75	23,63
Segmen 4	9,75 - 8,82	905,37
Segmen 5	8,82 - 7,62	-106,97
Segmen 6	7,62 - 3,12	171,05
Segmen 7	3,12 - 0,00	89,56

Adanya perbedaan nilai pada daya tampung beban pencemar pada pemodelan menggunakan HEC-RAS dan Qual2kw dikarenakan adanya pengaruh hidraulika di aplikasi HEC-RAS yang bisa mempengaruhi besarnya nilai beban pencemar, sedangkan untuk aplikasi Qual2kw hidraulika tidak terlalu dipertimbangkan, selain itu perbedaan terlatak pada baku mutu, untuk HEC-RAS menggunakan PP No 22 Tahun 2021, untuk Qual2kw menggunakan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) Nomor 20 Tahun 2008.

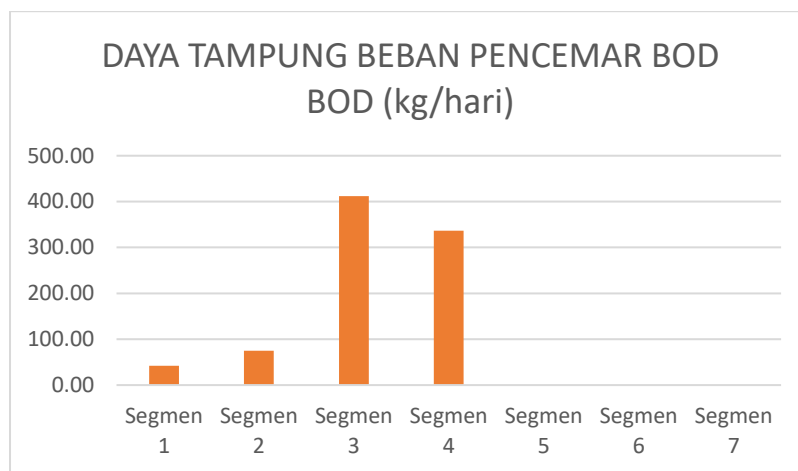
4.6 Penurunan Daya Tampung Beban Pencemar

Setelah menghitung Daya Tampung Beban Pencemar (DTBP), hasilnya menunjukkan bahwa DTBP untuk parameter BOD melebihi kapasitasnya. Ini berarti terdapat beban pencemar yang melebihi kapasitas yang dapat ditangani. Berdasarkan hasil perhitungan DTBP, terdapat segmen di mana nilai DTBP parameter BOD bernilai negatif, yaitu pada segmen 1 hingga 4. Hal ini disebabkan oleh adanya masukan beban pencemar yang berlebihan dan meningkatnya debit inflow, sementara kemampuan sungai dalam proses purifikasi parameter BOD tidak mencukupi.

Tabel 4. 21 Penurunan Daya Tampung Beban Pencemar Parameter BOD

Segmen	DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD	
	Jarak (km)	BOD (kg/hari)
Segmen 1	32,78 - 20,78	42,30
Segmen 2	20,78 - 10,96	74,94

Segmen	DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMAR BOD	
	Jarak (km)	BOD (kg/hari)
Segmen 3	10,96 - 9,75	411,93
Segmen 4	9,75 - 8,82	336,31
Segmen 5	8,82 - 7,62	0,00
Segmen 6	7,62 - 3,12	0,00
Segmen 7	3,12 - 0,00	0,00



Gambar 4. 22 Grafik Penurunan Daya Tampung

Oleh karena itu, diperlukan upaya penurunan beban pencemar di segmen tersebut. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi konsentrasi beban pencemar dan meningkatkan nilai DTBP. Salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal di wilayah tersebut. Dengan demikian, diharapkan bahwa pengelolaan air limbah di IPAL akan mengurangi beban pencemar sebelum mencapai Sungai Code, yang pada akhirnya akan mengakibatkan penurunan konsentrasi BOD dalam sungai tersebut. Menurut ((Lupiyanto & Wijaya, 2010) ada beberapa cara untuk menurunkan limbah domestik di Sungai Code yaitu :

- a) Pengembangan jaringan air limbah komunal, baik yang berada di luar lokasi, maupun yang terhubung langsung dengan lokasi tersebut.
- b) Perbaiki fasilitas sanitasi dasar di pemukiman, seperti pembuatan SPAL (saluran pembuangan air limbah), yang mencakup tanki septik dan sumur resapan.

- c) Pembangunan fasilitas sanitasi seperti toilet keluarga atau fasilitas komunal seperti tanki septik bersama, tempat cuci tangan umum, dan toilet umum.
- d) Pengembangan sistem pengumpulan dan pengolahan lumpur tinja untuk melayani kebutuhan masyarakat dalam proses pengurusan tanki septik.

Selain pembangunan IPAL diperlukan juga pengetatan regulasi lingkungan yang ketat terkait dengan kualitas air dan pengendalian pencemaran. penerapkan denda dan sanksi bagi pelanggar yang mencemari sungai. Perlu adanya peningkatan kesadaran masyarakat dan partisipasi masyarakat berdasarkan Petunjuk Teknis Restorasi Sungai Code Untuk meningkatkan dan menjaga kualitas air sungai serta mengikutsertakan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan ekosistem sungai, langkah-langkah berikut dapat dijalankan:

- a) Terapkan metode Participatory Rural Appraisal (PRA) dan Focus Group Discussion (FGD) untuk mendorong keterlibatan masyarakat dalam semua tahapan restorasi sungai, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan.
- b) Selenggarakan sejumlah kegiatan seperti kegiatan gotong royong membersihkan sungai, kompetisi kebersihan, dan kegiatan olahraga sungai. Juga, merayakan Hari Sungai dengan pameran budaya, pariwisata sungai, dan kegiatan serupa dengan tujuan membangun partisipasi masyarakat dalam usaha restorasi sungai.
- c) Sosialisasikan kepada masyarakat tentang manfaat sungai yang bersih, ekologis, dan kaya akan sumber daya seperti ikan, udang, dan kepiting yang dapat dijadikan sumber protein.

Peningkatan kadar DO dapat terjadi karena adanya proses aerasi di dalam perairan, seperti yang dapat dicapai melalui pembangunan bendungan atau penggunaan terjunan. Tindakan tersebut dapat meningkatkan jumlah oksigen yang larut dalam air karena melibatkan kontak antara air dan udara. Akibatnya, sungai dapat menjalankan proses self-purifikasi. Selain itu, aktivitas mikroorganisme yang bertanggung jawab dalam penguraian materi organik telah berlangsung dengan efektif. Dampaknya adalah penurunan konsentrasi BOD dari hulu ke hilir (Trainee Suharyanto, 2015).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan HEC-RAS yang telah dilakukan terhadap Sungai Code dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari analisis, aplikasi HEC-RAS dapat memodelkan kualitas air sungai, dengan menggunakan data sekunder hidraulik. Adanya pemasangan penampang model kualitas air HEC-RAS lebih terperinci. Kualitas air Sungai Code untuk parameter DO, dan BOD di tiap titik pemantauan menunjukkan DO berkisar antara 6,482 mg/L hingga 7.38. Pada titik pemantauan, nilai DO keseluruhan menunjukkan berada di atas ambang batas minimum baku mutu air sesuai dengan kelasnya. Untuk nilai BOD terdapat tujuh sampel yang berada di atas baku mutu dan satu sampel (RS Km 30,21) yang berada di bawah baku mutu air.
2. HEC-RAS dapat menentukan daya tampung beban pencemar dengan menggunakan program water quality, penentuan daya tampung beban pencemar menggunakan skenario 1 dan skenario 2. Skenario 1 yang berisi data eksisting, dan skenario 2 menggunakan Baku mutu kelas II dan kelas III mengacu pada PP Nomer 22 Tahun 2021.
3. Nilai daya tampung beban pencemaran BOD pada, segmen 1 daya tampung sungai adalah -42,30 kg/hari, segmen 2 daya tampung sungai -74,94 kg/hari, segmen 3 daya tampung sungai -411,93 kg/hari, segmen 4 daya tampung sungai -336,31 kg/hari, segmen 5 daya tampung sungai 439,34 kg/hari, segmen 6 daya tampung sungai 563,34 kg/hari, dan segmen 7 daya tampung sungai 228,79 kg/hari. Untuk daya tampung yang bernilai negatif perlu dilakukan penurunan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa rekomendasi yang bisa dipertimbangkan dalam penelitian-penelitian yang akan dilakukan

selanjutnya terutama dalam menganalisis mutu air terhadap beban polutan di Sungai Code, yaitu:

1. Mengkaji perubahan parameter kualitas air selama musim banjir dan musim kemarau untuk mengetahui lebih detail kualitas air sungai.
2. Diperlukan adanya pemantauan secara terus-menerus dan berkala terhadap mutu dan jumlah sumber polutan agar mendapatkan data yang lebih tepat.
3. Diperlukan parameter tambahan selain BOD dan DO untuk mengendalikan mutu air dengan penambahan faktor seperti Total Suspended Solid (TSS) yang merupakan total partikel terlarut dalam air dan partikel ini juga dapat berupa materi organik maupun anorganik.
4. Penelitian berikutnya perlu melakukan simulasi mutu air dengan menggunakan unsteady flow.
5. Penelitian berikutnya perlu mencari metode pemasukkan beban polutan tidak terpusat pada bagian injeksi massa.
6. Memanfaatkan data topografi terkini penggunaan peta terrain agar pemodelan dapat disesuaikan dengan kondisi topografi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningih, D., Sasongko, S. B., Sudarno, D., Sudarto, P. H., Semarang, S. H., Lingkungan, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., Prof, J., & Sudarto, H. (2014). *ANALISIS KUALITAS AIR DAN STRATEGI PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR SUNGAI BLUKAR KABUPATEN KENDAL*.
- Ajayi AA, Peter-Albert CF, Ajojesu TP, Bishop SA, Olasehinde GI, & Siyanbola TO. (2016). Biochemical Oxygen Demand and Carbonaceous Oxygen Demand of the Covenant University Sewage Oxidation Pond. In *Covenant Journal of Physical and Life Sciences (CJPL)* (Vol. 4, Issue 1).
- Arbie, R. R., Nugraha, W. D., & Sudarno. (2015). *STUDI KEMAMPUAN SELF PURIFICATION PADA SUNGAI PROGO DITINJAU DARI PARAMETER ORGANIK DO DAN BOD (POINT SOURCE : LIMBAH SENTRA TAHU DESA TUKSONO, KECAMATAN SENTOLO, KABUPATEN KULON PROGO, PROVINSI D.I. YOGYAKARTA)*. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- Asnul Maulana, R., Sari Lubis, K., & Marbun, P. (2014). *Uji Korelasi Antara Debit Aliran Sungai dan Konsentrasi Sedimen Melayang pada Muara Sub DAS Padang di Kota Tebing Tinggi Correlation Test between Stream Flow Debit and Concentration of Suspend Load Sedimen in Outlet of Sub Watershed Padang At Tebing Tinggi City*
- Brontowiyono, W., Lupiyanto, R., & Wijaya, D. (2010). Pengelolaan Kawasan Sungai Code Berbasis Masyarakat. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 2(1), 7–20.
- Deksissa Chuco, Tolessa. (2004). *Dynamic integrated modelling of basic water quality and fate and effect of organic contaminants in rivers = Geintegreerde dynamische modellering van algemene waterkwaliteitsparameters en gedrag en effect van organische contaminanten in rivieren*. s.n.].
- Hendrasarie, N., Cahyarani, dan, pengajar dan, S., Progd Teknik Lingkungan, A., Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional, F., & Timur Jl Raya Rungkut Madya Surabaya, J. (2008). *KEMAMPUAN SELF*

PURIFICATION KALI SURABAYA, DITINJAU DARI PARAMETER ORGANIK BERDASARKAN MODEL MATEMATIS KUALITAS AIR. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1).

Istiarto. 2012. Bahan Kuliah Hidraulika Terapan: Bagian II Simulasi Aliran 1 Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Loucks, D. P., & Van Beek, E. (2017). *Water Resource Systems Planning and Management An Introduction to Methods, Models, and Applications*.

Lupiyanto, R., & Wijaya, D. (2010). Pengelolaan Kawasan Sungai Code Berbasis Masyarakat. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 2(1), 7–20.

Maramis, M., Widada, S., & Handoyo, G. (2022). Pengaruh Influks Sedimen dari Sungai Terhadap Distribusi Ukuran Butir Sedimen Dasar di Perairan Slamaran, Pekalongan, Jawa Tengah. In *Indonesian Journal of Oceanography* (Vol. 04). <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce>

Meidiansyah, D. 2014. Kajian Penyebaran Aliran Polutan Sungai Code. Tesis, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nur, E. (2022). *SIMULASI PENCEMARAN BOD DAN TSS PADA SUNGAI CITARIK DENGAN MENGGUNAKAN HEC-RAS*. Universitas Indonesia.

Peraturan Gubernur DIY Nomor 22 Tahun 2007 tentang Penetapan Kelas Air Sungai Di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Peraturan Menteri Negara Lingkungan 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.

Rahmawati, D. (2011). Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak Di Bergas Kabupaten Semarang Dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai. Universitas Diponegoro.

Ramdan Hikmat. (2004). *PRINSIP DASAR PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI*.

Riyanto, B. A. (2019). *DASAR TEORI ALIRAN TETAP 1-D HECCRAS*.

- Safar Hamidi. (2022). *ANALISIS STATUS MUTU AIR SUNGAI CODE MENGGUNAKAN METODE STORET Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan.*
- Sahabuddin, H., Harisuseno, D., & Yuliani, E. (2014). *Analisa Status Mutu Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Wanggu Kota Kendari.*
- Saily, R., & Sjelly Haniza. (2020). Pendekatan Nilai Kualitas Air dengan Metode Model Qual2Kw pada Parameter Uji DO dan NH4. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 167–173. <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4868>
- Schild, A. (2018). *Time in quantum mechanics: A fresh look at the continuity equation.* <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.052113>
- Sriyono, E., & dan Nindyo Cahyo Kresnanto, S. (2017). *Analisis Pencemaran Air Sumur Di Daerah Berteras Bantaran Sungai Code Yogyakarta.* Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- USACE, 2006, HEC-RAS River Analysis System, Hydarulic Reference Manual, Davis C.A. Washington.
- Yudianto, D., & Yuebo, X. (2008). The Development of Simple Dissolved Oxygen Sag Curve in Lowland Non-Tidal River By Using MATLAB. In *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* (Vol. 3, Issue 3).

LAMPIRAN A

PERATURAN BAKU MUTU KUALITAS AIR SUNGAI

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 Nomer 20 Tahun 2008

Bagian Ketujuh
Sungai Code

Pasal 10

- (1) Sungai Code mulai dari bagian hulu kearah hilir sampai pertemuan Sungai Boyong dengan Sungai Trasi di Dusun Dayakan, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman menurut peruntukannya sebagai sungai kelas satu.

-
- (2) Sungai Code mulai pertemuan Sungai Boyong dengan Sungai Trasi di Dusun Dayakan, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman kearah hilir sampai Kampung Surokrasan, Wirogunan, Mergangsan, Yogyakarta menurut peruntukannya sebagai sungai kelas dua.
 - (3) Sungai Code mulai Kampung Surokrasan, Wirogunan, Mergangsan, Yogyakarta kearah hilir sampai pertemuan dengan Sungai Opak di Dusun Kembangsono, Trimulyo, Jetis, Bantul menurut peruntukannya sebagai sungai kelas tiga.

LAMPIRAN B

DOKUMENTASI KEGIATAN

Lampiran 4 Dokumentasi Kegiatan Sampling



Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan Laboratorium



LAMPIRAN C
DATA SUMBER PENCEMAR

Lampiran 7. Data Kualitas Sumber Pencemar berdasarkan Penelitian Sebelumnya.

Sumber Pencemar	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Sumber Data		
			Peneliti	Tahun	Judul
Pertanian	2- 5	32,1-45	Asri Mutia Sani, Agung R, Gazi Muhammad Naufal Syarif, dan Hikmaya Aji Ningrum	2018	Kualitas Air Sebagai Sumber Irigasi di Wilayah Bandung Timur
			Nyoman Wijana	2011	Analisis Kualitas Air Limbah Pertanian Dan Limbah Domestik Pada Ekosistem Tumpang Tindih Di Sekitar Danau Buyan, Kabupaten Buleleng, Bali
Perikanan	2 – 6,7	1,85 – 2,12	Mega Kusuma Wardani,, Eka Iriadenta, dan DeddyDharmaji	2017	Kelayakan Kualitas Perairan Kolam Di Perkebunan Kelapa Sawit Desa Gunung Melati Kecamatan Batu Ampar Kabupaten Tanah Laut
			Fatur Rohman., NourAthiroh. A.S., Saimul Laili.	2019	Kajian Faktor Lingkungan Abiotik pada Kolam Ikan Bandeng (<i>Chanos Forsskal</i>) dengan <i>Suspected Parasites</i> diDesa Balonpanggang.

Limbah Domestik	1,4 – 4,7	15 – 16,25	Wijyaningrat, A. T. P.	2018	Evaluasi Kinerja IPAL Komunal Di Kecamatan Banguntapan Dan Bantul, Kabupaten Bantul, Di Yogyakarta Ditinjau Dari Parameter Fisik
-----------------	-----------	------------	------------------------	------	--

Lampiran 8. Perhitungan Debit Non-point source

Titik	Sumber	Keterangan	Q Diffuse Source (m ³ /detik)
Titik 1	Yunita Mauliana, Mirnanda Cambodia, Elza Novilyansa. 2022	Pertanian	0,020
Titik 2	Fatur Rohman, Nour Athiroh, Saimul Laili. 2019	Perikanan	0,011
Titik 3	Nila Aliefia Fadly. 2008	Limbah Domestik	0.066
Titik 4	Pangestu. 2017	Limbah Domestik	0,83
Titik 5	Pangestu. 2018	Limbah Domestik	0,6
Titik 8	Yunita Mauliana, Mirnanda Cambodia, Elza Novilyansa. 2022	Pertanian	0,6

Perhitungan Debit *Diffuse Source* :

a) Titik 1 : Pertanian

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Luas Lahan} \times \text{Kebutuhan Air Irigasi} \\
 &= 17 \text{ ha} \times 1,2 \text{ L/detik/ha} \\
 &= 120 \text{ Liter/detik} \\
 &= 0,00 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

b) Titik 2 : Perikanan

$$\begin{aligned}
 Q_{in} &= \text{Luas Kolam} \\
 &= 243 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 52,5 \text{ liter/detik (air yang masuk)}$$

$$= 0,0525 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{out} = 50\% \times Q_{in}$$

$$= 50\% \times 0,0525 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,0263 \text{ m}^3/\text{detik}$$

a) Titik 3 : Limbah Domestik

$$Q = (\text{Jumlah Penduduk (catchment area)} \times \text{Kebutuhan Air Bersih} \times 60\%) / 86.400$$

$$= (80 \text{ orang} \times 120 \text{ Liter/hari} \times 60\%) / 86.400$$

$$= 0,06 \text{ m}^3/\text{detik}$$

b) Titik 4 : Limbah Domestik

$$Q = (\text{Jumlah Penduduk (catchment area)} \times \text{Kebutuhan Air Bersih} \times 60\%) / 86.400$$

$$= (900 \text{ orang} \times 120 \text{ Liter/hari} \times 60\%) / 86.400$$

$$= 0,83 \text{ m}^3/\text{detik}$$

c) Titik 5 : Limbah Domestik

$$Q = (\text{Jumlah Penduduk (catchment area)} \times \text{Kebutuhan Air Bersih} \times 60\%) / 86.400$$

$$= (800 \text{ orang} \times 120 \text{ Liter/hari} \times 60\%) / 86.400$$

$$= 0,6 \text{ m}^3/\text{detik}$$

d) Titik 8 : Pertanian

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

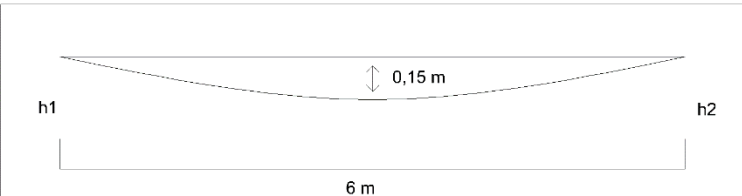
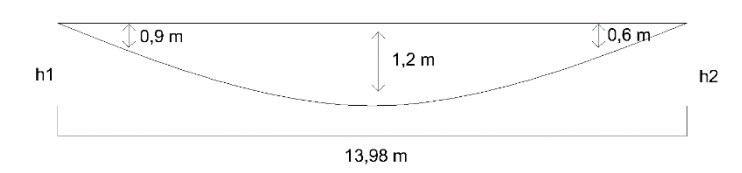
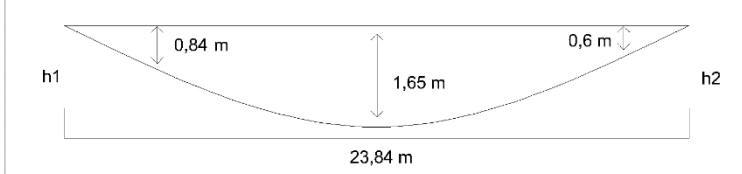
$$= 0,5 \text{ ha} \times 0,7 \text{ L/detik/ha}$$

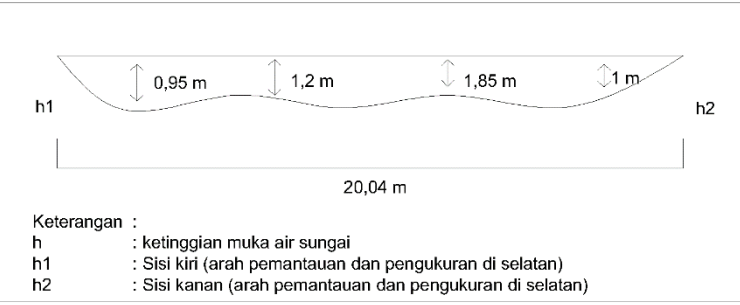
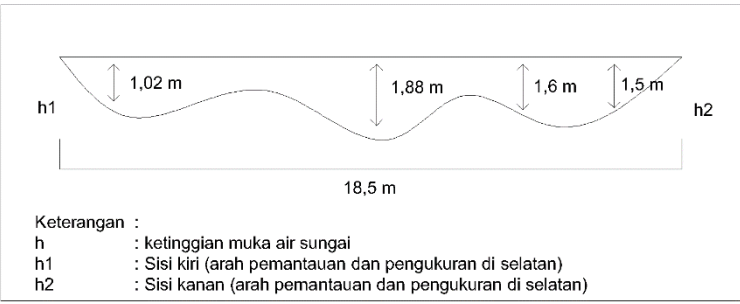
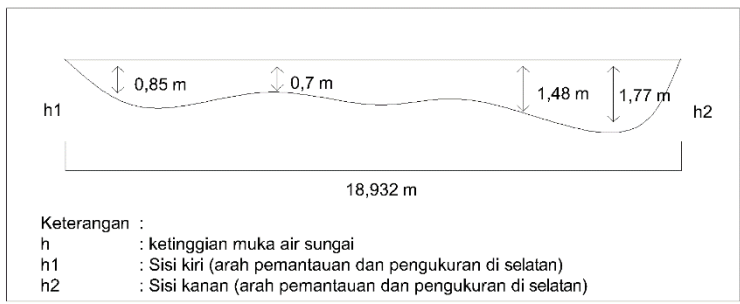
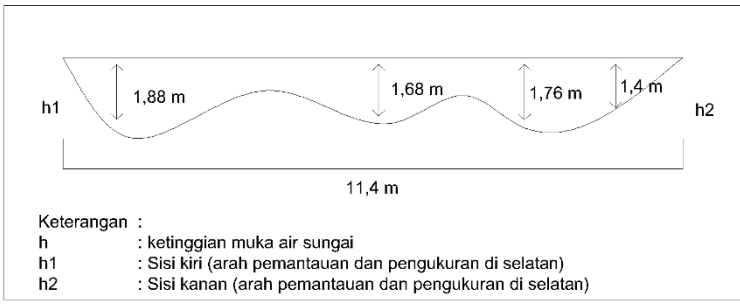
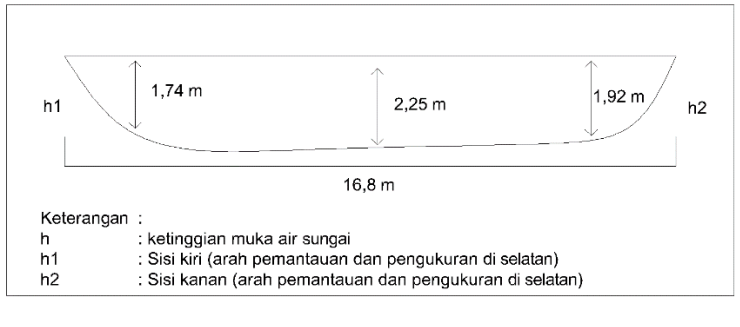
$$= 0,6 \text{ Liter/detik}$$

LAMPIRAN D

KONDISI PENAMPANG SUNGAI CODE

Lampiran 8 Kondisi Penampang Basah Sungai Code

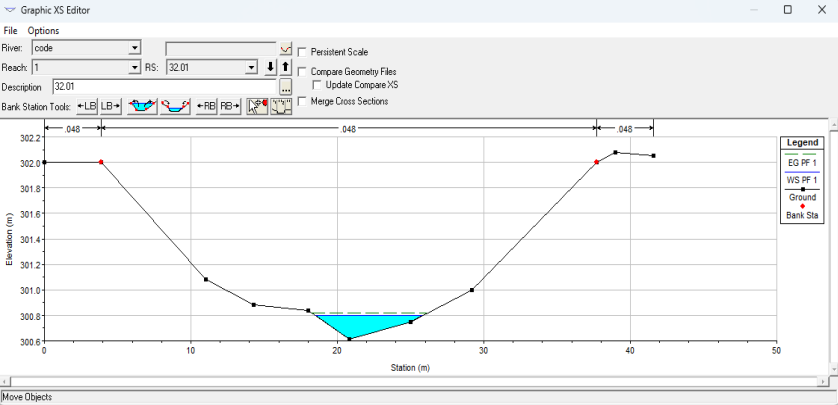
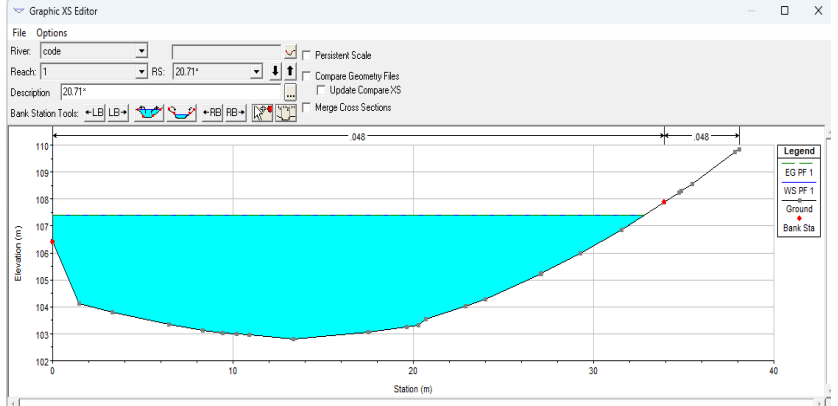
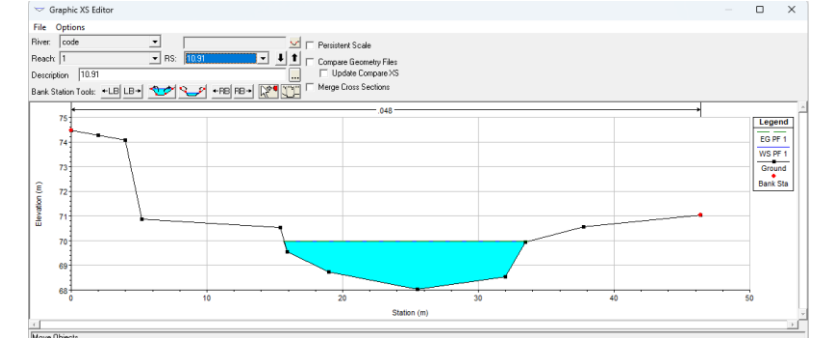
Titik Sampling	Lokasi Sampling	Penampang Basah
1	Boyong, Pakem, Sleman (Hulu)	 <p>Keterangan : h : ketinggian muka air sungai h1 : Sisi kiri (arah pemantauan dan pengukuran di selatan) h2 : Sisi kanan (arah pemantauan dan pengukuran di selatan)</p>
2	Ngentak, Sariharjo, Ngaglik Sleman (Hulu)	 <p>Keterangan : 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	Kewek, Kotabaru (Tengah)	 <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>

4	Ngupasan, Pakualaman, Yogyakarta (Tengah)	 <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	Keparakan, Mergangsan, Yogyakarta (Tengah)	 <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	Tungkak, Mergangsan, Yogyakarta (Hilir)	 <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	Abang Ngoto, Sewon, Bantul (Hilir)	 <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>
8	Pacar Wonokromo, Pleret, Bantul (Hilir)	 <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>

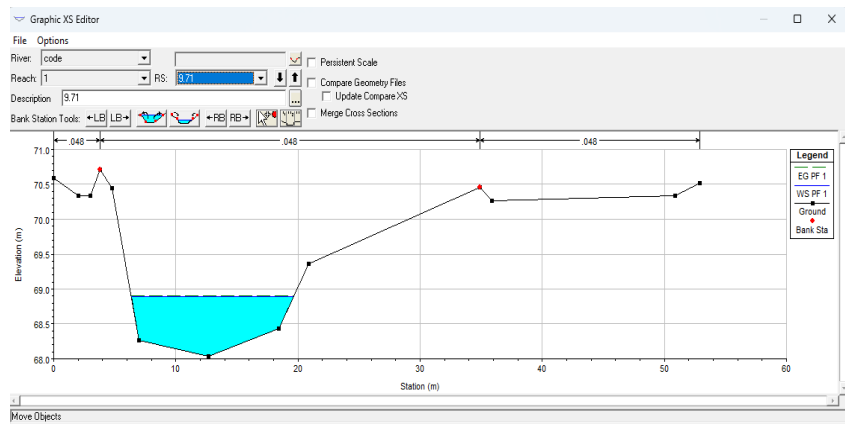
LAMPIRAN E

DATA HEC-RAS 4.10

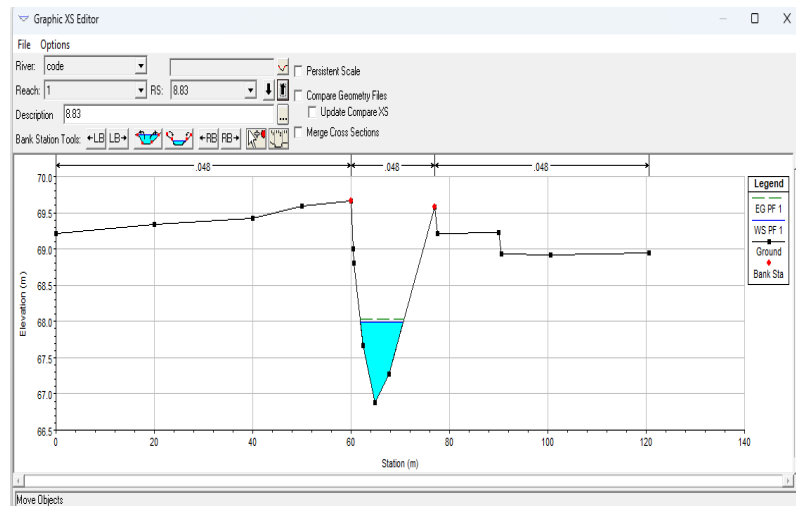
Lampiran 9 Kondisi Penampang Sungai Code Di HEC-RAS

River Station	Penampang Sungai Code
Km32,01	 <p>The screenshot shows the 'Graphic XS Editor' window for station 32.01. The 'River' is 'code', 'Reach' is '1', and 'Description' is '32.01'. The channel bed is highlighted in cyan. The y-axis is 'Elevation (m)' ranging from 300.6 to 302.2. The x-axis is 'Station (m)' ranging from 0 to 50. The channel width is 0.48m. The legend includes 'EG PF 1', 'WS PF 1', 'Ground', and 'Bank Sta'.</p>
Km 20,71	 <p>The screenshot shows the 'Graphic XS Editor' window for station 20.71. The 'River' is 'code', 'Reach' is '1', and 'Description' is '20.71'. The channel bed is highlighted in cyan. The y-axis is 'Elevation (m)' ranging from 102 to 110. The x-axis is 'Station (m)' ranging from 0 to 40. The channel width is 0.48m. The legend includes 'EG PF 1', 'WS PF 1', 'Ground', and 'Bank Sta'.</p>
Km 10,91	 <p>The screenshot shows the 'Graphic XS Editor' window for station 10.91. The 'River' is 'code', 'Reach' is '1', and 'Description' is '10.91'. The channel bed is highlighted in cyan. The y-axis is 'Elevation (m)' ranging from 68 to 75. The x-axis is 'Station (m)' ranging from 0 to 50. The channel width is 0.48m. The legend includes 'EG PF 1', 'WS PF 1', 'Ground', and 'Bank Sta'.</p>

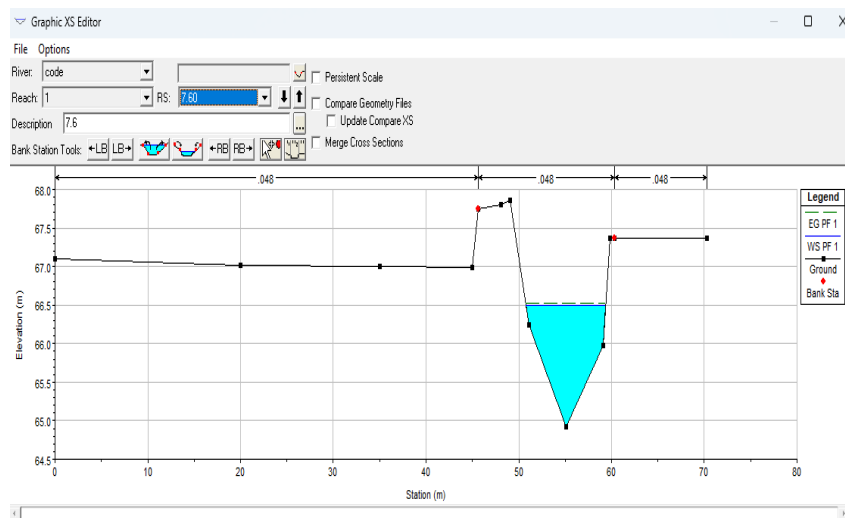
Km 9,71



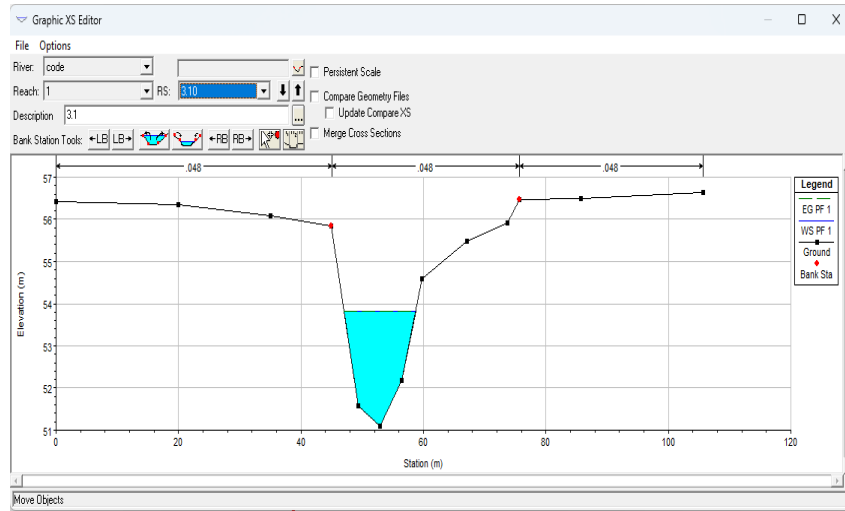
Km 8,83



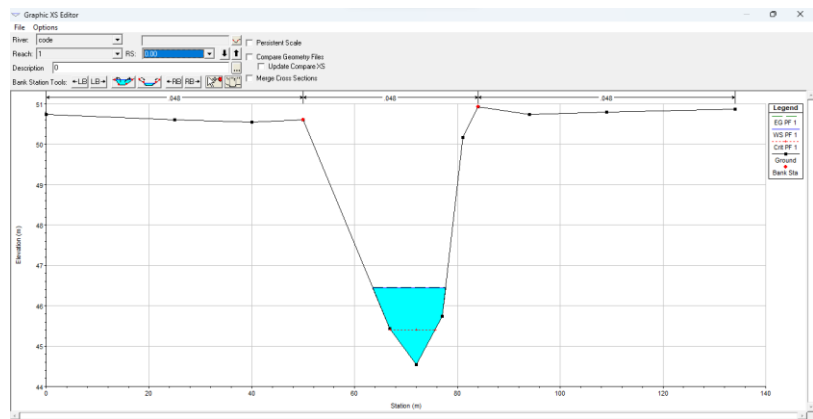
Km 7,60



Km 3,10

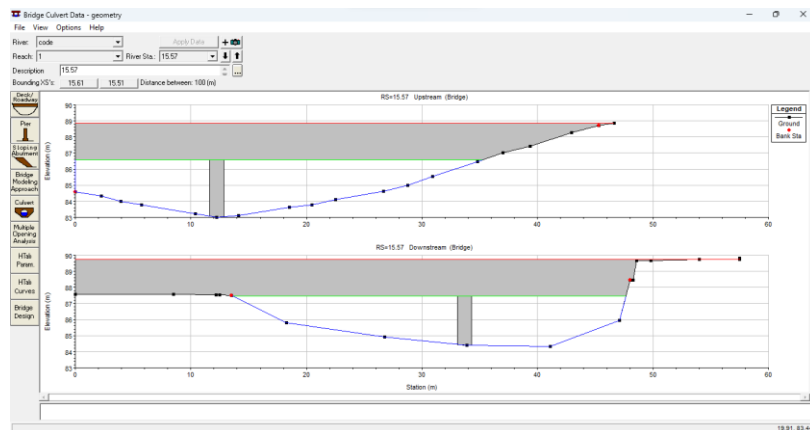


Km 0

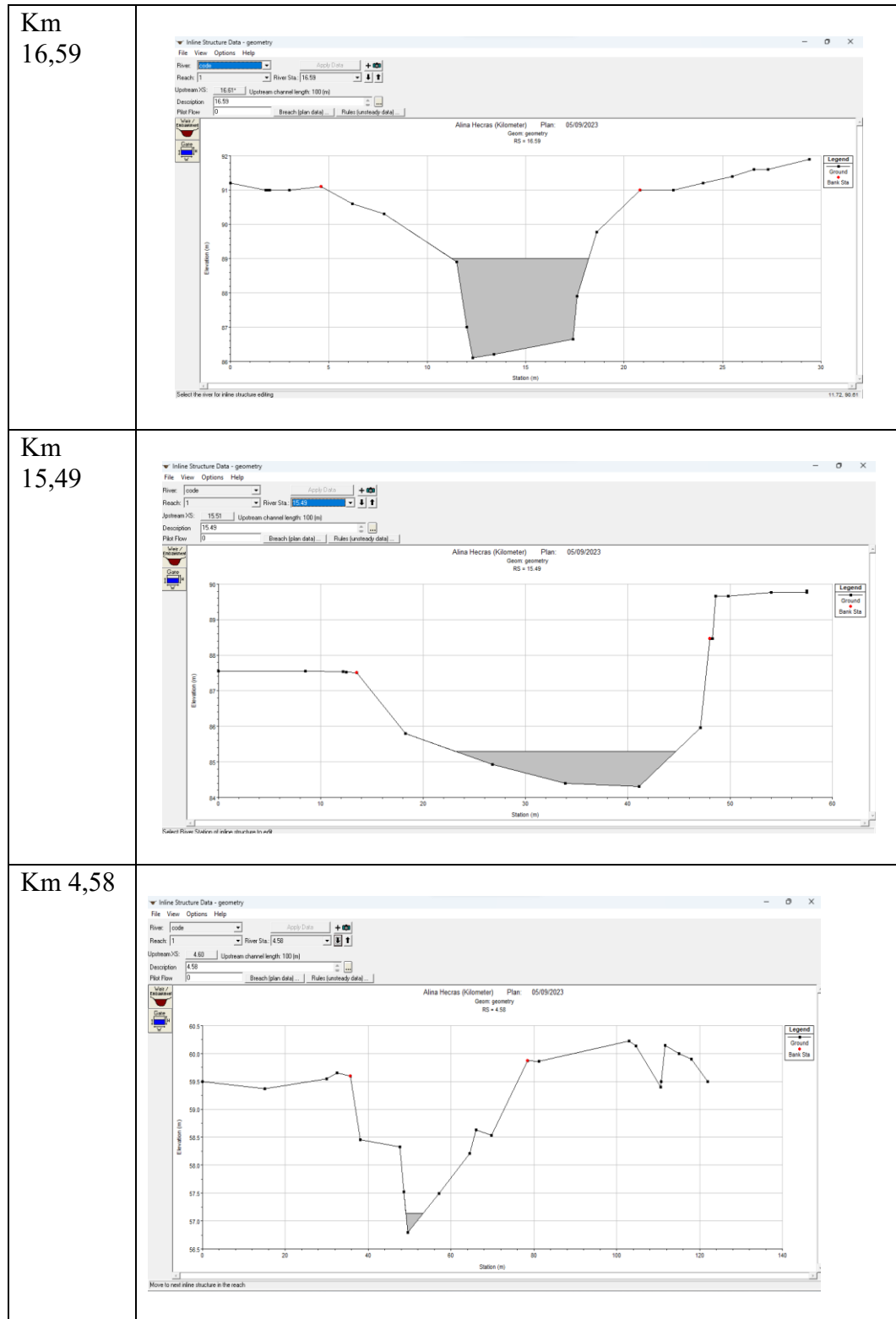


Lampiran 9 Kondisi Jembatan Sungai Code Di HEC-RAS

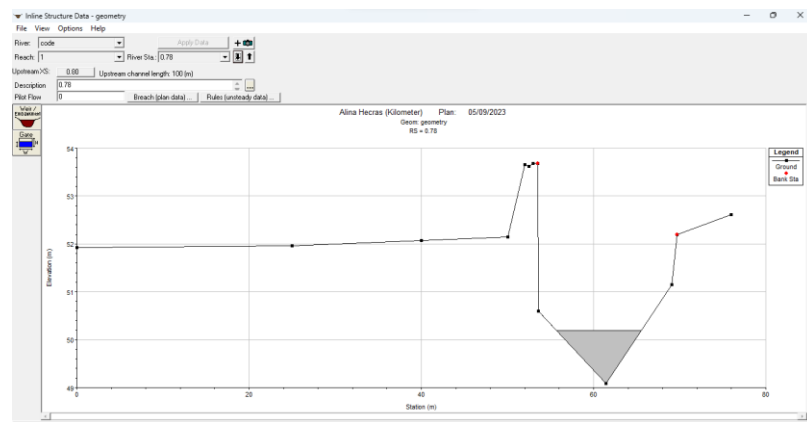
Km
15,57



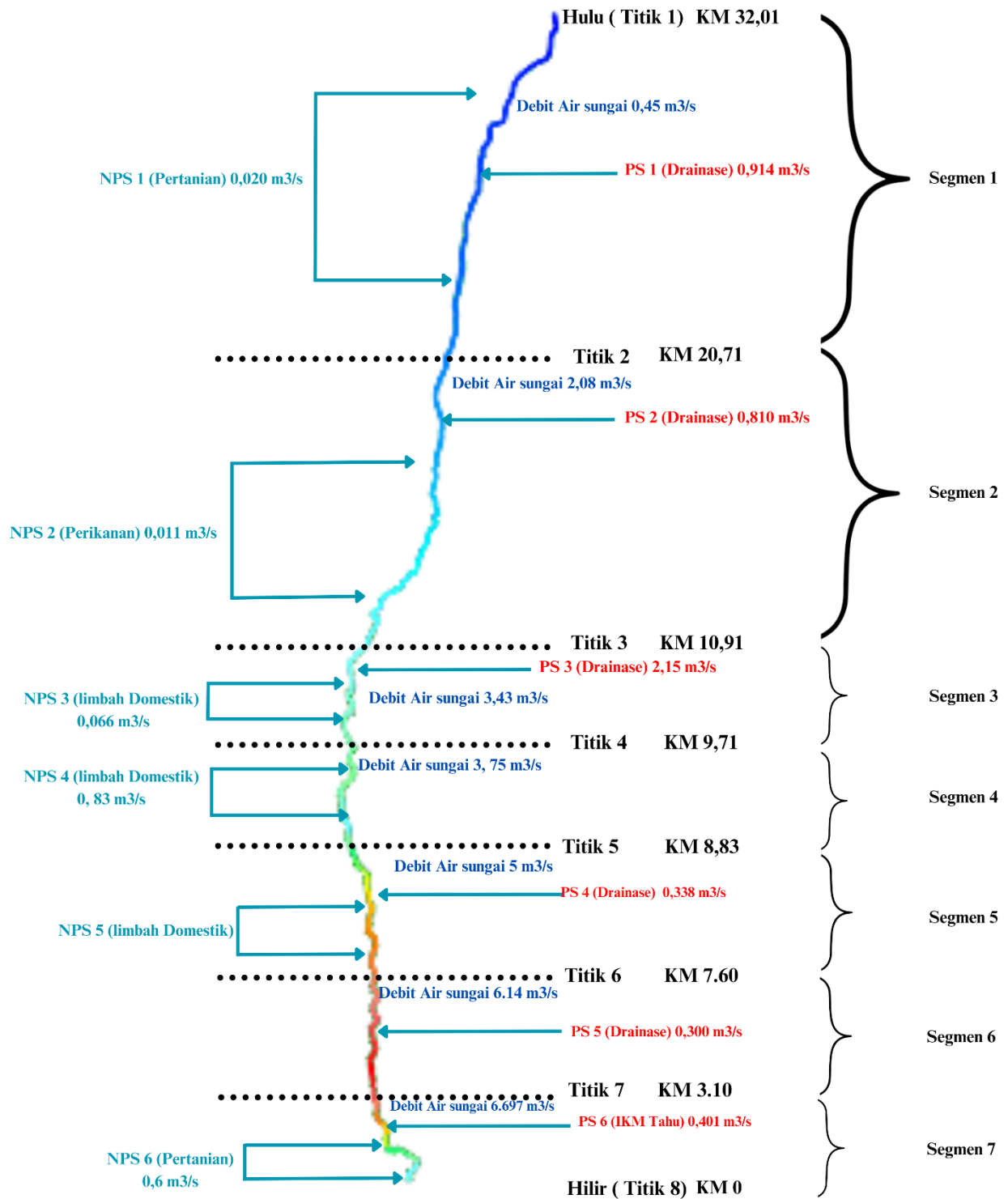
Lampiran 10 Kondisi Bendung Sungai Code Di HEC-RAS



Km 0,78



Lampiran 11. Schematic Plot



LAMPIRAN F

MANUAL HEC-RAS 4.10



**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 Alina Ishma Syahidah lahir pada tanggal 20 November tahun 2000. Saya anak bungsu dari 4 bersaudara, 2 kakak dan 1 kakak perempuan. Kedua orang tua saya bernama Ali Imdad dan Salami. Beliau berdua merupakan penopang dan pendukung utama dalam kehidupan saya. Awal sekolah di SD Negeri Banjaratma 01 lulus tahun 2015. Terus melaju ke SMP Muhammadiyah Banjaratma lulus tahun 2015. Selanjutnya saya 3 tahun SMA di Muhammadiyah Boarding School (MBS) Yogyakarta lulus tahun 2019. Kini saya mahasiswi Teknik Lingkungan UII Yogyakarta. Di kampus pun saya masih terus menekuni hobi dan bakat di olahraga bulutangkis, Juara 3 group putri dalam Liga Mahasiswa Bulutangkis se Jawa Tengah. Saya aktif di organisasi IMM sebagai sekretaris bidang tabligh dan dakwah. Saya merupakan pelajar terpilih Kelas Danone Indonesia membahas Green Planet dan Future Living Thru One Planet One Health Approach. Finalis penulisan karya ilmiah dalam event "Malachite 2.0" yang diselenggarakan oleh Universitas Pertamina. Volunteer Book For Mountain, kegiatan sukarelawan membantu pendidikan anak-anak di desa terpencil. Bendahara organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Badminton Unisi, menjadi Asisten Dosen tugas besar di semester 7 dan 8. Magang di AMIKOM Business (ABP inkubator dari Amikom Foundation, membangun eko sistem start-up teknologi terbaik di Yogyakarta, Indonesia) selama 3 bulan. Kerja praktek di BRL proyek internasional Sirkuit Mandalika.