

Optimasi Pengendalian Banjir melalui Pemodelan Numerik 1D (Studi Kasus: Kanal Banjir Timur Semarang)

Optimization of Flood Control through 1D Numerical Hydraulic Modeling (Case Study: Semarang East Flood Canal)

Afif Rachmadi^{1)*}, Marasi Deon Joubert²⁾, Agung Setya Budi³⁾, Harianto⁴⁾

^{1,2,3,4)} Balai Teknik Sungai, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jalan Solo – Kartosuro Km. 7, Pabelan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

*Corresponding author: rachmadiafif@pu.go.id

Diterima: 13 Desember 2024; Direvisi: 10 Februari 2025; Disetujui: 02 Desember 2025

Abstract

The Eastern Flood Canal of Semarang is a flood control system with a total length of 14.6 km, receiving inflows from Kali Gede through the operational gates of Pucang Gading Dam, Kali Kedung Mundu, Kali Bajak, and Kali Candi, before discharging into the Java Sea. On March 13, 2024, flooding occurred in Semarang due to operational constraints, channel blockages caused by waste accumulation, and reduced channel capacity due to material buildup along the banks, exacerbated by extreme rainfall exceeding 150 mm/day and high tides. This study aims to assess channel capacity and improve operational decision-making for the Pucang Gading Dam to enhance flood control performance and ensure community safety. Hydraulic simulations were performed using HEC-RAS version 6.2, incorporating upstream flood hydrographs and downstream tidal boundary conditions from Tanjung Mas Port. The study yielded a peak discharge of 608 m³/s, a channel capacity with freeboard of 365 m³/s (equivalent to Q₂₅), and a maximum channel capacity discharge of 526 m³/s. Overflow was observed in all scenarios analyzed, with overflow depths ranging from 5 to 40 cm. To optimize the operation of the Pucang Gading Dam, it is crucial to regulate inflow to the Eastern Flood Canal while accounting for lateral inflows from tributaries. Additionally, raising parapets by approximately 15–40 cm in strategic locations and preventing material accumulation along the channel banks is recommended. This study demonstrates the effectiveness of HEC-RAS in assessing channel capacity and formulating practical flood mitigation strategies.

Keywords: HEC-RAS 1D, Semarang East Flood Canal, operational optimization, flood control, hydraulic simulation

Abstrak

Kanal Banjir Timur Semarang merupakan sistem pengendalian banjir sepanjang 14,6 km yang menerima aliran masuk (inflow) dari Kali Gede melalui operasi pintu outlet Bendung Pucang Gading, Kali Kedung Mundu, Kali Bajak, dan Kali Candi sebelum bermuara di Laut Jawa. Pada tanggal 13 Maret 2024, Kota Semarang mengalami banjir akibat kendala operasional, tersumbatnya saluran oleh tumpukan sampah, dan berkurangnya kapasitas saluran akibat penumpukan material di bantaran. Kondisi tersebut diperparah dengan terjadinya curah hujan ekstrem (>150 mm/hari) dan pasang surut air laut yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas saluran dan perumusan keputusan operasional Bendung Pucang Gading yang lebih akurat untuk mendukung kinerja pengendalian banjir di Kanal Banjir Timur dan memastikan keselamatan penduduk Kota Semarang. Simulasi hidraulik dilakukan dengan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.2 dengan mempertimbangkan kondisi batas hidrograf banjir di hulu dan pasang surut air laut Pelabuhan Tanjung Mas di hilir. Analisis tersebut, yang mencakup lima skenario, memperoleh hasil debit saat kejadian sebesar 608 m³/s, debit kapasitas dengan freeboard sebesar 365 m³/s (setara Q₂₅), dan debit kapasitas maksimal saluran sebesar 526 m³/s. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa masih terdapat limpasan pada semua skenario yang dilakukan (5 – 40 cm). Diperlukan langkah optimalisasi pengoperasian Bendung Pucang Gading, yang membatasi aliran inflow ke Kanal Banjir Timur dengan memperhatikan lateral inflow dari anak-anak sungai. Selain itu, perlu dilakukan peninggian parapet di lokasi-lokasi strategis sekitar 15 – 40 cm dan pencegahan penumpukan material galian di bantaran saluran. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan wawasan terkait penggunaan perangkat lunak HEC-RAS dalam memodelkan kapasitas saluran dan strategi mitigasi banjir.

Kata Kunci: HEC-RAS 1D, Kanal Banjir Timur Semarang, optimasi operasi, pengendalian banjir, simulasi hidraulik.

PENDAHULUAN

Penurunan tanah dan banjir merupakan dua tantangan utama yang dihadapi oleh kota-kota pesisir di daerah delta di seluruh dunia. Kota-kota pesisir semakin terancam oleh banjir dan penurunan tanah (van Coppenolle & Temmerman, 2019; Heikoop *et al.*, 2024). Kota Semarang adalah salah satu daerah yang rentan banjir saat musim penghujan. Genangan banjir pada saat musim penghujan berada di beberapa lokasi tertentu terutama yang berada di daerah aliran sungai dan irigasi (Aini & Filjanah, 2020).

Kondisi topografis, geografis, dan hidrologis Kota Semarang menyebabkan aliran air permukaan (*runoff*) dari wilayah perbukitan mengalir cepat ke wilayah dengan relief relatif datar, yang menyebabkan air cenderung melimpas dan menimbulkan genangan (Karomah *et al.*, 2014).

Perubahan tata guna lahan dari daerah resapan ke pemukiman memicu naiknya limpasan permukaan yang menyebabkan debit sungai naik (Aprianto *et al.*, 2019). Selain itu, penduduk yang tinggal di wilayah pesisir Kota Semarang termasuk kriteria tinggi (>1000 jiwa/km²) sehingga banjir menimbulkan masalah sosial dan ekonomi yang besar (Setiyono *et al.*, 2022; Erlani & Nugrahandika, 2019; Putra & Handayani, 2013).

Topografi Kota Semarang yang berpusat di pesisir utara dan terletak di daerah dataran rendah (5-10 m di atas permukaan laut) membuatnya rentan terhadap bahaya pesisir (Marfai & King, 2008; Buchori *et al.*, 2018). Laju sedimentasi di sepanjang pantai Semarang bervariasi dari 8 hingga 15 m per tahun, sedangkan ketinggian genangan di daerah pesisir dan dataran rendah mencapai sekitar 40-60 cm dari tanah (Marfai & King, 2008; Buchori *et al.*, 2018). Kondisi tersebut menyebabkan urbanisasi dan masalah lingkungan, seperti erosi dan sedimentasi pantai, eksploitasi sumber daya air tanah yang berlebihan, penurunan tanah, genangan pasang surut, dan rob. Secara keseluruhan, situasi ini akan meningkatkan risiko banjir dan berbagai jenis kerusakan lingkungan lainnya di wilayah pesisir (Sejati & Buchori, 2010; Buchori *et al.*, 2013; Ardiansyah & Buchori, 2014; Susi *et al.*, 2017; Maulana & Buchori, 2016; Buchori *et al.*, 2018).

Berdasarkan kondisi tersebut, Pemerintah Kolonial Belanda membangun Kanal Banjir Timur (KBT) Semarang yang berfungsi sebagai pengendali banjir Kota Semarang bagian timur (Adijaya, 2015). Kanal sepanjang 14,6 km ini mendapatkan *inflow*

dari Kali Gede melalui operasi pintu *outlet* Bendung Pucang Gading, Kali Kedung Mundu, Kali Bajak, dan Kali Candi lalu bermuara di Laut Jawa.

Pada tanggal 13 Maret 2024 pukul 22.30 WIB terjadi banjir di Kota Semarang akibat luapan air dari KBT (Lestari, 2024). Kejadian ini disebabkan oleh beberapa faktor berikut:

1. Kendala operasional KBT; *Inflow* yang masuk melebihi debit rencana (Q_{25}) sehingga menyebabkan genangan di beberapa titik Kota Semarang (Gambar 1), yaitu titik 1 di Rumah Pompa Waru KBT ($-6.964829^\circ, 110.444531^\circ$), titik 2 di Rumah Pompa dan Pasar Waru ($-6.965589^\circ, 110.443162^\circ$), serta titik 3 dan 4 di Jembatan KAI dan Jembatan Pipa KBT ($-6.955634^\circ, 110.440698^\circ$).
2. Sumbatan saluran oleh sampah; Elevasi girder Jembatan KAI berada di bawah elevasi tanggul parapet, sehingga menyebabkan penumpukan sampah di alur saluran (Gambar 2).
3. Penurunan kapasitas saluran; Pemerintah Kota Semarang telah melakukan normalisasi dasar saluran melalui penggalian, namun material hasil galian ditumpuk di bantaran saluran dan tidak dibuang ke luar lokasi, sehingga kapasitas saluran berkurang (Gambar 3).
4. Faktor pemicu tambahan; Kondisi diperparah oleh hujan ekstrem (>150 mm/hari) serta pasang air laut yang tinggi di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang (Gambar 4 dan 5).



Gambar 1 Titik Genangan Banjir Tanggal 13 Maret 2024 (Sumber: BBWS Pemali Juana, 2024)



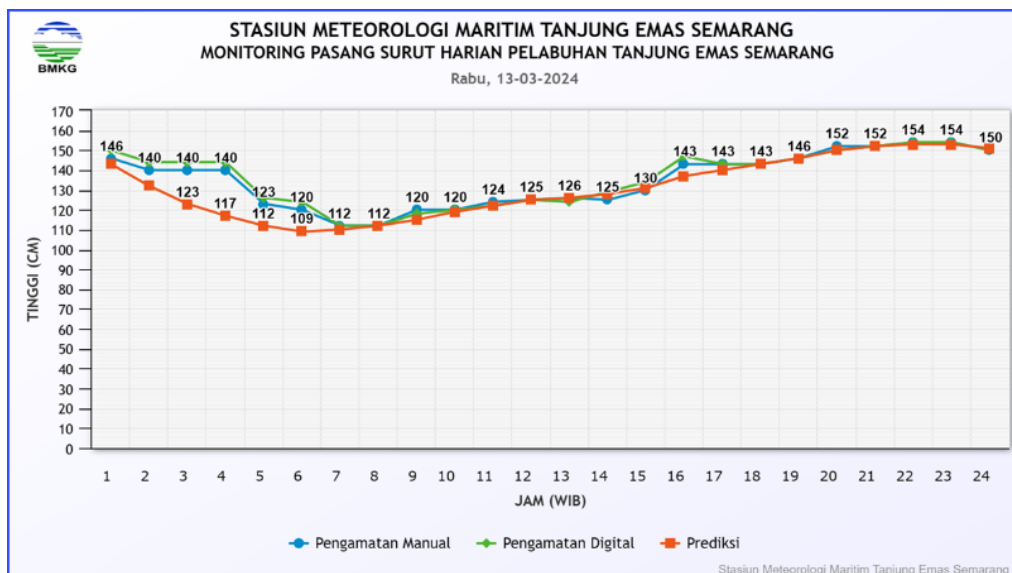
Gambar 2 Jembatan KAI (2024)



Gambar 3 Galian Normalisasi (2024)



Gambar 4 Peta Sebaran Curah Hujan Kota Semarang Tanggal 13 Maret 2024 (Sumber: BMKG Jawa Tengah, 2024)



Gambar 5 Monitoring Pasang Surut Harian Pelabuhan Tanjung Emas Semarang Tanggal 13 Maret 2024 (Sumber: BMKG Jawa Tengah, 2024)

Untuk memitigasi banjir di Kanal Banjir Timur (KBT) secara cepat dan efisien, diperlukan perencanaan darurat berbasis analisis teknis yang akurat. Salah satu pendekatan penting adalah pemodelan hidraulik, baik secara fisik maupun numerik, untuk memahami perilaku aliran di dalam sistem saluran. Pemodelan numerik dilakukan melalui tahapan konstruksi model matematis, pengembangan numerik, implementasi, dan interpretasi hasil untuk menghasilkan rekomendasi teknis (Anees *et al.*, 2016)

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan pemodelan hidraulik pada KBT. Adijaya *et al.* (2015) menemukan bahwa KBT tidak mampu menampung debit Q_{50} sehingga diperlukan restorasi alur dan bantaran saluran. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Budi *et al.* (2022), yang menyatakan masih terjadi limpasan saat debit Q_{50} , sehingga normalisasi alur diperlukan. Namun, kedua penelitian tersebut belum melakukan verifikasi terhadap kejadian banjir aktual, sehingga hasilnya belum merepresentasikan kapasitas maksimum saluran yang sesungguhnya.

Berdasarkan kondisi tersebut, studi "Pemodelan Hidraulika untuk Optimalisasi Pengendalian Banjir di Kanal Banjir Timur Semarang" ini menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak HEC-RAS yang diverifikasi dengan data kejadian banjir 13 Maret 2024 untuk memperoleh kapasitas maksimum KBT. Studi ini juga melibatkan kerja sama antara Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana, Balai Teknik Sungai, dan Direktorat Bina Teknik Kementerian PU.

Studi ini menggunakan pemodelan numerik dengan bantuan *software* HEC-RAS versi 6.2. HEC-RAS adalah perangkat lunak model hidrolis yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers* (Dimitriadis *et al.*, 2016). HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan (Istiarto, 2016).

Software HEC-RAS dipilih karena merupakan alat bantu pemodelan yang mumpuni dan sudah teruji secara global dan bahkan terkadang digunakan sebagai tolok ukur terhadap kinerja perangkat lunak simulasi hidrodinamik lainnya. HEC-RAS dapat memperkirakan profil permukaan air di sepanjang sungai dalam perhitungan hidraulik sungai aliran tunak (*steady flow*) dan tidak tunak (*unsteady flow*) termasuk pemodelan transport sedimen. Persamaan energi dan momentum digunakan untuk menurunkan persamaan 1D *Saint Venant* yang menyelesaikan

simulasi profil permukaan air (aliran tunak dan tidak tunak) dalam HEC-RAS menggunakan metode beda hingga (FDM) implisit (Zellou & Rahali, 2017; Zainalfikry *et al.*, 2020). Informasi lebih lanjut mengenai latar belakang matematis HEC-RAS dapat ditemukan dalam manual dokumentasi yang terkait (Brunner, 2024).

Keputusan untuk memilih dimensi model hidrolis yang tepat bergantung pada area studi, resolusi spasial, skala, output yang dibutuhkan, dan data lapangan yang tersedia. Meskipun terdapat model 2D dan 3D, model hidrolis 1D masih memiliki potensi karena presisinya dalam menjabarkan perilaku hidraulik sungai dan aliran air serta waktu komputasi yang lebih sedikit dengan data lapangan yang relatif minimal (Tehrani *et al.*, 2020; Kulkarni & Kale, 2023). Selain itu, analisis 1D dipilih karena komputasi model ini terbilang efisien dan memerlukan parameter yang sederhana dalam mensimulasi aliran yang besar dan kompleks. Model 1D memiliki penerapan yang terbatas namun ekonomis, akurat, memberikan informasi yang lengkap mengenai profil penampang air, dan merupakan alternatif yang cukup diminati selama aliran dapat diidentifikasi (Zainalfikry *et al.*, 2020).

Dalam studi ini, model 1D dipilih karena keterbatasan data yang tersedia serta kebutuhan untuk memperoleh hasil secara cepat, sehingga model 1D dinilai memadai untuk melakukan simulasi penanganan darurat. Selain itu, luasan utama yang dibutuhkan adalah tinggi muka air sungai, sehingga penggunaan model 1D lebih sesuai dibandingkan model 2D. Studi ini tidak memperhitungkan luas genangan dan ketersediaan data untuk proses verifikasi juga terbatas pada informasi limpasan di atas tanggul KBT.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Fisher (1992), menghasilkan beberapa rekomendasi mengenai potensi dampak morfologi dari pekerjaan perbaikan sungai adalah sebagai berikut:

- 1) Pelebaran dan pendalaman saluran dapat menyebabkan pengendapan sedimen, terutama pada konsentrasi sedimen yang tinggi. Permasalahan tersebut menjadi lebih parah di bagian hulu bangunan atau jembatan karena menurunnya kecepatan aliran.
- 2) Pelebaran saluran dapat mengakibatkan turunnya muka air, yang dapat mengakibatkan bantaran sungai tidak stabil dan erosi.
- 3) Pembangunan bendung dapat mengurangi kecepatan aliran yang dapat meningkatkan

potensi sedimentasi di hulu dan mengakibatkan erosi di bagian hilir.

- 4) Jembatan lama yang dimodifikasi dapat menimbulkan sedimentasi atau erosi ketika bagian bawah jembatan diturunkan atau dinaikkan.
- 5) Jika penampang sungai di bawah jembatan diperkecil hingga sangat membatasi aliran dan menyebabkan aliran masuk yang besar, maka dapat menyebabkan kenaikan muka air dan pengendapan di bagian hulu jembatan.

Dari hasil studi tersebut, studi ini tidak merekomendasikan modifikasi pada infrastruktur melintang sungai karena dapat berpotensi menimbulkan sedimentasi maupun erosi, meskipun terdapat kondisi *bottle neck* pada Jembatan KAI dan Jembatan Pipa. Berdasarkan Perda Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2011 mengenai Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011–2031, wilayah Kanal Banjir Timur termasuk dalam Program Sistem Jaringan Sumber Daya Air, khususnya prasarana pengendali banjir. Dengan mempertimbangkan ketentuan tersebut, studi ini memfokuskan rekomendasi pada upaya pembatasan debit yang masuk ke KBT agar fungsi KBT sebagai pengendali banjir tetap terjaga.

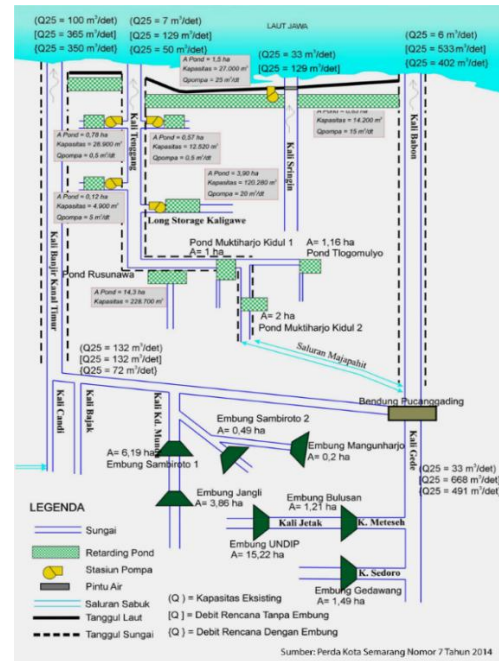
METODOLOGI

Lokasi Studi

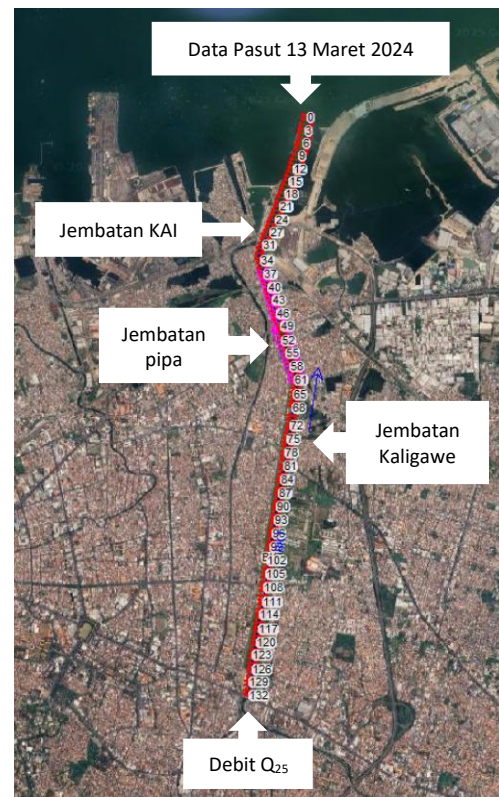
Studi dilakukan di Kanal Banjir Timur (KBT), Semarang, dengan bagian hulu adalah Bendung Pucang Gading dan bagian hilir adalah Laut Jawa. Skema drainase beserta *inflow* dan debit rencana KBT Semarang ditunjukkan pada Gambar 6.

Metodologi Studi

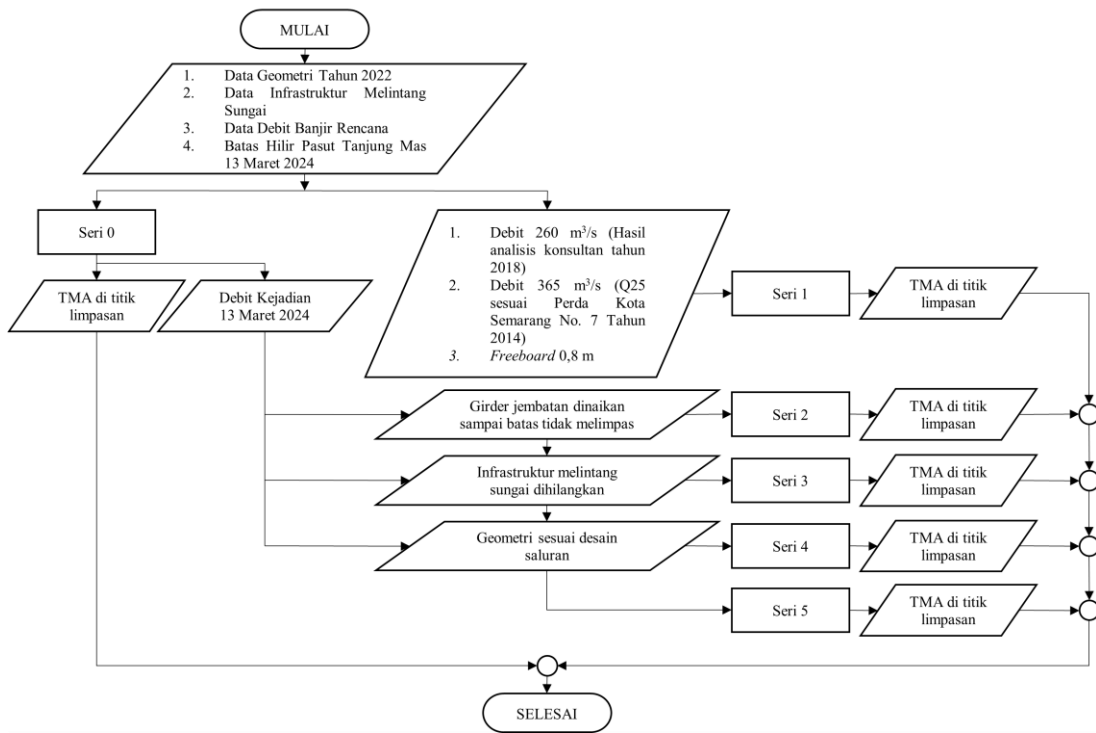
Analisis dalam studi ini dibagi menjadi enam seri, seperti yang disajikan pada Tabel 1. Setiap seri menggambarkan hubungan antara faktor penyebab banjir di KBT Semarang dan tinggi limpasan yang terjadi. Luaran dari analisis ini berupa tinggi muka air pada titik-titik limpasan (Gambar 1), yang digunakan sebagai dasar dalam penentuan solusi penanganan banjir. Skema pemodelan pada HEC RAS 1D ditunjukkan pada Gambar 7. Prosedur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada bagan alir (Gambar 8).



Gambar 6 Skema Sistem Drainase di KBT (Sumber: Perda Kota Semarang Nomor 7 Tahun 2014)



Gambar 7 Skema Pemodelan HEC RAS 1D



Gambar 8 Bagan Alir Studi

Tabel 1 Skenario Pemodelan Hidraulik

No	Seri	Keterangan
1	Seri 0 (Back Analysis kejadian limpasan 13 Maret 2024)	1. Data Geometri 2022 & DED KBT dari CTI Engineering International (2016) (di-update dengan pengukuran parapet setelah kejadian) 2. Infrastruktur melintang sungai (Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe) 3. Batas Hilir Pasut Tanjung Mas 13 Maret 2024 4. Simulasi diskenariokan melimpas 15 cm di atas parapet (observasi dan info dari BBWS serta masyarakat sekitar)
2	Seri 1 (Kapasitas Sungai eksisting)	Sama seperti seri 0, hanya simulasi diskenariokan tidak sampai melimpas parapet/tanggul, debit 260 m ³ /s dan 365 m ³ /s
3	Seri 2	Sama seperti Seri 0, hanya girder Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe dinaikan sampai batas tidak melimpas
4	Seri 3	Sama seperti Seri 0, hanya Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe dihilangkan
5	Seri 4	Sama seperti seri 0, hanya menggunakan desain saluran semula
6	Seri 5	Sama seperti seri 4, hanya dilakukan analisis ketika Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe dihilangkan dan girdernya dinaikkan sampai batas tidak melimpas

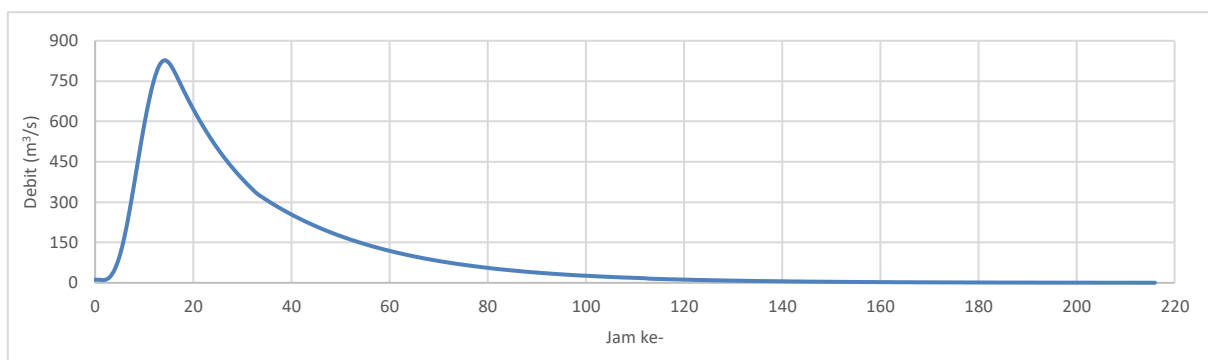
Data Studi

Data utama yang diperlukan dalam pembuatan model hidraulik adalah data medan DEM atau penampang melintang yang disurvei. Aliran ditentukan di lokasi paling hulu dari setiap sungai/anak sungai dan di persimpangan (Dey & Merwade, 2020). Selain itu, batas hulu dalam pemodelan ditetapkan pada outlet Bendung Pucang Gading dan batas hilir pada muara KBT ke Laut Jawa. Data debit banjir rencana (Q₂₅) yang ditunjukkan pada Gambar 9 diperoleh dari hasil analisis hidrologi yang dilakukan oleh BBWS Pemali Juana.

Studi ini menggunakan data masukan (*input*) berupa data primer dan sekunder seperti yang tersaji pada Tabel 2. Pengambilan data primer dilakukan dengan pengukuran elevasi parapet dan bangunan melintang sungai (Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe), sedangkan data sekunder diperoleh dengan diskusi dan wawancara dengan pengelola dan masyarakat terdampak, data yang diperoleh dari berbagai instansi, dan studi literatur dari hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya. Data sekunder digunakan untuk efisiensi waktu dan biaya studi.

Tabel 2 Data Studi

No	Nama Data	Asal Data	Tahun	Keterangan	Fungsi
1	Data Geometri	BBWS Pemali Juana & Balai Teknik Sungai	2024	Primer dan Sekunder	Geometric Data
2	Infrastruktur melintang Sungai (Jembatan KAI, Jembatan Pipa, dan Jembatan Kaligawe)	BBWS Pemali Juana	2024	Sekunder	Geometric Data
3	Debit banjir rencana KBT (Q_{25})	BBWS Pemali Juana	2024	Sekunder	Flow Data
4	Batas Hilir Pasang Surut Tanjung Mas 13 Maret 2024	Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Emas Semarang	2024	Sekunder	Boundary Condition
5	Debit rancangan 260 m^3/s	Hasil analisis konsultan tahun 2018	2018	Sekunder	Flow Data
6	Debit rancangan 365 m^3/s	Q_{25} sesuai Perda Kota Semarang No. 7 Tahun 2014	2014	Sekunder	Flow Data



Gambar 9 Hidrograf Banjir Rencana (Sumber: BBWS Pemali Juana, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Studi

Simulasi pertama yang dilakukan adalah Seri 0. Seri ini dilakukan dengan memodelkan KBT menggunakan data geometri tahun 2022 dan menambahkan bangunan melintang sungai (*inline structure*) berupa jembatan KAI dan jembatan pipa. Batas hulu simulasi (*cross section* awal) menggunakan debit banjir rencana Q_{25} (Gambar 9), sedangkan batas hilir berupa pasang surut air laut di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Debit Q_{25} dipilih karena akan dilakukan *back analysis* dengan melakukan verifikasi hasil pemodelan, yaitu membaca debit yang terjadi saat limpasan >15 cm di atas elevasi puncak parapet untuk memperoleh debit kejadian tanggal 13 Maret 2024. Hasilnya adalah debit kejadian sebesar 608 m^3/s . Grafik tinggi muka air ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada Seri 1, dilakukan analisis kapasitas sungai melalui perbandingan debit dan tinggi muka air hasil simulasi. Ketika tinggi muka air menyentuh elevasi top parapet, kapasitas maksimal saluran diperoleh sebesar 526 m^3/s . Ketika tinggi muka air mencapai elevasi puncak parapet ditambah *freeboard*, debit kapasitas dengan *freeboard* adalah 365 m^3/s , yang sesuai dengan Q_{25} berdasarkan Perda Kota Semarang No. 7 Tahun 2014. Simulasi tambahan menggunakan debit 260 m^3/s (analisis konsultan 2018) dan 365 m^3/s (Perda Kota

Semarang No. 7 Tahun 2014) menghasilkan *freeboard* masing-masing 1,1 m dan 0,8 m. Grafik tinggi muka air ditampilkan pada Gambar 11 dan 12.

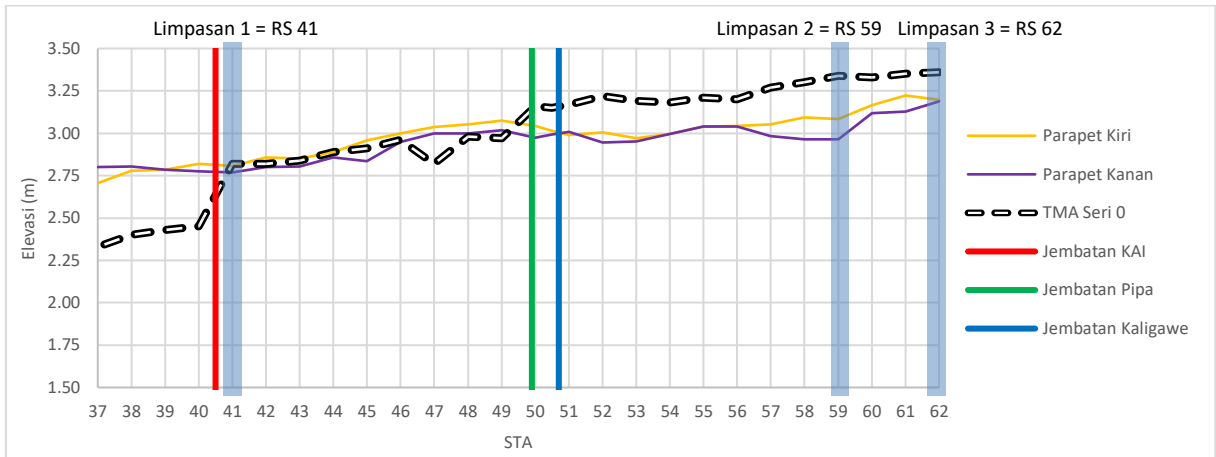
Pada Seri 2 dan 3, batas hulu diubah menjadi debit kejadian tanggal 13 Maret 2024. Seri 2 dijalankan dengan menaikkan girder jembatan KAI, jembatan pipa, dan jembatan Kaligawe, kemudian hasil yang didapatkan adalah tinggi muka air. Seri 3 memodelkan kondisi tanpa jembatan KAI, jembatan pipa, dan jembatan Kaligawe yang menghasilkan tinggi muka air. Grafik hasil simulasi untuk Seri 2 dan Seri 3 masing-masing ditampilkan pada Gambar 13 dan 14.

Pada Seri 4, geometri saluran diubah menjadi desain KBT semula sebelum adanya tumpukan galian normalisasi yang selanjutnya dianalisis untuk menghasilkan tinggi muka air. Seri 5a dilakukan dengan menaikkan girder jembatan KAI, jembatan pipa, dan jembatan Kaligawe, sedangkan Seri 5b dilakukan dengan menghilangkan jembatan KAI, jembatan pipa, dan jembatan Kaligawe. Hasil tinggi muka air dari kedua skenario ini kemudian dibaca. Grafik simulasi untuk Seri 4 dan Seri 5 ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16.

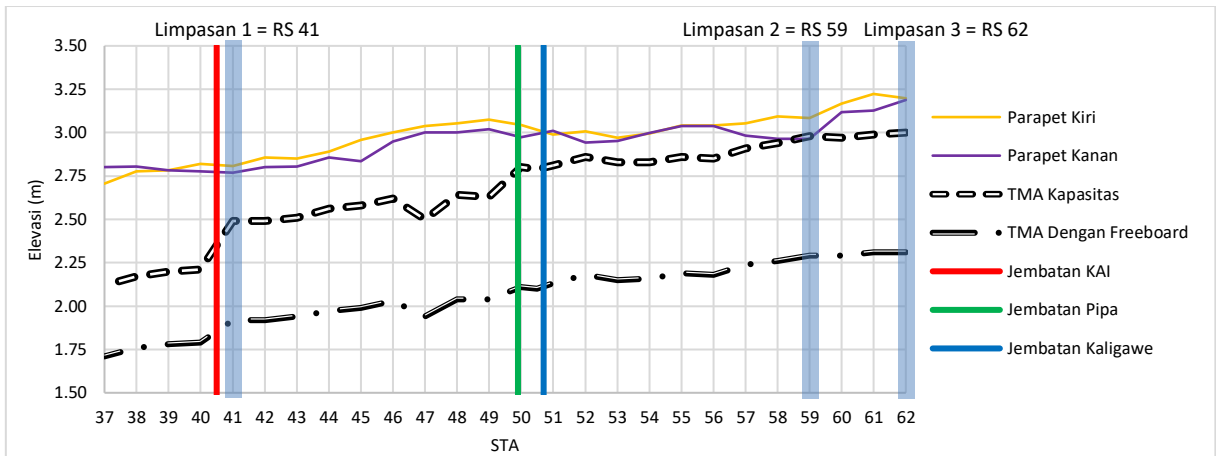
Seluruh hasil tinggi muka air kemudian dibaca pada titik-titik limpasan sebagai berikut:

1. Titik limpasan 1 : RS 41
2. Titik limpasan 2 : RS 59
3. Titik limpasan 3 : RS 62

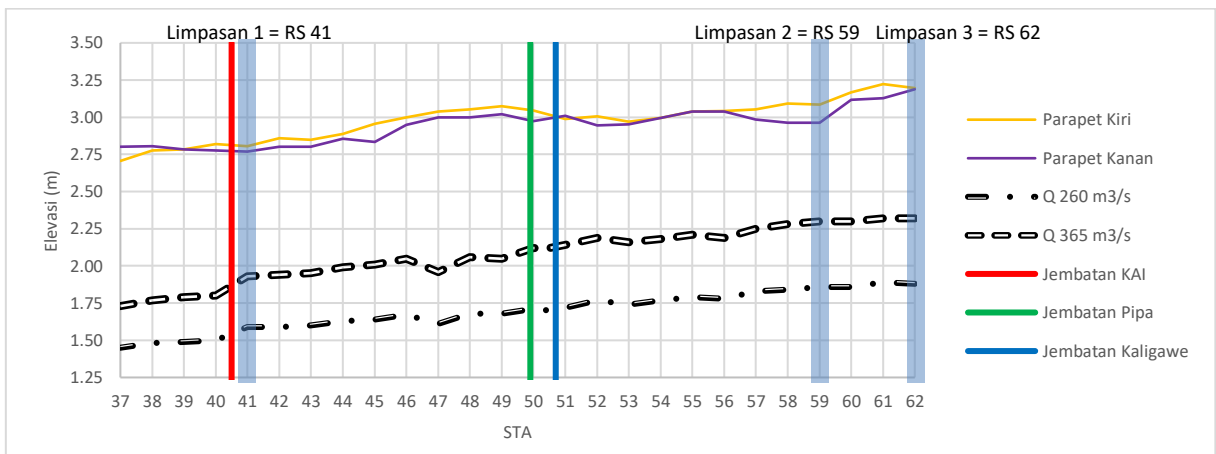
Dari hasil tinggi muka air tersebut, dilakukan perbandingan dengan elevasi top parapet untuk memperoleh nilai tinggi limpasan. Tinggi limpasan dari setiap seri simulasi kemudian dibandingkan guna menentukan skenario yang menghasilkan kinerja paling optimal.



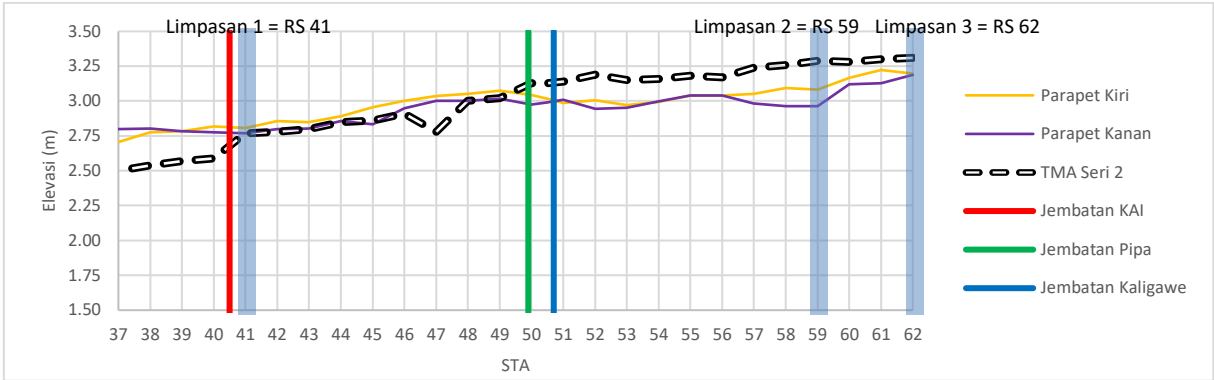
Gambar 10 Grafik Tinggi Muka Air Seri 0



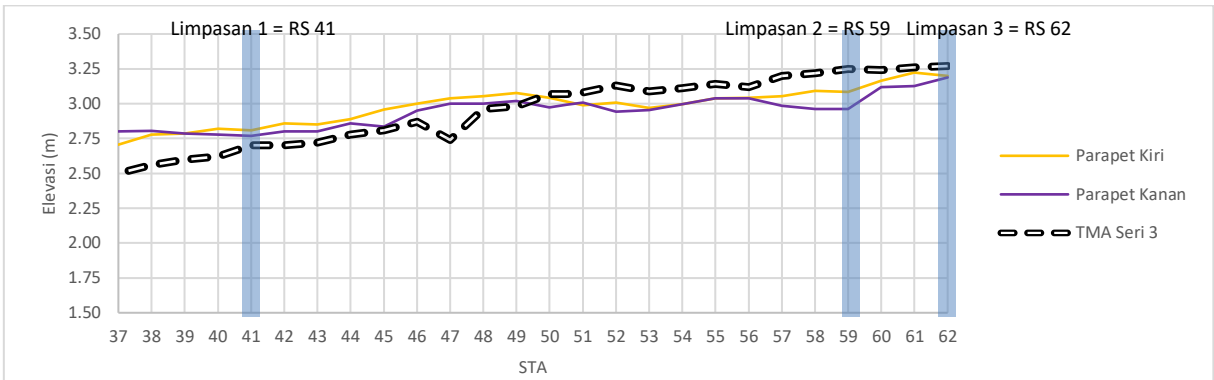
Gambar 11 Grafik Tinggi Muka Air Seri 1



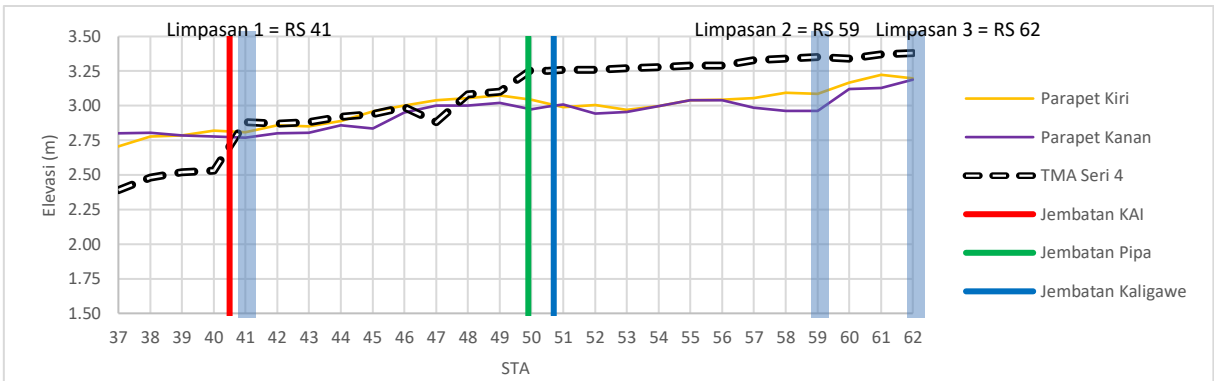
Gambar 12 Grafik Tinggi Muka Air Seri 1 (lanjutan)



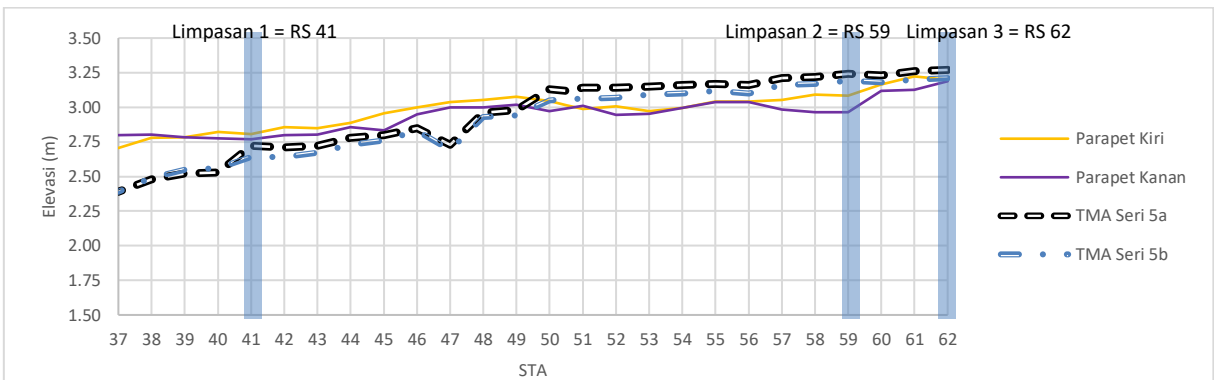
Gambar 13 Grafik Tinggi Muka Air Seri 2



Gambar 14 Grafik Tinggi Muka Air Seri 3



Gambar 15 Grafik Tinggi Muka Air Seri 4



Gambar 16 Grafik Tinggi Muka Air Seri 5

Pembahasan

Dari hasil simulasi Seri 0 (*back analysis*), diketahui bahwa penyebab banjir tanggal 13 Maret 2024 adalah tingginya curah hujan yang menyebabkan debit yang mengalir ke KBT (608 m³/s) melebihi kapasitas tampung saluran (526 m³/s). Selanjutnya dari rekapitulasi hasil tinggi muka air di titik limpasan (Tabel 3), tinggi limpasan terkecil terdapat pada Seri 3 dan Seri 5b, yaitu simulasi dengan menghilangkan infrastruktur melintang sungai. Selain itu pada Seri 4, tinggi limpasan titik limpasan 3 turun drastis dan semakin ke hilir jembatan semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *bottle neck* di Jembatan KAI dan Jembatan Pipa sangat berpengaruh pada tinggi limpasan.

Pada Seri 4 tinggi limpasan pada titik limpasan 3 sangat rendah karena geometri saluran dikembalikan seperti pada desain sehingga menambah kapasitas saluran. Selain itu, limpasan terendah terjadi pada Seri 5b yaitu dengan mengembalikan geometri saluran seperti pada desain dan menghilangkan infrastruktur melintang sungai. Hal ini menunjukkan penambahan kapasitas saluran berpengaruh pada penurunan tinggi limpasan.

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Simulasi

No.	Seri	Limpasan (cm)			Penurunan Limpasan (cm)		
		RS 41	RS 59	RS 62	RS 41	RS 59	RS 62
1	0	5,1	37,7	17,2	-	-	-
2	2	0,1	32,7	0	5	5	17,2
3	3	0	28,7	0	5,1	9	17,2
4	4	11,1	38,7	2	-6	-1	15,2
5	5a	0	27,7	0	5.1	10	17,2
6	5b	0	22,7	0	5.1	15	17,2

Hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa perbaikan geometri saluran sesuai desain awal tanpa modifikasi infrastruktur melintang memberikan kinerja hidraulik paling optimal dan paling aman secara morfologis. Pendekatan ini direkomendasikan sebagai langkah prioritas dalam perencanaan pengendalian banjir KBT Semarang.

Debit *inflow* yang masuk KBT sebagai sistem pengendalian banjir Kota Semarang perlu dibatasi sebesar 365 m³/s dengan menyediakan tinggi jagaan (*freeboard*) atau sebesar 526 m³/s untuk kondisi kritis tanpa *freeboard*. Diperlukan pula peninggian parapet di lokasi-lokasi strategis sekitar 15 – 40 cm dan pencegahan penumpukan material galian di bantaran saluran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi pemodelan hidraulik menggunakan HEC-RAS, diperoleh bahwa debit kejadian banjir tanggal 13 Maret 2024 mencapai 608 m³/s, melebihi debit rencana Kanal Banjir Timur (KBT) Semarang sebesar 365 m³/s. Kapasitas maksimum KBT dengan *freeboard* setara dengan debit rencana Q25 sebesar 365 m³/s, sedangkan kapasitas maksimum tanpa *freeboard* (kondisi kritis) mencapai 526 m³/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kenaikan tinggi limpasan terutama disebabkan oleh hambatan aliran (*bottle neck*) di Jembatan KAI dan Jembatan Pipa. Perubahan geometri saluran yang tidak sesuai desain juga menurunkan kapasitas aliran secara signifikan.

Selain itu, terdapat beberapa hal yang perlu menjadi perhatian yaitu diperlukan kajian lebih lanjut terkait sistem pembagian aliran dan operasi pintu air di Bendung Pucang Gading dengan batasan kapasitas maksimal ke KBT dan memperhatikan *lateral inflow* dari anak Sungai KBT (Kali Candi, Kali Bajak & Kali Mundu), kajian hidrologi lanjutan khususnya penentuan nilai parameter DAS untuk menghasilkan hidrograf banjir yang lebih akurat dan mengakomodasi perubahan tata guna lahan di Kota Semarang, serta pengukuran dimensi KBT lanjutan untuk memperbarui data dimensi saluran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah mendukung terwujudnya studi ini, terutama kepada Kepala Balai Teknik Sungai, dan para pegawai di lingkungan Balai Teknik Sungai, atas kerjasama dan bantuannya selama pengerjaan studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adijaya, K., Prianto, W., Suripin, & Budienny, H. (2015). Penataan Kanal Banjir Timur Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 313–323. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>

Aini, I. N., & Filjanah, Q. (2020). Pola pengendali banjir pada Sungai Tenggang Kecamatan Genuk Kota Semarang dengan menggunakan metode HEC-RAS. *Science And Engineering National Seminar 5 (SENS 5)*, 5, 96–103. <https://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1331>

Anees, M. T., Abdullah, K., Nawawi, M. N. M., Ab Rahman, N. N. N., Piah, A. R. M., Zakaria, N. A., Syakir, M. I., & Mohd. Omar, A. K. (2016). Numerical modeling techniques for flood analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 124,

- 478–486.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.10.001>
- Aprianto, W. K., Sanjoto, T. B., & Tjahjono, H. (2019). Pemodelan Banjir di Sub Daerah Aliran Sungai Banjir Kanal Timur Kota Semarang. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional) Journal*, 8(2), 150–156.
<https://doi.org/10.15294/geoimage.v8i2.33608>
- Aradiansyah, D. A., & Buchori, I. (2014). Pemanfaatan Citra Satelit untuk penentuan lahan kritis mangrove di Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Geoplanning: J. Geomatics Planning*, 1(1), 1–12.
<https://doi.org/10.14710/geoplanning.1.1.1-12>
- Brunner, G. W. (2024). HEC-RAS River Analysis System: hydraulic reference manual, Version 6.5. *US Army Corps of Engineers–Hydrologic Engineering Center*.
- Buchori, I., Nugroho, Y. A., Susilo, J., Prasetyaning, D., & Nugroho, H. (2013). Model kesesuaian lahan berbasis kerawanan bencana alam, uji coba: Kota Semarang. *TATALOKA*, 15(4), 293–305.
<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/tataloka/article/view/283/200>
- Buchori, I., Pramitasari, A., Sugiri, A., Maryono, M., Basuki, Y., & Sejati, A. W. (2018). Adaptation to coastal flooding and inundation: mitigations and migration pattern in Semarang City, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 163, 445–455.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.07.017>
- Budi, P., Wahyudi, S. I., Niam, M. F., & Prasetyo, D. (2022). Simulasi dan evaluasi limpasan saat debit maksimum kanal banjir timur Kota Semarang. *BRILIANT: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 7(2), 512–521. <https://doi.org/10.28926/briliant.v7i2.963>
- CTI Engineering International. (2016). *Detailed Design of East Floodway Final Report*.
- Dey, S., & Merwade, V. (2020). *1D HEC-RAS model development using RAS-Mapper*. <http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/rasmapper.pdf>
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., & Efstratiadis, A. (2016). Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. *Journal of Hydrology*, 534, 478–492.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020>
- Erlani, R., & Nugrahandika, W. H. (2019). Ketangguhan Kota Semarang dalam menghadapi bencana banjir pasang air laut (Rob). *Journal of Regional and Rural Development Planning (Jurnal Perencanaan Pembangunan Wilayah Dan Perdesaan)*, 3(1), 47–63.
<https://doi.org/10.29244/jp2wd.2019.3.1.47-63>
- Fisher, K. R. (1992). *Morphological effects of river improvement works: case studies*. <https://eprints.hrwallingford.com/326/1/SR151.pdf>
- Heikoop, R., Verbraeken, R., Wahyudi, S. I., & Adi, H. P. (2024). Stakeholder engagement in urban water management: a SWOT analysis of the Banger polder system in Semarang. *Environmental Challenges*, 14.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100831>
- Istiarto. (2016). *Modul Tutorial HEC-RAS*. <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.php> (accessed June 27, 2024)
- Karomah, M. A., Nugraha, A. L., & Wijaya, A. P. (2014). Analisis area luapan banjir akibat kenaikan debit air berbasis sistem informasi geografis (studi kasus: DAS Banjir Kanal Timur Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(4), 231–243.
<https://doi.org/10.14710/jgundip.2014.6819>
- Kulkarni, A. D., & Kale, G. D. (2023). Comparative study of 1D hydraulic models simulation performed for the Panchganga River Reach by using HEC-RAS and MIKE HYDRO River software. *Water Resources*, 50(2), S144–S153.
<https://doi.org/10.1134/S0097807823601048>
- Lestari, H. P., 2024. *Update Sungai Banjir Kanal Timur (BKT) Semarang yang Meluap Sejak Tadi Malam*. <https://semarang.bisnis.com/read/20240314/535/1749115/update-sungai-banjir-kanal-timur-bkt-semarang-yang-meluap-sejak-tadi-malam> (accessed June 13, 2024)
- Maulana, V. R., & Buchori, I. (2016). Kesesuaian rencana tata ruang wilayah terhadap resiko bencana rob dan genangan di wilayah pesisir Kota Semarang. *Jurnal Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 5(1), 41–50.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pwk/article/view/10680>
- Marfai, M. A., & King, L. (2008). Potential vulnerability implications of coastal inundation due to sea level rise for the coastal zone of Semarang City, Indonesia. *Environmental Geology*, 54(6), 1235–1245.
<https://doi.org/10.1007/s00254-007-0906-4>
- Perda Kota Semarang tentang rencana induk sistem drainase Kota Semarang Tahun 2011 – 2031, Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 7 Tahun 2014 (2014).
- Perda Kota Semarang tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2011 Tentang

- Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031. Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2021 (2021).
- Putra, A. D., & Handayani, W. (2013). Kajian bentuk adaptasi terhadap banjir dan rob berdasarkan karakteristik wilayah dan aktivitas di Kelurahan Tanjung Mas. *Jurnal Teknik PWK*, 2(3), 786–796. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/pwk/article/view/2935>
- Sejati, A. W., & Buchori, I. (2010). A GIS model for predicting disaster prone areas affected by global sea-level rise: a case study of Semarang City. *ICRD Proceeding*. <http://eprints.undip.ac.id/48470/>
- Setiyono, H., Bambang, A. N. B., Helmi, M., & Yusuf, M. (2022). Effect rainfall season on coastal flood in Semarang City, Central Java, Indonesia. *International Journal of Health Sciences*, 6(S1), 7584–7595. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns1.6618>
- Susi, T., Buchori, I., Rudiarto, I., & Sutrisno, H. (2017). The Survival strategies of transmigrants in peatland case study: Basarang Jaya Village, Central Kalimantan. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(8), 416–423. https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_08_08_042
- Tehrani, M. J., Helfer, F., Zhang, H., Jenkins, G., & Yu, Y. (2020). Hydrodynamic modelling of a flood-prone tidal river using the 1D model MIKE HYDRO River: calibration and sensitivity analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8049-0>
- Van Coppenolle, R., & Temmerman, S. (2019). A global exploration of tidal wetland creation for nature-based flood risk mitigation in coastal cities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106262>
- Zainalfikry, M.K., Ab Ghani, A., Zakaria, N.A., Chan, N.W. (2020). HEC-RAS One-Dimensional Hydrodynamic Modelling for recent major flood events in Pahang River. In: *Mohamed Nazri, F. (eds) Proceedings of AICCE'19. AICCE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 53. Springer, Cham, Germany.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-32816-0_83
- Zellou, B., & Rahali, H. (2017). Assessment of reduced-complexity landscape evolution model suitability to adequately simulate flood events in complex flow conditions. *Natural Hazards*, 86(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2671-8>