

Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Retno T. Nalarsih

Jurusan Teknik Sipil Universitas Veteran Bantara Sukoharjo
Jl. Letjend Sujono Humardani No.1, Sukoharjo, Jawa Tengah, Indonesia, 57521

Abstrak

Banjir yang terjadi di Kijang Kota, Kecamatan Bintang Timur, Kabupaten Bintang dipengaruhi oleh kecepatan angin, kelembaban udara, temperatur, elevasi, dan tekanan udara yang mengakibatkan curah hujan tinggi, mempengaruhi infiltrasi, genangan, dan kinerja drainase. Penelitian ini menggunakan metode spasial HECRAS untuk mendapatkan area banjir dan genangan diikuti pendekatan Sistem Dinamik (SD). Hasil spasial yang diintegrasikan model SD memberikan strategi yang terarah, secara real time. Hasil simulasi HECRAS sepanjang drainase Hilir hingga Hulu terjadi banjir, berkarakter genangan. Solusi drainase longstorage dan di Kampung Pisang dipasang pintu klep drainase sekunder ke primer dan kesepakatan konservasi SDA yang terintegrasi pemeliharaan drainase serta lahan semak belukar menambah DTA. Keuntungan unik dari model HECRAS dan SD adalah program konservasi bekerja maksimal saat mengintervensi infiltrasi sebesar 30%, artinya kinerja konservasi dalam penyelesaian masalah drainase harus dilakukan sebesar 30% dari keseluruhan kegiatan konservasi tersebut. SD mampu membuat simulasi dan solusi secara real time, dimana Submodel berikutnya nilai genangan turun sehingga beban drainase turun, dari kedua sub model tersebut terbukti bahwa nilai rawan banjir turun, dapat selesai pada tahun ke 4, dan tahun berikutnya harus membuat pengembangan solusi sesuai kebutuhan konservasi dan kinerja drainase.

Kata kunci: sistem dinamik; genangan; konservasi; hydrologic engineering center's-river analysis system (HECRAS); kerentanan bencana banjir

Abstract

[**Title: Dynamic Systems and HECRAS as Decision Making Tools Flooding Resilience Models**] The flood that occurred in Kijang City, East Bintang District, Bintang Regency was affected by wind speed, air humidity, temperature, elevation, and air pressure resulting in high rainfall, affecting infiltration, inundation, and drainage performance. This research employs the spatial HECRAS to obtain flood and inundation areas followed by the Dynamic System (DS). Spatial results integrated with the SD model give a targeted strategy in real-time. The results of the HECRAS simulation along the Downstream to Upstream drainage occurred flooding, with the character of inundation. Longstorage drainage solutions in Kampung Pisang installed secondary to primary drainage valve doors and an agreement on natural resource conservation that integrates drainage maintenance and shrubland to add to the DTA. The unique advantage of the HECRAS and DS models is that conservation programs work optimally when intervening infiltration by 30%, meaning that conservation performance in solving drainage problems must be carried out by 30% of the total conservation activities. DS can make simulations and solutions in real-time, where the next submodel has a decrease in inundation value so that the drainage load decreases, from the two sub-models it is proven that as a result of the flood-prone value falling, it can be completed in the 4th year, and the next year must make the development of solutions according to the needs of conservation and drainage performance.

Keywords: dynamics system; inundation; conservation; hydrologic engineering center's-river analysis system (HECRAS); flood disaster vulnerability

*) Penulis Korespondensi.
E-mail: nalarsih@gmail.com

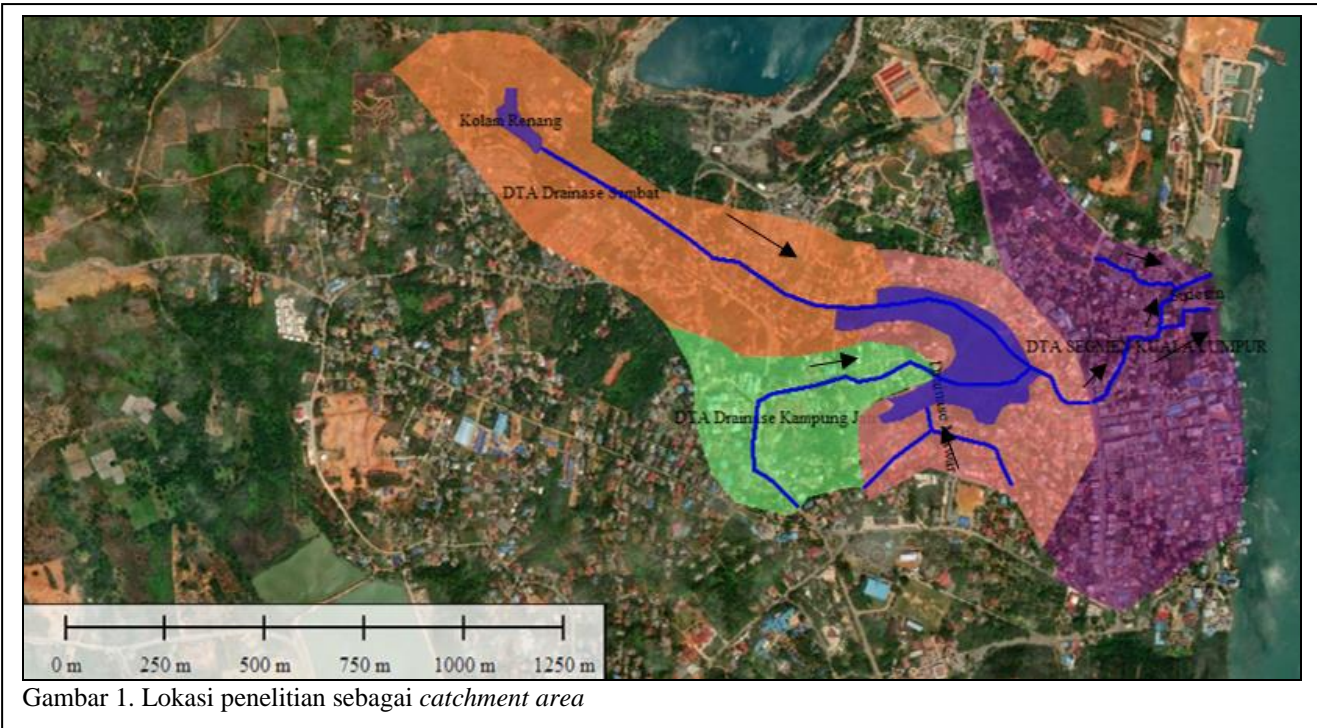
1. Pendahuluan

Banjir merupakan bencana yang sangat penting untuk mendapatkan solusi secepatnya, menimbulkan ketidaknyamanan pada populasi tertinggi di dunia (Desalegn & Mulu, 2021; Nalarsih et al., 2024; Prastica et al., 2018; Rangari et al., 2019). Terlebih hidrometeorologi yang ekstrim (Khattak et al., 2016). Banjir genangan sangat merusak bangunan (Islam et al., 2016). Kondisi wilayah, kedalaman genangan, debit yang besar dan waktu yang lama sangat mempengaruhi kerusakan (Gao et al., 2021). Diteliti pula variasi genangan musiman dan antar tahunan berdasarkan perkiraan laju hujan (Prigent et al., 2007). Pemicu lain yaitu peningkatan proyeksi penduduk dan urbanisasi, (Desalegn & Mulu, 2021; Kitsikoudis et al., 2021) degradasi lahan (Appiah et al., 2024; Desalegn & Mulu, 2021; Dinis et al., 2021; Nalarsih et al., 2020). Dampak perubahan iklim (Kitsikoudis et al., 2021; Nalarsih, 2021; Umugwaneza et al., 2021), pengaruh curah hujan tinggi (Nalarsih, 2023; Prigent et al., 2007; Umugwaneza et al., 2021), dan hubungan yang erat dampak deforestasi (Appiah et al., 2024; Nalarsih, 2021; Nalarsih et al., 2024).

Managemen lahan terhadap infiltrasi dan kekasaran permukaan menyebabkan debit banjir lebih tinggi, puncak banjir lebih sensitif terhadap perubahan

(Kastridis & Stathis, 2020), karena penggunaan lahan yang tidak terkendali dan peraturan harus diterapkan (Nalarsih et al., 2024). Kebijakan penggunaan lahan merupak hal yang sangat penting (Oduro Appiah et al., 2021), lebih lanjut perlunya penciptaan dan penegakan strategi perencanaan dan pengelolaan hal yang berhubungan dengan manusia (Appiah et al., 2024). Terutama rancangan sistem drainase dan evaluasi risiko banjir yang akurat sangat penting bagi ketahanan daerah (Kitsikoudis et al., 2021). Hal ini dapat dilakukan harus memahami dinamika hidrolik di drainase yang merupakan jenis saluran terbuka, dimana skenario drainase dan sungai di dunia nyata, menjadi hal yang sangat penting (Magdalena et al., 2024). Pihak lain telah mempelajari penilaian risiko banjir, identifikasi bahaya, dan kerentanan banjir menggunakan penginderaan jauh dan teknik GIS dengan bantuan morfometri dan karakteristik hidrologi, keputusan statistik dan multi-kriteria (Desalegn & Mulu, 2021; Nalarsih, 2021, 2023; Nalarsih et al., 2024).

Teknologi yang berkembang, guna analisis dan simulasi hidrologi menggunakan HECRAS, variabel utama curah hujan limpasan, skenario curah hujan yang berbeda-beda (Ibrahim et al., 2024a; Rangari et al., 2019) luaran dan analisis terhadap hidrograf (Kastridis & Stathis, 2020; Prastica et al., 2018). Puncak banjir



lahan (Khattak et al., 2016; Saghafian et al., 2008). Perbukitan yang relatif curam signifikan terhadap banjir genangan (Dinis et al., 2021). Hal terpenting adalah kerusakan geomorfologi oleh campur tangan manusia

pada kala ulang 50, 100, dan 200 tahun (Ibrahim et al., 2024b). Sintetik Nakayasu dengan periode 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun (Prastica et al., 2018), mengidentifikasi dan menganalisis secara spasial

genangan banjir (Qian et al., 2024; Rangari et al., 2019). Dilanjutkan referensi silang hasil numerik kami dengan hasil HEC-RAS untuk menguji kekuatan dan keakuratan model kami dalam memprediksi ketinggian dan kecepatan air dalam berbagai kondisi (Magdalena et al., 2024).

Secara terpisah pihak lain melakukan penilaian dengan Sistem Dinamik secara global. Model Sistem Dinamika (SD) digunakan secara berkelanjutan sebagai pendekatan yang ramah pemangku kepentingan dalam pemodelan Sumber Daya Air (SDA) partisipatif (Harms et al., 2023), dikatakan pula pendekatan umpan balik yang kompleks (Astuti & Mallongi, 2020). Membantu membuat keseimbangan antara pengambil keputusan secara teori dan kondisi riil (Gabino & Hernández, 2022; Joakim et al., 2016). Mampu mewujudkan hubungan timbal balik secara comprehensive (Harms et al., 2023; Nikolic & Simonovic, 2015; Qin Huanhuan et al., 2016), tetapi memiliki kekurangan dalam menganalisis secara spasial (Nikolic & Simonovic, 2015), sehingga sangat diperlukan metode pendukung salahsatunya berbasis temporal GIS (Nalarsih, 2023). Mengkonstruksi dasar keterkaitan kerentanan; menghubungkan antara kerentanan dan ketahanan, serta membangun hubungan sebab akibat dan hubungan terarah antar masukan (Joakim et al., 2016). Bersifat multi-model digunakan dan skenario perubahan iklim, dalam strategi adaptasi (Gohari et al., 2017).

Pendekatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode spasial HECRAS yang bertujuan mendapatkan area banjir dan genangan,

Tabel 1. Curah hujan harian maksimum

Tahun	$C_{h\ max}$ (mm)	Tahun	$C_{h\ max}$ (mm)
2002	65.00	2012	71.00
2003	113.00	2013	93.00
2004	116.00	2014	80.00
2005	87.00	2015	80.00
2006	71.00	2016	85.00
2007	141.00	2017	100.00
2008	98.00	2018	68.50
2009	83.00	2019	78.00
2010	82.00	2020	89.00
2011	94.00	2021	275.00

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Bintan, 2023

sehingga menghasilkan solusi pengendalian secara hidrolis, dilanjutkan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil secara spasial diintegrasikan ke model SD, didapatkan strategi yang terarah, secara real time. Banjir terjadi di Kijang Kota Kecamatan Bintan Timur, Kabupaten Bintan diperkirakan bahwa banjir yang terjadi setiap kali hujan lebat dan sangat lama (Nalarsih

et al., 2020). Diketahui Tanjung Pinang memiliki tipe hujan ekuatorial Non-ZOM atau Non Zona Musim yang meningkatkan banjir (Kurniati et al., 2021). Hal ini sebagai alasan untuk meneliti lebih dalam agar mendapatkan solusi yang jelas.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi di Kijang Kota, Kecamatan Bintan Timur 0° 56' 15" s/d 104° 33' 29" LU lintang dan 0° 48' 25" hingga 104° 35' 30" Lintang Utara dan Kabupaten Bintan, merupakan lokasi penelitian sebelumnya, dilakukan pengembangan model agar terwujud problem solving yang lebih baik. Penentuan Daerah Tangkapan Air (DTA) pada daerah aliran sungai menggunakan data topografi dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI) dari BIG (Badan Informasi Geospasial) dan DEM (Digital Elevation Model). Secara hidrologi, agar pengelolaan Sumber daya Air (SDA) terintegrasi, maka penelitian mengambil DTA lebih luas yaitu; saluran (drainase) Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa drainase hulu berada di Sembat luas 400 Ha ditandai warna orange, Kampung Jati luas 170 Ha ditandai warna hijau, Kampung Pisang 100 Ha merah muda, dan Kuala Lumpur 420 Ha ditandai warna magenta, sehingga total luas adalah 1.090 Ha. Diambil debit awal Sembat dan Kampung Jati dan Lateral inflow Kampung Pisang, kemudian debit Kampung Pisang, debit Kuala Lumpur dan Lateral inflow Kampung Kuala Lumpur. Garis biru menandakan saluran (drainase) ditandai anak panah sebagai arah aliran air, kemudian ungu tua menandakan area konservasi.

2.2 Data and Metode Analisis

Analisis Hidrologi

2.2.1 Analisa curah maksimum

Curah hujan yang digunakan adalah data

Tabel 2. Penentuan periode kala ulang tipologi kota

No.	Tipologi Kota	Daerah tangkapan Air (Ha)			
		< 10 (Th)	< 10-100 (Th)	100-500 (Th)	>500 (Th)
1	Kota Metropolitan	2	2-5	5-10	10-25
2	Kota Besar	2	2-5	2-5	5-20
3	Kota Sedang	2	2-5	2-5	5-10
4	Kota Kecil	2	2-5	2	2-5

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2014:14)

sekunder dari hasil analisis Konsultan PT. Citra Wees Salawasna Bandung, dimana penulis sebagai team survey pengambilan data, di stasiun terdekat yaitu Stasiun BMKG Hang Nadim, Bintan sesuai Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa curah hujan harian maksimum tertinggi pertama adalah pada tahun tahun

2020-2021, sesuai dengan hasil penelitian bahwa tahun 2020 Bintan terjadi curah hujan harian maksimum tertinggi yang berdampak banjir (Kurniati et al., 2021) hal ini sebagai validasi data.

2.2.2 Perhitungan parameter dasar statistik

Perhitungan parameter dasar statistik dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, koefisien variasi, koefisien kemencengan, dan koefisien ketajaman.

a. Perhitungan debit curah hujan dan Uji Kecocokan. Metode yang digunakan adalah metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III, sesuai dengan Persamaan 1,2,dan 3.

Distribusi Gumbel Tipe I:

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{s_n} (Y_T - Y_n) \tag{1}$$

Distribusi Log Person Tipe III:

$$Y = Y + kxS \tag{2}$$

Distribusi Log Normal:

$$X_T = X + K_t x S \tag{3}$$

Kemudian di uji kecocokan dengan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogrov dan Uji Chi-Kuadrat.

b. Analisa periode kala ulang curah hujan. Analisa periode kala ulang curah hujan diperoleh dari data hujan tiap tahun, didasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (1986) pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, diketahui tipologi kota lokasi penelitian termasuk kota besar dengan daerah tangkapan air 1.090 Ha, sehingga periode kala ulang yang digunakan untuk perencanaan drainase adalah periode kala ulang 10 tahun.

2.2.3 Analisis Debit Banjir

Analisis menggunakan indikator dan variabel sesuai formula berikut:

2.2.3.1 Time Lag

Time Lag adalah waktu tercapainya debit puncak dihitung dari pusat hujan satuan. Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1 menggunakan rumusan *time lag* menurut Snyder namun dengan penyederhanaan harga $L_c = \frac{1}{2} L$, sehingga rumus Snyder dapat ditulis dalam Persamaan 5 hingga 9, sebagai berikut (Natakusumah et al., 2011):

$$TL = Ct \cdot 0,81225L^{0,6} \tag{4}$$

dimana TL adalah *timelag* (jam), Ct adalah koefisien penyesuaian waktu, dan L adalah panjang sungai (km). Koefisien Ct diperlukan dalam kalibrasi harga Tp, dengan ketentuan harga sebagai berikut:

- a. Ct = 1, harga standar
- b. Ct > 1, jika Tp perhitungan lebih kecil dari Tp pengamatan agar harga Tp membesar.
- c. Ct < 1, jika Tp perhitungan lebih besar dari Tp pengamatan agar harga Tp mengecil.

2.2.3.2 Waktu Puncak (Tp)

Waktu puncak Hidrograf Satuan Sintetis ditentukan oleh harga *time lag*. Rumus *time lag* menggunakan rumus Snyder maka waktu puncak didefinisikan sebagai sebagaimana persamaan 6 (Natakusumah, dkk., 2011).

$$Tp = TL + 0.50Tr \tag{5}$$

dimana Tp adalah waktu puncak(jam) dan Tr adalah satuan durasi hujan (jam).

2.2.3.3 Waktu Dasar (Tb)

Untuk DAS kecil ($A < 2 \text{ km}^2$), menurut SCS harga Tp dihitung dengan persamaan 7 (Natakusumah, dkk., 2011).

$$Tb = (8/3) \cdot Tp \tag{6}$$

2.2.3.4 Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf Satuan ITB-1

HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruh nya dinyatakan dengan satu persamaan 8 (Natakusumah, dkk., 2011).

$$qt = \{t \cdot \exp(1 - t)\}^{\alpha Cp} \tag{7}$$

Debit Puncak dan Faktor Debit Puncak Hidrograf Satuan Jika bentuk dasar HSS diketahui, dan harga waktu puncakTp dan waktu dasar TB diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintetis akibat tinggi hujan satu satuan R=1mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan Tr=1jam, dapat dihitung menggunakan persamaan 9.

$$Qp = R \cdot 3,6 \cdot Tp \cdot ADASA HSS \tag{8}$$

Dimana R adalah Curah Hujan satuan(1.0mm), Qp adalah Debit puncak hidrograf satuan (m³/s), Tp adalah waktu mencapai puncak(jam), ADAS adalah Luas DAS (km²), dan AHSS adalah Luas kurva hidrograf satuan tak berdimensi.

2.2.4 Analisis dan Pemodelan Hidrolik

Analisis ini bertujuan memetakan daerah genangan banjir di sepanjang saluran drainase dari Hulu ke Hilir wilayah Kampung Pisang, menggunakan *Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System* (HECRAS), dengan tahapan berikut ini; (1). Skematik

Pemodelan Kondisi Eksisting, (2). Pemodelan 2D Flow Area, (3). *Input Boundary Condition*, (4). Hasil Simulasi Kondisi Eksisting, dan (5). Hasil simulasi untuk 25 tahun. Model HECRAS sebagai alat untuk memodelkan kriteria jenis banjir, dimana dalam penelitian ini termasuk jenis genangan

2.2.5 Analisis System Dynamic

Analisis Sistem Dinamik dilakukan bertujuan memberikan pemahaman dan sebagai alat untuk membantu pengambilan keputusan. Pendekatan didasarkan penelitian sebelumnya, yaitu *Causal Loop Diagram (CLD) model I* (Nalarsih, 2024) sesuai Gambar 2.

Gambar 2 menjelaskan bentuk dasar SD bahaya dan kerentanan banjir, sangat dipengaruhi parameter infiltrasi, dan penerapan peraturan daerah. Selanjutnya dikembangkan dengan dibangun CLD sesuai Gambar 3. Gambar 3 merupakan pengembangan dari model Gambar 2, dengan dasar infiltrasi menjadi parameter pengaruh yang sangat besar, sehingga perlu dilakukan model guna menganalisis seberapa besar parameter curah hujan dipengaruhi oleh kecepatan angin, temperatur, elevasi, dan tekanan udara.

Tahap berikutnya adalah membangun Causal loop model II, berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yaitu model I. Dibangun model II guna mendapatkan

3. Hasil dan Pembahasan

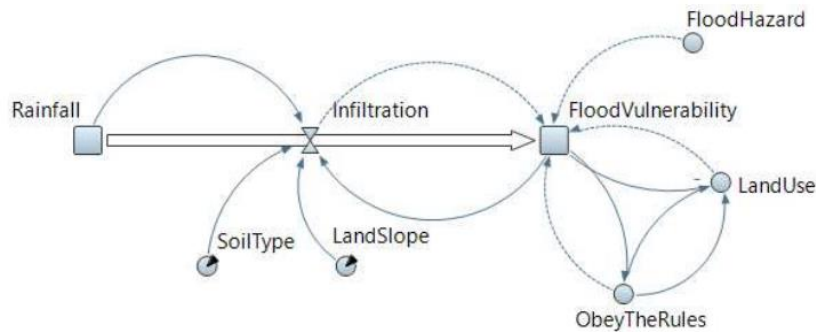
3.1. Analisis Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil survei didapatkan kondisi eksisting drainase dari hulu sampai hilir, yaitu drainase wilayah Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai dengan Gambar 4.

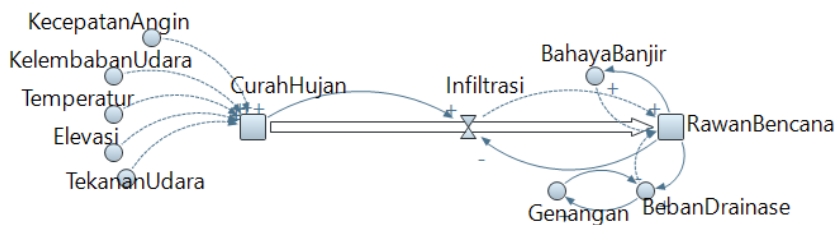
Gambar 4 menunjukkan dimensi drainase dan debit kapasitas di Kampung Pisang dan Kuala Lumpur kondisi eksisting yaitu; drainase Sembat debit kapasitas sebesar 2,78 m³/dt, Jati dan Mawar 11,89 m³/dt, Sembat Hilir 2,48 m³/dt, Kuala Lumpur Bawah Jalan 6,34 m³/dt, Kuala Lumpur Arah Pabrik Es 15,07 m³/dt.

3.2. Analisis Hidrologi

Stasiun pengamat hujan yang berada pada suatu daerah aliran dapat dianggap sebagai titik (point), lokasi penelitian stasiun terdekat adalah Stasiun BMKG Hang Nadim, dengan hasil data curah hujan pada grafik sesuai Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan hasil perhitungan curah hujan maksimum harian lokasi penelitian, bahwa pada tahun 2021 telah terjadi curah hujan yang sangat tinggi, disusul pada tahun 2007, dan secara hirarki sebagai validasi kondisi riil adalah telah terjadi banjir besar pada tahun 2020-2021 (Kurniati et al., 2021). Gambar 5 menunjukkan hasil perhitungan curah hujan maksimum harian pertahun mulai tahun 2002 hingga tahun 2021.



Gambar 2. CLD causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model I (Nalarsih, 2024)



Gambar 3. Causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model II

seberapa besar pengaruh variable konservasi di dalam mengintervensi model penanganan banjir.

3.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana



Gambar 4. Kondisi eksisting daerah tangkapan air 1, 2, dan 3

Hasil uji kecocokan Uji Chi-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov yang terbaik menggunakan distribusi Gumbell, dengan hasil Chi-Kritik adalah 0,05 dan dan Uji Smirnov-Kolmogorov selisih peluang lapangan dengan peluang teoritis 0,059, kedua uji mendapatkan nilai yang mendekati, sesuai hasil di Tabel 3, dan 4, sementara perhitungan analisa frekuensi curah hujan rencana digunakan untuk menghitung Kala Ulang Hujan Maksimum.

Berdasarkan perhitungan frekuensi curah hujan, periode ulang dalam tahun tertentu, dengan validasi Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III, diresume pada Tabel 5,

3.2.2 Analisis Debit Rencana

Besaran debit banjir rencana dihitung secara sintesis dengan menggunakan metode perhitungan unit hydrograph ITB-1 untuk Daerah tangkapan Air (DTA). Debit banjir rencana Sembat sesuai Tabel 6, 7, 8, dan 9.

Masing-masing sesuai Gambar 6, Kampung Jati sesuai, 7, Lateral *Inflow* Kampung Pisang (C) sesuai Gambar 8, Lateral *Inflow* Kampung Pisang (D) sesuai Gambar 9.

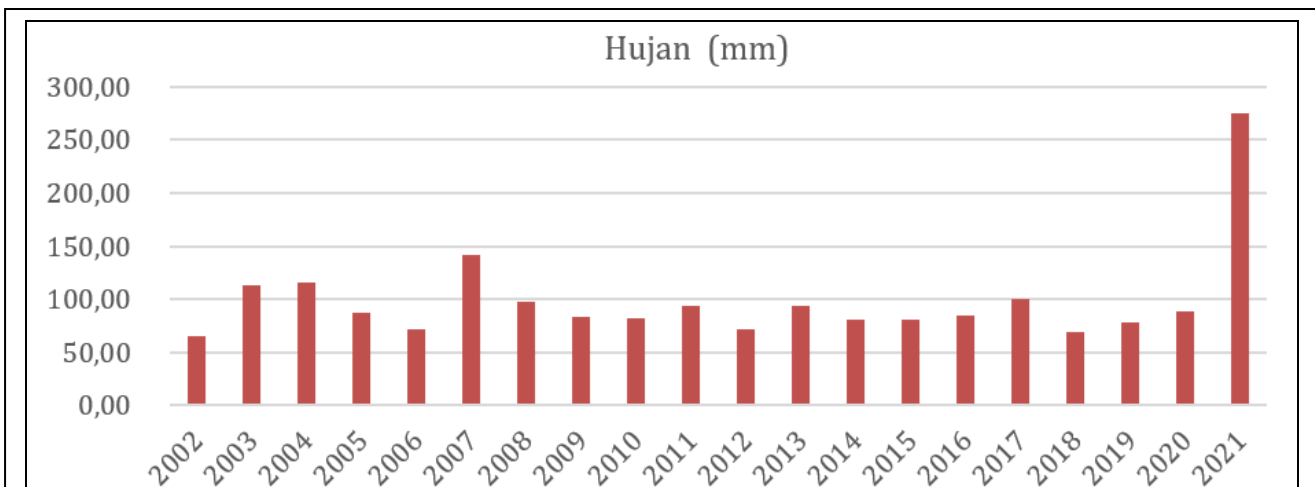
Tabel 8. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Pisang (C).

3.3. Analisis Hidrolika

3.3.1 Analisis menggunakan 2D flow area untuk kondisi eksisting

Puncak banjir dari analisis frekuensi dimasukkan ke dalam HECRAS model untuk menemukan tingkat banjir yang diharapkan sepanjang aliran drainase. *Grid mesh 2D Flow Area* model rencana yang dimodelkan, *Grid 2D Flow Area* 2m x 2m dengan line untuk Grid pada sungai 1m x 1m, mengingat terdapat beberapa saluran dengan ukuran lebih kecil dari 3m.

Gambar 10 permukaan kotak bergaris menunjukkan bahwa *Boundary Condition* yang digunakan dalam simulasi kondisi eksisting sebagai bagian Hulu yaitu *Flow Hydrograph*, berupa debit banjir



Gambar 5. Grafik curah hujan maksimum harian

kala ulang 25 tahun. *Boundary Condition* Hilir yaitu Pasang Surut (diambil pasang surut yang mempunyai pasang tertinggi dalam 1 tahun), sementara garis biru menandakan drainase.

3.3.2 Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Hasil simulasi eksisting pada Debit Banjir Q 25 tahun, *running* dimulai dari *Boundary Condition* Hulu ke *Boundary Condition* Hilir, dimana hasil survei menunjukkan saluran kapasitasnya sangat kurang

dengan beda tinggi *floor* drainase dengan gorong-gorong jalan provinsi hanya berbeda 0.1 m (kemiringan memanjang (i) sangat landai, hasil sesuai Gambar 11. Gambar 11 permukaan berwarna biru pastel menunjukkan area genangan mulai dari hulu hingga hilir, banjir yang terjadi berupa genangan dikarenakan drainase sepanjang hulu hingga hilir tidak dapat mengakomodir aliran air saat hujan tinggi. Sebagai validasi kondisi tersebut adalah hasil survey lokasi dan

Tabel 3. Hasil Uji Chi-Kuadrat

Kelas	P(x >= Xm)		Ef	Hujan (mm ³)	Of	Ef - Of	(Ef-Of) ² / Ef
5	0,200	0 < P <= 0,2	3,800	4,612	19,000	15,200	60,800
	0,400	0,2 < P <= 0,4	3,800	90,561	12,000	15,800	65,695
	0,600	0,4 < P <= 0,6	3,800	82,049	4,000	0,200	0,011
	0,800	0,6 < P <= 0,8	3,800	73,843	4,000	0,200	0,011
	0,999	0,8 < P <= 0,999	3,800	52,621	4,000	0,200	0,011
			19,000		19,000	=	126,526
						DK =	2
						Chi-Kritik =	4,605

Tabel 4. Uji Smirnov-Kolmogorov

Hujan (mm)	m	P = m/(N+1)	NORMAL	LOG-NORMAL	GUMBEL	LOG-PEARSON III				
		P(x >= Xm)	Do	P(x >= Xm)	Do	P(x >= Xm)	Do			
141,000	1	0,050	0,003	0,047	0,007	0,043	0,016	0,034	0,020	0,030
116,000	2	0,100	0,076	0,024	0,074	0,026	0,085	0,015	0,086	0,014
113,000	3	0,150	0,101	0,049	0,095	0,055	0,104	0,046	0,103	0,047
100,000	4	0,200	0,281	0,081	0,247	0,047	0,235	0,035	0,225	0,025
98,000	5	0,250	0,319	0,069	0,281	0,031	0,264	0,014	0,253	0,003
94,000	6	0,300	0,398	0,098	0,357	0,057	0,332	0,032	0,318	0,018
93,000	7	0,350	0,419	0,069	0,378	0,028	0,351	0,001	0,336	0,014
89,000	8	0,400	0,504	0,104	0,466	0,066	0,434	0,034	0,417	0,017
87,000	9	0,450	0,547	0,097	0,512	0,062	0,479	0,029	0,463	0,013
85,000	10	0,500	0,589	0,089	0,560	0,060	0,527	0,027	0,511	0,011
83,000	11	0,550	0,630	0,080	0,607	0,057	0,576	0,026	0,563	0,013
82,000	12	0,600	0,650	0,050	0,631	0,031	0,601	0,001	0,589	0,011
80,000	13	0,650	0,688	0,038	0,677	0,027	0,652	0,002	0,643	0,007
80,000	14	0,700	0,688	0,012	0,677	0,023	0,652	0,048	0,643	0,057
78,000	15	0,750	0,725	0,025	0,723	0,027	0,702	0,048	0,697	0,053
71,000	16	0,800	0,835	0,035	0,858	0,058	0,859	0,059	0,872	0,072
71,000	17	0,850	0,835	0,015	0,858	0,008	0,859	0,009	0,872	0,022
68,500	18	0,900	0,866	0,034	0,895	0,005	0,902	0,002	0,920	0,020
65,000	19	0,950	0,902	0,048	0,936	0,014	0,948	0,002	0,967	0,017
DKritik =	0,270		0,104	0,066	0,059	0,072				
			Diterima	Diterima	Diterima	Diterima				

wawancara kepada masyarakat bahwa selama 3 tahun terakhir banjir genangan terjadi setiap tahunnya setinggi

0,8 hingga 1,2 m, dengan lama genangan antara 1 minggu hingga 2 minggu.

Tabel 5. Resume perhitungan analisa frekuensi curah hujan rencana

Prob	T Kala Ulang (tahun)	Karakteristik Debit (m ³ /dt) Menurut Probabilitasnya							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
		X _T	K _T	X _T	K _T	X _T	K _T	X _T	K _T
0.5	2	98.475	0.000	92.678	-0.128	91.024	-0.164	83.660	-0.321
0.2	5	136.647	0.842	121.194	0.501	131.106	0.719	110.620	0.555
0.1	10	156.600	1.282	139.438	0.903	157.644	1.305	138.163	1.253
0.04	25	177.878	1.751	161.928	1.399	191.174	2.044	187.646	2.213
0.02	50	191.623	2.054	178.350	1.761	216.049	2.592	238.529	2.966
0.01	100	203.987	2.326	194.540	2.118	240.740	3.137	305.233	3.740
0.005	200	215.302	2.576	210.642	2.473	265.341	3.679	393.039	4.533
0.002	500	229.015	2.878	231.951	2.943	297.798	4.395	554.012	5.610
0.001	1.000	238.633	3.090	248.172	3.301	322.328	4.936	722.958	6.445

Tabel 6. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Sembat

Waktu	Q (m3/det)								
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
0	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
1	1.58	1.84	2.02	2.26	2.45	2.64	2.84	3.12	3.35
2	2.83	3.48	3.94	4.54	5.00	5.49	5.99	6.70	7.27
3	3.14	3.89	4.41	5.10	5.63	6.19	6.77	7.58	8.23
4	2.04	2.45	2.73	3.11	3.40	3.70	4.01	4.46	4.81
5	1.28	1.44	1.56	1.71	1.83	1.95	2.08	2.26	2.41
6	0.94	1.01	1.05	1.11	1.16	1.20	1.25	1.32	1.38
7	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98
8	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83
9	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77
10	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
QMaks	3.14	3.89	4.41	5.10	5.63	6.19	6.77	7.58	8.23

Tabel 7. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Jati

Waktu	Q (m3/det)								
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
0	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
1	1.32	1.45	1.55	1.67	1.77	1.87	1.97	2.12	2.24
2	1.87	2.18	2.39	2.68	2.90	3.13	3.37	3.70	3.97
3	1.87	2.18	2.40	2.68	2.90	3.13	3.37	3.71	3.98
4	1.34	1.48	1.58	1.72	1.82	1.93	2.04	2.19	2.32
5	1.04	1.10	1.13	1.18	1.22	1.25	1.29	1.35	1.39
6	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05
7	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.94
8	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90
9	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89
10	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
QMaks	1.87	2.18	2.40	2.68	2.90	3.13	3.37	3.71	3.98

Tabel 8. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Pisang (C)

Waktu	Q (m3/det)								
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
0	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
1	0.91	0.96	1.00	1.05	1.09	1.12	1.17	1.22	1.27
2	1.07	1.17	1.24	1.31	1.37	1.41	1.47	1.51	1.56
3	0.99	1.05	1.09	1.15	1.20	1.25	1.30	1.37	1.42
4	0.71	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.80	0.82	0.83
5	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.65
6	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
7	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
8	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
9	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
10	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
QMaks	1.26	1.37	1.45	1.55	1.63	1.71	1.79	1.91	2.01

Tabel 9. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Pisang (C)

Waktu	Q (m3/det)								
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
1	1.11	1.35	1.52	1.75	1.92	2.10	2.29	2.55	2.77
2	1.46	1.81	2.05	2.37	2.62	2.89	3.16	3.54	3.84
3	1.46	1.81	2.05	2.37	2.62	2.89	3.16	3.54	3.84
4	0.70	0.82	0.90	1.01	1.09	1.18	1.27	1.39	1.49
5	0.43	0.46	0.48	0.51	0.53	0.55	0.58	0.61	0.64
6	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41
7	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35
8	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
9	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
10	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
QMaks	1.97	2.48	2.83	3.30	3.67	4.05	4.44	5.00	5.44

Mengingat kondisi kampung pisang berada di cekungan sedangkan, merehabilitasi drainase dengan pendalaman sangat sulit dilakukan. Perencanaan penggunaan lahan yang tepat di daerah rawan banjir juga harus dipertimbangkan untuk mengurangi bencana banjir (Desalegn & Mulu, 2021). Sehingga sebagai solusi dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase dan *longstorage*. Khusus drainase di Kampung Pisang dipasang pintu flip pada arah drainase menuju saluran utama. Konservasi sumber daya air merupakan upaya untuk mempertahankan keberadaan dan kelestariannya kondisi, sifat, dan fungsi sumber daya air (Khattak et al., 2016; Nalarsih, 2021).

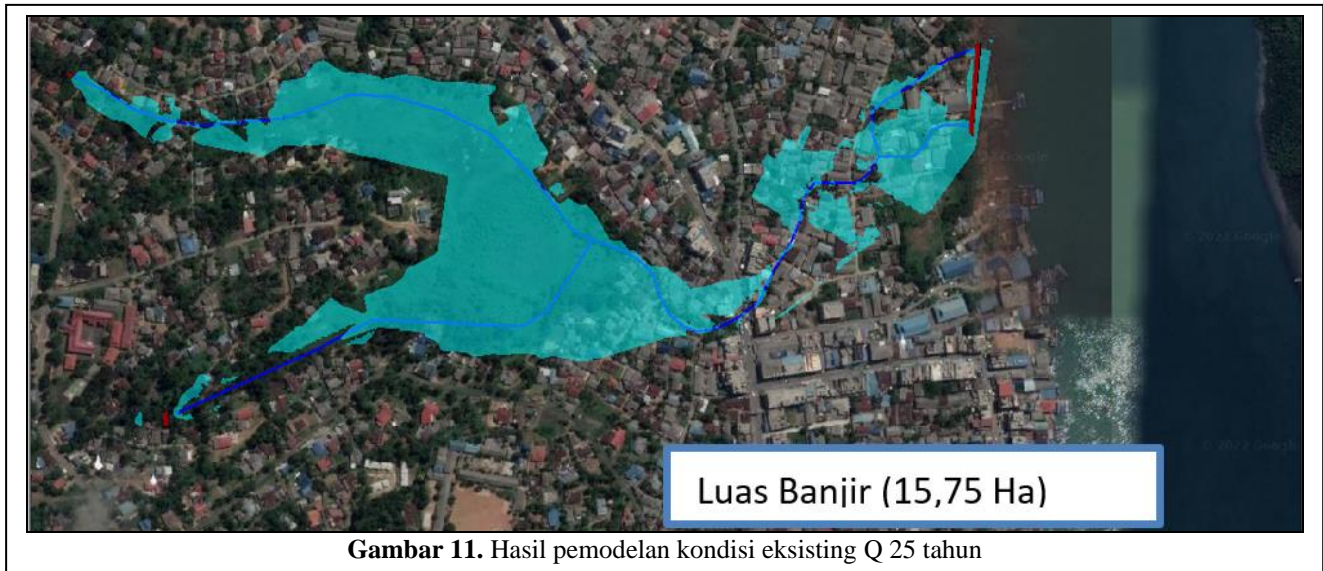
3.4. Analisis Sistem Dinamik

Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk menganalisis kontribusi parameter konservasi normalisasi drainase dan *longstorage* sebagai upaya dalam mengintervensi infiltrasi guna mereduksi kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya, dilakukan perluasan batasan parameter dan memodelkan

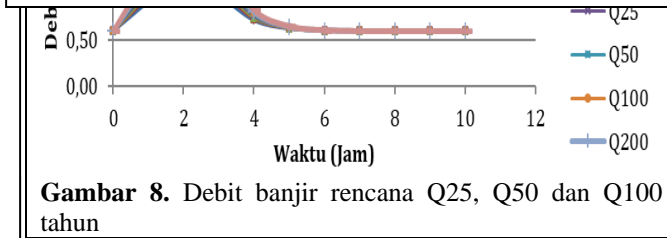
variabel secara lebih konstruktif. Hasil *running* model sesuai Gambar 12.

Gambar 12 merupakan skenario 1, proses input data primer dan hasil *running* dimana sebagai parameter diperoleh pengaruh kecepatan angin memiliki pengaruh ke curah hujan sebanyak 15%, kelembaban 10%, temperatur 30%, elevasi 20%, tekanan udara 25%. Curah hujan mempengaruhi berkurangnya kinerja infiltrasi sebesar sebesar 4,55% sehingga menjadikan infiltrasi tidak berjalan terhadap siklus hidrologi. Kondisi Infiltrasi tersebut memberi kontribusi rawan banjir sebesar 1,34%. Rawan banjir terbebani oleh bahaya banjir sebesar 0,8%, oleh genangan sebesar 1,6%, oleh beban drainase 0,57%.

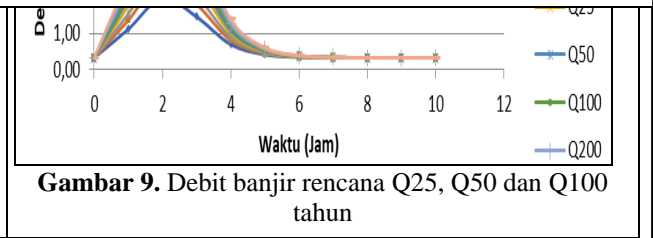
Tahap berikutnya membangun Causal Loop Diagram (CLD) dengan skenario 2, dimana sebagai semua parameter terhadap curah hujan bernilai tetap, tetapi besar curah hujan diskenariokan naik. Parameter konservasi dimodelkan menjadi intervensi bagi infiltrasi sebesar 30%, dengan hasil *running* sesuai Gambar 13. Gambar 13 menunjukkan bahwa parameter infiltrasi



Gambar 11. Hasil pemodelan kondisi eksisting Q 25 tahun



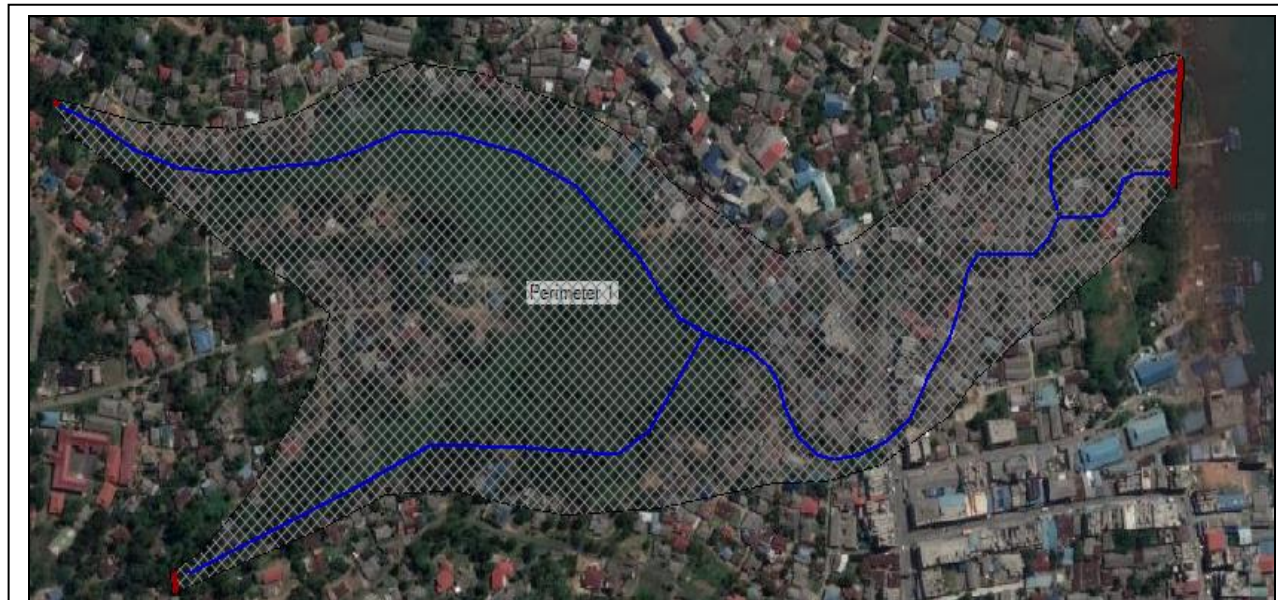
Gambar 8. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun



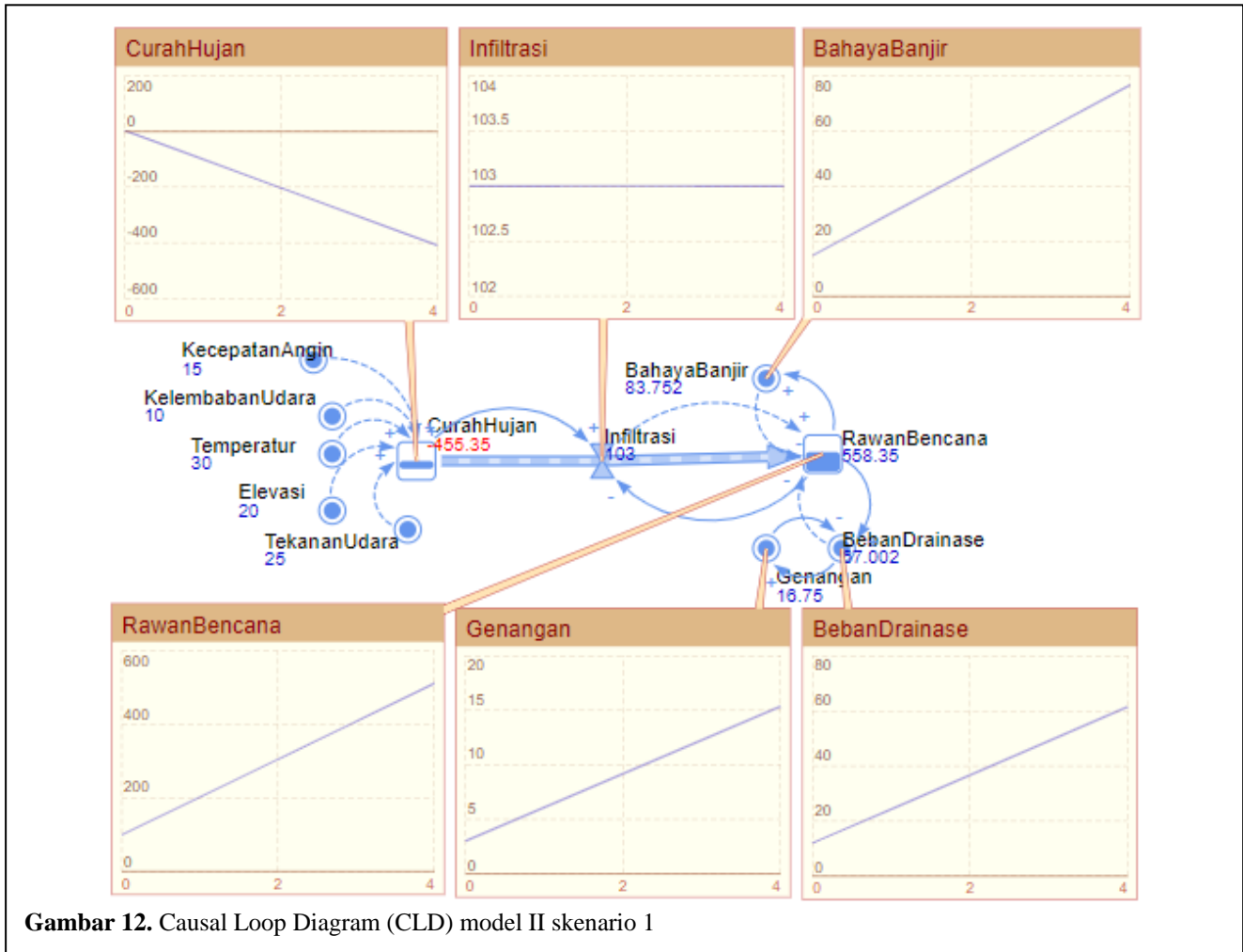
Gambar 9. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

naik hingga mampu memperkecil rawan bencana banjir tinggal 0,2% atas kinerja konservasi yaitu normalisasi drainase, *longstorage*, di Kampung Pisang dengan tambahan pintu klep, pada drainase sekunder ke drainase utama untuk mengelola kondisi air, menambah Daerah

Tangkapan Air (DTA), hingga genangan tinggal 3% membebani drainase berdampak pada beban drainase turun dan berkontribusi sebesar 12,7% terhadap rawan banjir. Begitu pula bahaya banjir secara terpisah mampu berkontribusi sebesar 15,9% menurunkan rawan banjir.

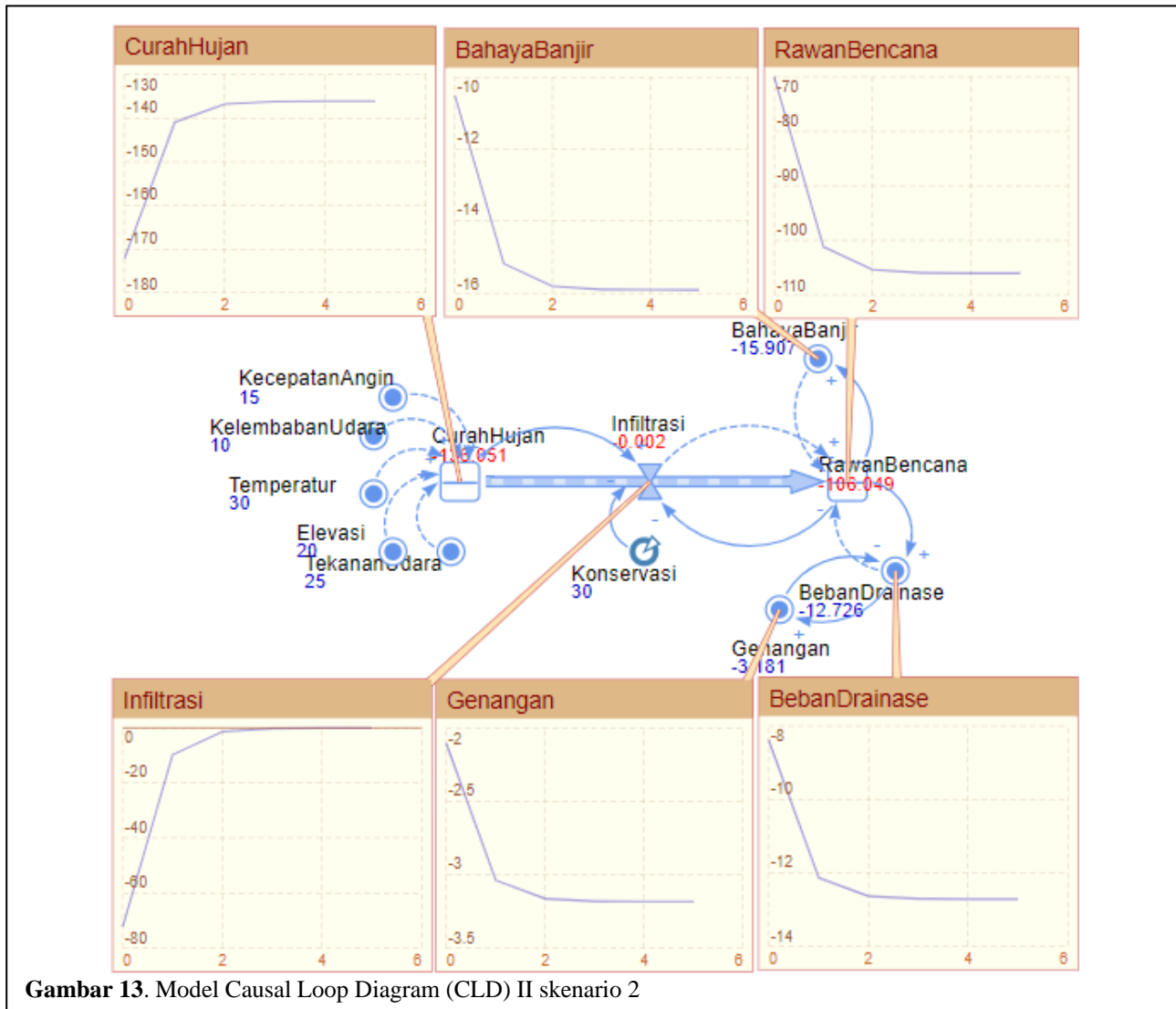


Gambar 10. 2D flow area kondisi eksisting



Gambar 12. Causal Loop Diagram (CLD) model II skenario 1

4. Kesimpulan



Gambar 13. Model Causal Loop Diagram (CLD) II skenario 2

Hasil simulasi HECRAS Banjir di Kijang Kota, Bintang Timur sepanjang drainase Hilir hingga Hulu terjadi banjir, ditemukan karakter banjir berupa genangan. Solusi penanganan drainase dengan konservasi berupa *longstorage* dan drainase yang berada di Kampung Pisang dengan tambahan pintu klep pada drainase sekunder ke drainase utama untuk mengelola kondisi air, dan disusun solusi berupa kesepakatan untuk konservasi sumber daya air yang terintegrasi antara pemeliharaan saluran (drainase) dan memaksimalkan lahan semak belukar sebagai Daerah Tangkapan Air (DTA).

Keuntungan unik dari model HECRAS dan SD adalah dapat diketahui kegiatan konservasi secara maksimal saat mengintervensi infiltrasi sebesar 30%, artinya kinerja konservasi dalam penyelesaian masalah drainase harus dilakukan sebesar 30% dari keseluruhan kegiatan konservasi tersebut. SD mampu membuat

simulasi dan solusi secara real time, dimana Submodel berikutnya genangan turun sehingga beban drainase turun, dari kedua sub model tersebut terbukti bahwa berakibat rawan banjir turun dan dapat selesai pada tahun ke 4, dan tahun berikutnya harus membuat pengembangan solusi.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dan Team Survey dalam bekerjasama pengambilan data primer dari PT. Citrawees Salawasna, 2022.

Daftar Pustaka

Appiah, J. O., Agyemang-Duah, W., & Adei, D. (2024). Analysis of the relationship between forest patch degradation, land uses, and terrain variables in a protected landscape in Ghana. *Trees, Forests and*

- People, 16(May), 100587.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100587>
- Astuti, R. D. P., & Mallongi, A. (2020). Using system dynamic modeling for improving water security in the coastal area: A literature review. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 8(F).
<https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.4395>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River , Upper Abbay Basin , Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- Dinis, P. A., Huvi, J., Pinto, M. C., Carvalho, J., & Lorenzo-Lacruz, J. (2021). *Disastrous Flash Floods Triggered by Moderate to Minor Rainfall Events. Recent Cases in Coastal Benguela (Angola)*.
<https://doi.org/10.3390/hydrology8020073>
- Gabino, A., & Hernández, M. (2022). *System Dynamics Modelling and Climate Change Adaptation in Coastal Areas: A Literature Review* (Alberto Gabino Martínez-Hernández (ed.); 1st ed., Vol. 1, Issue 1). Fondazione Eni Enrico Mattei (ADAPT@VE).
[https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/549456/Manual de odontología legal.pdf?sequence=3](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/549456/Manual%20de%20odontolog%C3%ADa%20legal.pdf?sequence=3)
- Gao, P., Gao, W., & Ke, N. (2021). Assessing the impact of flood inundation dynamics on an urban environment. *Natural Hazards*, 109(1), 1047–1072. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04868-6>
- Gohari, A., Mirchi, A., & Madani, K. (2017). System Dynamics Evaluation of Climate Change Adaptation Strategies for Water Resources Management in Central Iran. *Water Resources Management*, 31(5), 1413–1434.
<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1575-z>
- Harms, J. Z., Malard-Adam, J. J., Adamowski, J. F., Sharma, A., & Nkwasa, A. (2023). Dynamically coupling system dynamics and SWAT+ models using Tinamit: Application of modular tools for coupled human-water system models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(8), 1683–1693.
<https://doi.org/10.5194/hess-27-1683-2023>
- Ibrahim, O. A., Goshime, D. W., Tekleab, S., & Absi, R. (2024a). Flood Inundation mapping and mitigation options in data-scarce region of Beledwayne town in the Wabi Shebele River Basin of Somalia. *Natural Hazards Research*, 4(October 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001>
- Ibrahim, O. A., Goshime, D. W., Tekleab, S., & Absi, R. (2024b). Flood Inundation mapping and mitigation options in data-scarce region of Beledwayne town in the Wabi Shebele River Basin of Somalia. *Natural Hazards Research*, 4(August 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001>
- Islam, R., Kamaruddin, R., Ahmad, S. A., Jan, S. J., & Anuar, A. R. (2016). A review on mechanism of flood disaster management in Asia. *International Review of Management and Marketing*, 6(1), 29–52.
- Joakim, E. P., Mortsch, L., Oulahan, G., Harford, D., Klein, Y., Damude, K., & Tang, K. (2016). Using system dynamics to model social vulnerability and resilience to coastal hazards. *International Journal of Emergency Management*, 12(4), 366–391.
<https://doi.org/10.1504/IJEM.2016.079846>
- Kastridis, A., & Stathis, D. (2020). Evaluation of hydrological and hydraulic models applied in typical mediterranean ungauged watersheds using post-flash-flood measurements. *Hydrology*, 7(1).
<https://doi.org/10.3390/hydrology7010012>
- Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A. (2016). Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(4), 1375–1390.
<https://doi.org/10.1007/s13369-015-1915-3>
- Kitsikoudis, V., Erpicum, S., Rubinato, M., Shucksmith, J. D., Archambeau, P., Piroton, M., & Dewals, B. (2021). Exchange between drainage systems and surface flows during urban flooding: Quasi-steady and dynamic modelling in unsteady flow conditions. *Journal of Hydrology*, 602(March), 126628.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126628>
- Kurniati, R., Pakpahan, S. L. H., & Mulya, A. (2021). Analisis Kejadian Hujan Lebat Menggunakan Citra Satelit HIMAWARI-8 (Studi Kasus Pulau Bintan, 7 November 2020). *Prosiding Seminar Nasional*, 3(1), 130–141.
- Magdalena, I., Imawan, R., & Nugroho, M. A. (2024). Numerical investigation for water flow in an irregular channel using Saint-Venant equations. *Journal of King Saud University - Science*, 36(7).
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103237>
- Nalarsih, R. T. (2021). The Pattern of Water Resources Resilience in Coastal Areas Centered on Balance in Society 5.0 in Book Chapter Socioety 5.0 Leading in The Borderless World. In Diah Karmiyati (Ed.), *Book Chapter* (1st ed., p. 253). Book Chapter on Bildung Nusantara.
- Nalarsih, R. T. (2023). GIS As a Tool in Hydrometeorological Disaster Mitigation Policy in Society 5.0 in Book Chapter A REFLECTION OF 2022, A LOOK AHEAD TO 2023. In D. Karmiyati (Ed.), *Book Chapter* (2023rd ed., Vol. 1, pp. 410–415). BILDUNG.
<https://pascasarjana.umm.ac.id/id/pages/detail/publikasi-60/bookchapter-vp-genap-20212022-a-reflection-of-2022-and-look-ahead-to-2023.html>

- Nalarsih, R. T., Herawati, H., Yuniwati, E. D., Sulisty, M. A. B., Taufikurrahman, & Handajani, M. (2024). Flood Vulnerability and Resiliency in Coastal Areas Based on Geographic Information Systems (GIS) and Dynamic. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 14(1 SE-Articles), 81–88. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.1.19339>
- Nalarsih, R. T., Yuwono, N., & Winaktoe, W. W. (2020). Perlindungan dan Pengelolaan Sumber Daya Pantai Tanjung Pinang yang Berkelanjutan. *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium 2020*, 1–6.
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 251. <https://doi.org/10.5614/jts.2011.18.3.6>
- Nikolic, V. V., & Simonovic, S. P. (2015). Multi-method Modeling Framework for Support of Integrated Water Resources Management. *Environmental Processes*, 2(3), 461–483. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0082-6>
- Oduro Appiah, J., Agyemang-Duah, W., Sobeng, A. K., & Kpienbaareh, D. (2021). Analysing patterns of forest cover change and related land uses in the Tano-Offin forest reserve in Ghana: Implications for forest policy and land management. *Trees, Forests and People*, 5, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100105>
- Prastica, R. M. S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjiningsih, D., & Anggraheni, E. (2018). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012042>
- Prigent, C., Papa, F., Aires, F., Rossow, W. B., & Matthews, E. (2007). Global inundation dynamics inferred from multiple satellite observations, 1993–2000. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(12), 1993–2000. <https://doi.org/10.1029/2006JD007847>
- Qian, Q., Edwards, D. J., Zhang, Y., & Haselbach, L. (2024). Improving Flood Inundation Mapping Accuracy Using HEC-RAS Modeling: A Case Study of the Neches River Tidal Floodplain in Texas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 29(4), 1–13. <https://doi.org/10.1061/jhyeff.heeng-6037>
- Qin Huanhuan, Zhang Baoxiang, & Meng Fanhai. (2016). System Dynamics Modeling for Sustainable Water Management of a Coastal Area in Shandong Province, China. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 6(4), 226–234. <https://doi.org/10.17265/2159-581x/2016.04.005>
- Rangari, V. A., Umamahesh, N. V., & Bhatt, C. M. (2019). Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1839–1851. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00641-8>
- Saghafian, B., Farazjoo, H., Bozorgy, B., & Yazdandoost, F. (2008). Flood intensification due to changes in land use. *Water Resources Management*, 22(8), 1051–1067. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9210-z>
- Syahroni, M., Amri, K., & Afrizal, Y. (2017). Analisis Debit Puncak Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetis ITB 1 dan HEC-RAS Versi 5.0.7. *Jurnal Inersia Universitas Bengkulu*, 13(1), 17–24.
- Umugwaneza, A., Chen, X., Liu, T., Li, Z., Uwamahoro, S., Mind'je, R., Umwali, E. D., Ingabire, R., & Uwineza, A. (2021). Future climate change impact on the nyabugogo catchment water balance in rwanda. *Water (Switzerland)*, 13(24), 1–18. <https://doi.org/10.3390/w13243636>