

BUKTI KORESPONDENSI

ARTIKEL JURNAL NASIONAL TERINDEKS SINTA 2

Judul Artikel : Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Penulis : Retno Tri Nalarsih

Jurnal : TEKNIK : Jurnal Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Volume : 45

Nomor : 2

Tahun : 2024

Doi : <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/65276>

URL : <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/65276/26683>

No.	Perihal	Tanggal
1	Bukti submit, <i>submission acknowledgement</i> , dan artikel yang submit	23 Juli 2024
2	Bukti <i>revision required and review process</i>	25 dan 26 Juli 2024
3	Bukti lolos proses Peninjauan Substansi	27 Agustus 2024 pukul 08.18
4	Balasan email pernyataan kesediaan merevisi sesuai hasil riview dan mengirimkan sesuai batas waktu	27 Agustus 2024 pukul 09.15
5	Bukti <i>author's response</i> dan artikel yang revisi final	30 Agustus 2023 pukul 19.00
6	Bukti dokumen <i>LoA dan Bukti publish</i>	3 September 2024
7	Bukti artike yang dipublish	12 September 2024

**1. Bukti Submit, Submission Acknowledgement, dan
Artikel yang Disubmit**

#65276 Summary

[Summary](#) | [Review](#) | [Editing](#)

Submission

Authors	Retno Tri Nalarsih
Title	Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir
Original file	65276-213749-1-SM.doc 23-07-2024
Supp. files	None
Submitter	Dr retno tri nalarsih 
Date submitted	July 23, 2024 - 01:38 PM
Section	Articles
Editor	Editorial Journal TEKNIK 
Abstract Views	0



retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

Submit paper 1

1 pesan

retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

23 Juli 2024 pukul 13.45

Kepada: Editorial Jurnal Teknik <jteknik@live.undip.ac.id>

Dear Editorial Team,
We are sending the paper file to your journal website.
Please cooperate with us for the next steps.
Thank you very much

Best regards

Retno Tri Nalarsih

 **00. SUBMIT PAPER PERTAMA.pdf**
48K

Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Retno T. Nalarsih^{1*}

¹ Jurusan Teknik Sipil Universitas Veteran Bantara Sukoharjo Sukoharjo, 57521, Indonesia,

Abstrak

Pulau Bintan menerima curah hujan bulanan yang sangat tinggi (Marganingrum et al., 2022), dilanjutkan Hasil analisis kerentanan banjir menunjukkan wilayah dengan kondisi sangat tinggi (Nalarsih et al., 2024). Sebagai alasan meneliti lebih dalam guna solusi yang jelas. Pendekatan penelitian ini sederhana dan canggih yaitu spasial HECRAS untuk mendapatkan area banjir dan genangan, dan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil spasial sebagai validasi diintegrasikan model SD, didapatkan 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 dapat diketahui 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 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 selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

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] Bintan Island receives high monthly rainfall (Marganingrum et al., 2022). The results of the flood vulnerability analysis show that the area has very high conditions (Nalarsih et al., 2024) as a reason to research more deeply for a clear solution. This research approach is simple and sophisticated, namely the spatial HECRAS to obtain flood and inundation areas and the Dynamic System (SD) approach from spatial results as validation integrates with the SD model, a targeted strategy is obtained in real-time. The results of the HECRAS simulation along the Downstream to Upstream drainage occurred flooding, with the character of inundation. Storage drainage solutions in Kampung Pisang were 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 SD models is that conservation works optimize when intervening infiltration by 30%, meaning we must carry out 30% of the total conservation activities to solve drainage problems. SD can make simulations and solutions in real-time, where the next submodel of inundation goes down so that the drainage load decreases; from the two sub-models, it has proven that the area is prone to flooding and can be completed in the 4th year and the rest must make solution development.

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

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). Kondirsi 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, 2021a; Dinis et al., 2021; Nalarsih et al., 2020). Dampak perubahan iklim (Appiah et al., 2024; Desalegn & Mulu, 2021; Dinis et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; Umugwaneza et al., 2021), pengaruh curah hujan tinggi (Dinis et al., 2021; Gao et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; 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 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 (Kastridis & Stathis, 2020), karena penggunaan lahan yang tidak terkendali dan peraturan harus diterapkan (Nalarsih et al., 2024). Kebijakan penggunaan lahan merupakan 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 analisis (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 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 (Desalegn & Mulu, 2021; Ibrahim et al., 2024b; 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, sehingga menghasilkan solusi pengendalian secara hidrolik, dilanjutkan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil secara spasial diintegrasikan ke model SD, didapatkan strategi yang terarah, secara real time. Banjir

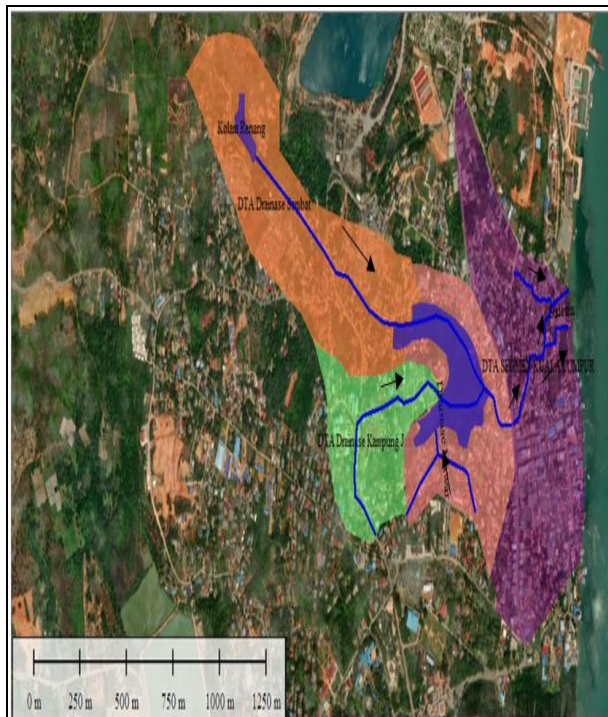
*) Penulis Korespondensi.
E-mail: nalarsih@gmail.com

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. Material dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi di Kijang Kota, Desa Kecamatan Bintan Timur $0^{\circ} 56' 15''$ s/d $104^{\circ} 33' 29''$ LU lintang dan $0^{\circ} 48' 25''$ hingga $104^{\circ} 35' 30''$ 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 SDA terintegrasi, maka penelitian mengambil DTA lebih luas yaitu; saluran (drainase) Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian sebagai *catchment area*

Gambar 1 menunjukkan bahwa luas wilayah di Sembat 400 Ha, Kampung Jati 170 Ha, Kampung Pisang

100 Ha, Kuala Lumpur 420 Ha, sehingga total luas adalah 1.090 Ha. Diambil debit Sembat dan debit Kampung Jati dan Lateral *inflow* Kampung Pisang, kemudian debit Kampung Pisang, debit Kuala Lumpur dan Lateral *inflow* Kampung Kuala Lumpur.

2.2 Data and Metode Analisis

Analisis Hidrologi

a. Analisa curah hujan rerata

Curah hujan yang diperlukan adalah curah hujan maksimum minimal 10 tahun pengamatan dari stasiun pencatat curah hujan terdekat, yaitu Stasiun BMKG Hang Nadim.

Tabel 1. Curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 hingga 2021

Tahun	Hujan (mm)	Tahun	Hujan (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

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa curah hujan harian maksimum tertinggi pertama adalah pada tahun tahun 2020-2021, sesuai dengan hasil penelitian bahwa tahun 2020 adalah frekuensi hujan tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir (Kurniati et al., 2021).

b. Perhitungan parameter dasar statistik

Menghitung Nilai rata-rata (*mean*), Standar Deviasi, Koefisien Variasi, Koefisien Kemencengan, Koefisien Ketajaman.

- (1). Perhitungan debit curah hujan dan Uji Kecocokan. Metode yang digunakan adalah metode Distribusi Normal, Gumbel, Pearson Tipe III dan Log Pearson Tipe III. Kemudian di uji kecocokan dengan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogrov dan Uji Chi-Kuadrat.
- (2). 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 1.

Tabel 1. Penentuan periode kala ulang berdasarkan tipologi kota

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2014:14)

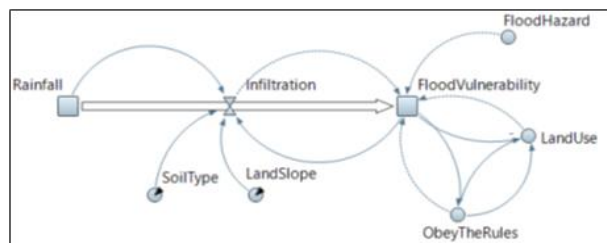
Berdasarkan tipologi kota lokasi penelitian termasuk kota besar dengan daerah tangkapan air 1.090 Ha, sehingga periode kala ulang yang digunakan untuk perencanaan drainase adalah periode kala ulang 10 tahun.

Analisis dan Pemodelan Hidrolik

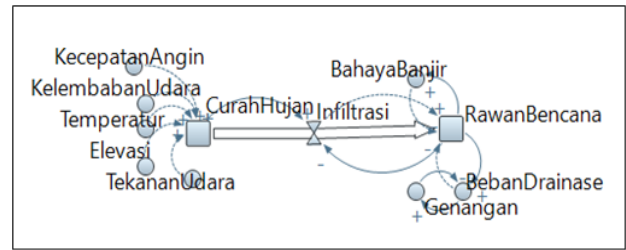
Analisis ini bertujuan memetakan daerah genangan banjir di sepanjang saluran drainase dari Hulu ke Hilir wilayah Kampung Pisang, menggunakan *Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System* (HECRAS), dengan tahapan berikut ini; (1). Skematik Pemodelan Kondisi Eksisting, (2). 2D Flow Area, (3). *Input Boundary Condition*, dan (4). Hasil Simulasi Kondisi Eksisting.

Analisis System Dynamic

Analisis ini bertujuan memberikan pemahaman dan sebagai alat untuk membantu pengambilan keputusan. Pendekatan didasarkan penelitian sebelumnya, yaitu *Causal Loop Diagram* (CLD) sesuai Gambar 2.

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

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.** Causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model II

Gambar 3 merupakan pengembangan dari model Gambar 2, dengan dasar infiltrasi merupakan 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.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Kondisi Eksisting

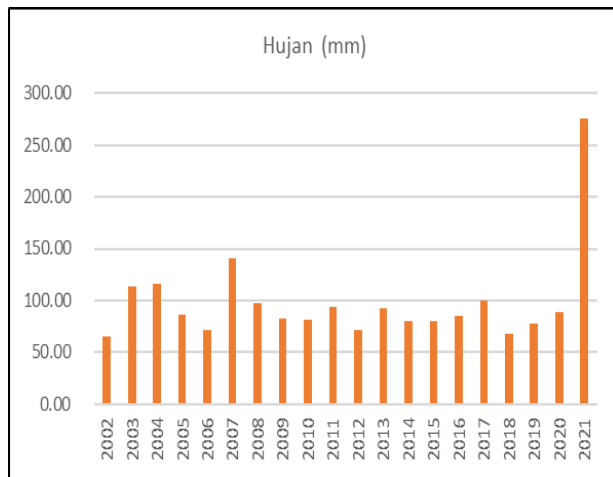
Berdasarkan hasil survei didapatkan kondisi eksisting drainase dari hulu sampai hilir, yaitu drainase wilayah Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai dengan Gambar 4.

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

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. Grafik curah hujan maksimum harian

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).

Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan perhitungan frekuensi curah hujan, menggunakan periode ulang dalam tahun tertentu, yaitu Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III. Resume perhitungan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Resume perhitungan analisa frekuensi curah hujan rencana

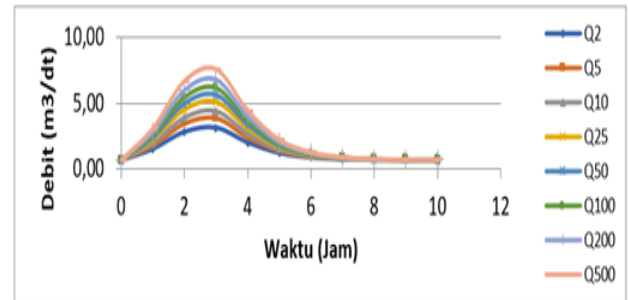
P(x >= Xm)	T	Karakteristik Debit (m ³ /dt) Menurut Probabilitasnya							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
Probabilitas Kala-Ulang		X _T	K _T	X _T	K _T	X _T	K _T	X _T	K _T
0.5	2.	98.475	0.000	92.678	-0.128	91.024	-0.164	83.660	-0.321
0.2	5.	136.647	0.842	121.194	0.501	131.106	0.719	110.620	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	363.039	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

Berdasarkan Tabel 3. perhitungan menggunakan formula; $XT = \mu + KT + \sigma$ (Chow et al., 1988). dengan hasil uji kecocokan Uji Chi-Kuadrat yang terbaik menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, dan

begitu juga berdasarkan Uji Smirnov-Kolmogorov yang terbaik menggunakan distribusi Log pearson Tipe III.

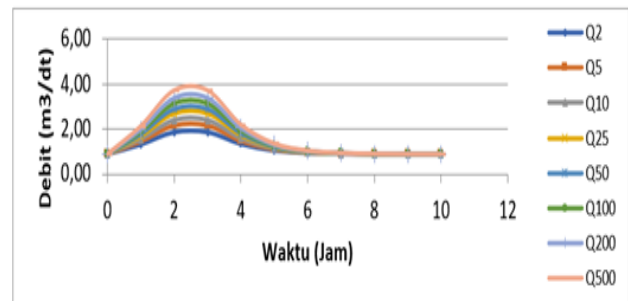
Analisis Debit Rencana

Besaran debit banjir rencana dihitung secara sintetis dengan menggunakan metode perhitungan unit hydrograph ITB-1 DTA Sembat sesuai Gambar 6.



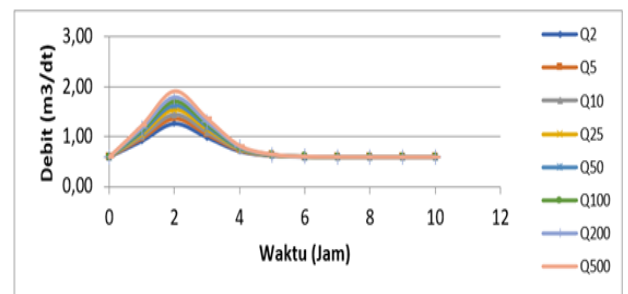
Gambar 6. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir ITB-1 DTA Kampung Jati sesuai Gambar 7.



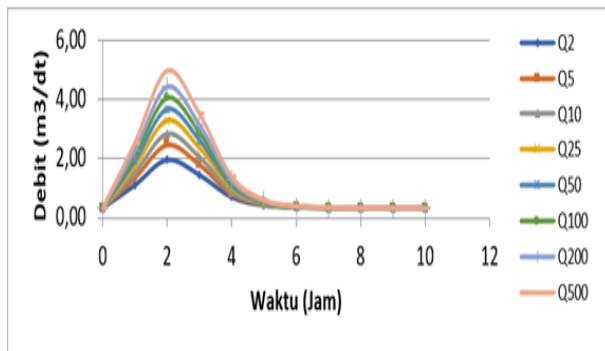
Gambar 7. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir Lateral *Inflow* Kampung Pisang (C) sesuai Gambar 8.



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

Debit Banjir Lateral *Inflow* Kampung Pisang (D) sesuai Gambar 9.

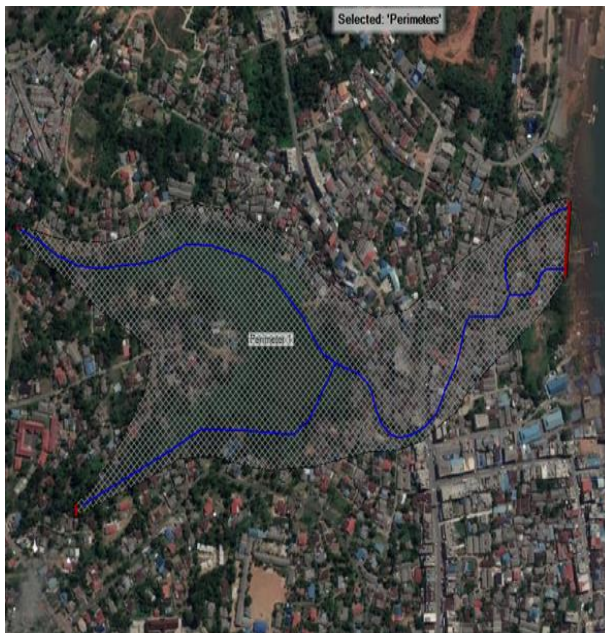


Gambar 9. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

3.3. Analisis Hidrolika

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 breakline untuk Grid pada sungai 1m x 1m, mengingat terdapat beberapa saluran dengan ukuran <3m.



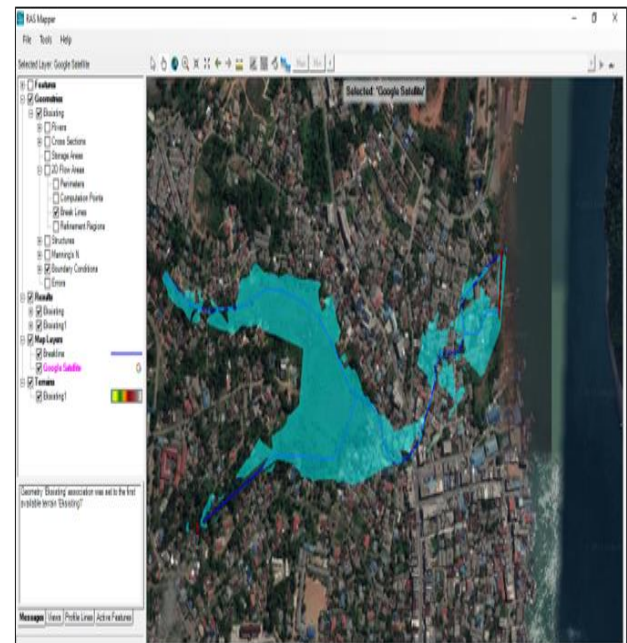
Gambar 10. 2D *flow area* kondisi eksisting

Gambar 10 menunjukkan bahawa *Boundary Condition* yang digunakan dalam simulasi kondisi

eksisting sebagai bagian Hulu yaitu *Flow Hydrorgaph*, berupa debit banjir kala ulang 25 tahun. *Boundary Condition* Hilir yaitu Pasang Surut (diambil pasang surut yang mempunyai pasang tertinggi dalam 1 tahun).

Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Hasil simulasi eksisting pada Debit Banjir Q 25 tahun, *running* dimulai dari BC hulu ke BC 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.

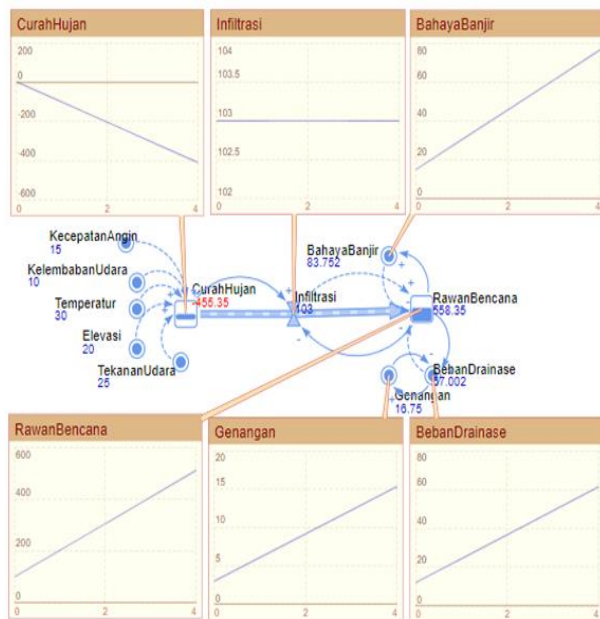


Gambar 11. Hasil pemodelan kondisi eksisting Q 25 tahun

Gambar 11 menunjukkan bahwa *running* dilakukan mulai dari hulu hingga hilir, banjir yang terjadi berupa genangan dikarenakan drainase sepanjang hulu hingga hilir tidak dapat mengakomodir aliran air saat hujan tinggi. 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 dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase, *longstorage*, dan khusus drainase di Kampung Pisang dipasang pintu klep 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

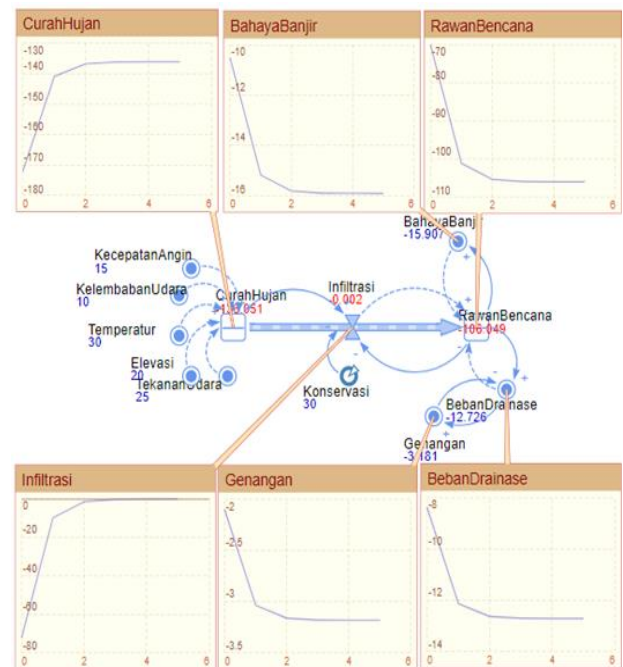
Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk menganalisis kontribusi parameter konservasi dalam mengintervensi infiltrasi guna mereduksi kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya, dilakukan perluasan batasan dan memodelkan variabel secara *endogen* (konstruktif). Hasil *running* dari model sesuai Gambar 12.



Gambar 12. CLD model II skenario 1

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 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. Model CLD II skenario 2

Gambar 13 menunjukkan bahwa parameter infiltrasi naik hingga mampu memperkecil rawan bencana banjir tinggal 0,2% atas kinerja konservasi, dengan adanya normalisasi drainase 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.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi HECRAS Banjir di Kijang Kota, Bintang Timur sepanjang drainase Hilir hingga Hulu terjadi banjir, ditemukan karakter banjir genangan. Solusi penanganan drainase *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 selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dan Team Survey dalam bekerjasama pengambilan data primer dari PT. Citraweas 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).
- 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(August 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(October 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001Isla>
- 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., Pirotton, 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>
- Marganingrum, D., Santoso, H., & Mulyono, A. (2022, July). Assessment of water resources for water irrigation purposes in Bintan island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1059, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Nalarsih, R. T. (2021). The pattern of water resources resilience in coastal areas centered on balance in society 5.0 in book chapter socoety 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 atool 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.
- Nalarsih, R. T., Herawati, H., Yuniwati, E. D., Sulistyo, 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., & Winaktoc, W. W. (2020). Perlindungan dan pengelolaan sumber daya pantai tanjung pinang yang berkelanjutan. *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium 2020*, 1–6.
- 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
- 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>
- 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>
- 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>

2. Bukti *revision required and review process*

Peer Review

Round 1

Review Version	65276-213752-2-RV.doc	24-07-2024
Initiated	24-07-2024	
Last modified	27-08-2024	
Uploaded file	Reviewer B	65276-213941-1-RV.doc 25-07-2024
	Reviewer D	65276-214044-1-RV.doc 26-07-2024

3. Lolos Substansi



retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

[TEKNIK] Editor Interim Decision Revision Required [Ms ID: Teknik-2024-65276]

1 pesan

Editorial Journal TEKNIK <mail@ejournal.undip.ac.id>

27 Agustus 2024 pukul 08.18

Balas Ke: Editorial Journal TEKNIK <jteknik@live.undip.ac.id>

Kepada: Dr retno tri nalarsih <iwrm.uvbn2@gmail.com>

Cc: Retno Tri Nalarsih <nalarsih@gmail.com>, Nur Choiro Siregar <nur.choiro@umt.ac.id>, Eny D Yuniwati <enydyuniwati@gmail.com>

Journal Name: TEKNIK

Article Title: Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Ms ID: Teknik-2024-65276

Dear Dr retno tri nalarsih,

Congratulation, your manuscript has passed the Substance Reviewing process in Journal [TEKNIK]. Reviewers have provided comments about the manuscript in the last part of this email. Therefore Authors should answer the Reviewers's comments and revise the manuscript, seriously.

Two documents that need to be uploaded for this stage are:

1. Manuscripts / Articles that have been revised in MS Word
2. Answer sheet/ Responses to reviewers' comments in a separate file. It should contain detail answer for each comments and also mention where the improvements are located (pages, columns, rows).

Here is the procedure:

1. Log in as Author in <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>.
2. Click "Active" and click on the manuscript title. In the header "#xxxx Summary" there is a taskbar "Summary", "Review", "Editing", then click on "Review".
3. In the "Editor Decision" section, please upload the those two files in the "Upload Author Version" section by clicking Browse File, then clicking "Upload".

Authors have 14 (fourteen) days from now for this stage. If both documents are not submitted until the deadline, then the manuscript will automatically be rejected."

Thank you for your cooperation and trust in you for publication in the Journal {\$ journalName} . National Journal Sinta-2 accredited by RISTEK DIKTI

Best regards,

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK

Sinta 2 Accredited Journal by RISTEK DIKTI

Engineering Faculty, Diponegoro University

{\$comments}

Reviewer B:

Does the paper title represent its content?

yes

Does the abstract reflect the paper content?

yes

Do the keywords indicate the scope of the research?

yes

Is the research methodology or the approach of the problem solving clearly described?

the methodology in the research was not found

Do the data presentation and interpretation valid and reasonable?

yes

Do the use of tables and figures help to clarify the explanation?

not clearly

Have the discussion and/or analysis been relevant with the results of the study?

relevant but the result still need to be clarified

Are the references used relevant? Is it sufficient?

yes

Contribution to science

yes

Originality

yes

Systematic

yes

Language

yes

Writing accuracy

not bad

Reviewer's decision

lanjutan

Comment about the paper

masih perlu revisi dan konfirmasi hasil

Reviewer C:

Does the paper title represent its content?

bukan sebagai alat pengambil keputusan tp sebagai alat pemodelan genangan banjir

Does the abstract reflect the paper content?

kalimat tdk bisa dipahami, di abstrak tdk perlu ada ikatan referensi, isi abstrak latar belakang singkat, padat dan jelas, tujuan, metode/tahapan analisis, hasil dan kesimpulan

Do the keywords indicate the scope of the research?

cukup

Is the research methodology or the approach of the problem solving clearly described?

tidak, skenario perlu dijelaskan dg jelas serta tindakan konservasi apa yg diambil tdk dijelaskan

Do the data presentation and interpretation valid and reasonable?

ya

Do the use of tables and figures help to clarify the explanation?

cukup

Have the discussion and/or analysis been relevant with the results of the study?

penjelasan kuran runtut dan belum menggunakan tata bahasa Indonesia yg baik dan benar shg sulit dipahami, terdpt inkonsistensi antara metode dan analisis

Are the references used relevant? Is it sufficient?

cukup

Contribution to science

tidak dapat disimpulkan krn penjelasan kurang runtut

Originality

sptnya asli

Systematic

kurang

Language

tidak baik

Writing accuracy

kurang

Reviewer's decision

perlu ditata ulang kalimat dan penjelasan agar runtut dan menggunakan tata bahasa Indonesia yg baik dan benar

Comment about the paper

perlu ditulis ulang

Reviewer D:
Requaired for revision

Perbaiki Abstract tanpa referensi, perjelas Keterangan gambar,

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK

Website:

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

<http://jteknik.undip.ac.id>

Online Submission: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

Email: jteknik@live.undip.ac.id

4. Pernyataan Kesediaan Merevisi



retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

Thanks

1 pesan

retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

27 Agustus 2024 pukul 09.15

Kepada: Editorial Jurnal Teknik <jteknik@live.undip.ac.id>

Dear editorial team,
Thank you for accepting our paper.
We will revise it immediately based on the review results and within the specified deadline.

We will send it via your journal website.

Thank you.

Best regards,
Retno Tri Nalarsih

Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Abstrak

Pulau Bintan menerima curah hujan bulanan yang sangat tinggi (Marganingrum et al., 2022), dilanjutkan Hasil analisis kerentanan banjir menunjukkan wilayah dengan kondisi sangat tinggi (Nalarsih et al., 2024). Sebagai alasan meneliti lebih dalam guna solusi yang jelas. Pendekatan penelitian ini sederhana dan canggih yaitu spasial HECRAS untuk mendapatkan area banjir dan genangan, dan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil spasial sebagai validasi diintegrasikan model SD, didapatkan 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 dapat diketahui 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 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 selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

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] Bintan Island receives high monthly rainfall (Marganingrum et al., 2022). The results of the flood vulnerability analysis show that the area has very high conditions (Nalarsih et al., 2024) as a reason to research more deeply for a clear solution. This research approach is simple and sophisticated, namely the spatial HECRAS to obtain flood and inundation areas and the Dynamic System (SD) approach from spatial results as validation integrates with the SD model, a targeted strategy is obtained in real-time. The results of the HECRAS simulation along the Downstream to Upstream drainage occurred flooding, with the character of inundation. Storage drainage solutions in Kampung Pisang were 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 SD models is that conservation works optimize when intervening infiltration by 30%, meaning we must carry out 30% of the total conservation activities to solve drainage problems. SD can make simulations and solutions in real-time, where the next submodel of inundation goes down so that the drainage load decreases; from the two sub-models, it has proven that the area is prone to flooding and can be completed in the 4th year and the rest must make solution development.

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

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, 2021a; Dinis et al., 2021; Nalarsih et al., 2020). Dampak perubahan iklim (Appiah et al., 2024; Desalegn & Mulu, 2021; Dinis et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; Umugwaneza et al., 2021), pengaruh curah hujan tinggi (Dinis et al., 2021; Gao et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; 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 lahan (Khattak et al., 2016; Saghafeian et al., 2008). Perbukitan yang relatif curam signifikan terhadap banjir genangan (Dinis et al., 2021). Hal terpenting adalah kerusakan geomorfologi oleh campur tangan manusia (Kastridis & Stathis, 2020), karena penggunaan lahan yang tidak terkendali dan peraturan harus diterapkan (Nalarsih et al., 2024). Kebijakan penggunaan lahan merupakan 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 rangkangan 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 analisis (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 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 (Desalegn & Mulu, 2021; Ibrahim et al., 2024b; 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).

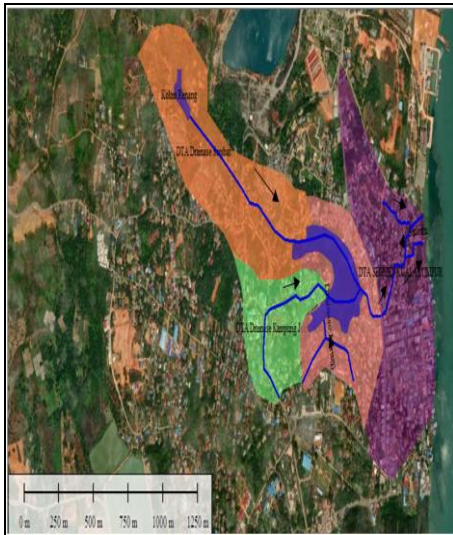
Pendekatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode spasial HECRAS yang bertujuan mendapatkan area banjir dan genangan, sehingga menghasilkan solusi pengendalian secara hidrolik, dilanjutkan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil secara spasial diintegrasikan ke model SD, didapatkan strategi yang terarah, secara real time. Banjir terjadi di Kijang Kota Kecamatan Bintang Timur, Kabupaten Bintang 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.

^{*} Penulis Korespondensi.
E-mail: nalarsih@gmail.com

2. Material dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi di Kijang Kota, Desa 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 SDA terintegrasi, maka penelitian mengambil DTA lebih luas yaitu; saluran (drainase) Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian sebagai *catchment area*

Gambar 1 menunjukkan bahwa luas wilayah di Sembat 400 Ha, Kampung Jati 170 Ha, Kampung Pisang 100 Ha, Kuala Lumpur 420 Ha, sehingga total luas adalah 1.090 Ha. Diambil debit Sembat dan debit Kampung Jati dan Lateral *inflow* Kampung Pisang, kemudian debit Kampung Pisang, debit Kuala Lumpur dan Lateral *inflow* Kampung Kuala Lumpur.

2.2 Data and Metode Analisis

Analisis Hidrologi

a. Analisa curah hujan rerata

Curah hujan yang diperlukan adalah curah hujan maksimum minimal 10 tahun pengamatan dari stasiun pencatat curah hujan terdekat, yaitu Stasiun BMKG Hang Nadim.

Tabel 1. Curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 hingga 2021

Tahun	Hujan (mm)	Tahun	Hujan (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

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa curah hujan harian maksimum tertinggi pertama adalah pada tahun tahun 2020-2021, sesuai dengan hasil penelitian bahwa tahun 2020 adalah frekuensi hujan tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir (Kurniati et al., 2021).

Commented [AC1]: Satuan pada tabel 1. mm/tahun atau mm/hari?

b. Perhitungan parameter dasar statistik

Menghitung Nilai rata-rata (*mean*), Standar Deviasi, Koefisien Variasi, Koefisien Kemencengan, Koefisien Ketajaman.

- (1). Perhitungan debit curah hujan dan Uji Kecocokan. Metode yang digunakan adalah metode Distribusi Normal, Gumbel, Pearson Tipe III dan Log Pearson Tipe III. Kemudian di uji kecocokan dengan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi-Kuadrat.
- (2). 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 1.

Tabel 1. Penentuan periode kala ulang berdasarkan tipologi kota

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2014:14)

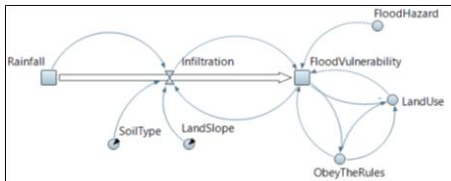
Berdasarkan tipologi kota lokasi penelitian termasuk kota besar dengan daerah tangkapan air 1.090 Ha, sehingga periode kala ulang yang digunakan untuk perencanaan drainase adalah periode kala ulang 10 tahun.

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). 2D Flow Area, (3). *Input Boundary Condition*, dan (4). Hasil Simulasi Kondisi Eksisting.

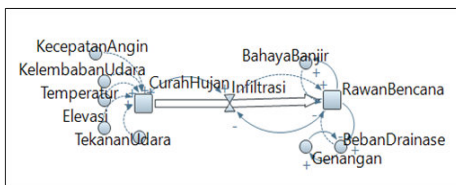
Analisis System Dynamic

Analisis ini bertujuan memberikan pemahaman dan sebagai alat untuk membantu pengambilan keputusan. Pendekatan didasarkan penelitian sebelumnya, yaitu *Causal Loop Diagram* (CLD) sesuai Gambar 2.



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

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. Causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model II

Gambar 3 merupakan pengembangan dari model Gambar 2, dengan dasar infiltrasi merupakan 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.

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.

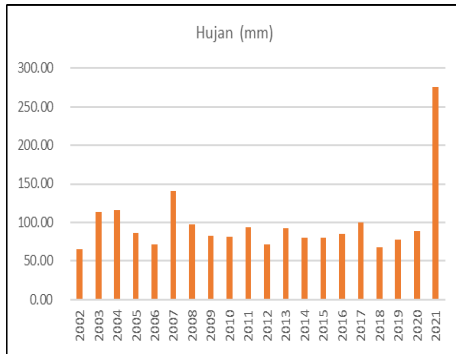


Gambar 4. Kondisi eksisting daerah tangkapan air 1, 2, dan 3

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. Grafik curah hujan maksimum harian

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).

Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan perhitungan frekuensi curah hujan, menggunakan periode ulang dalam tahun tertentu, yaitu Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III. Resume perhitungan sesuai Tabel 3.

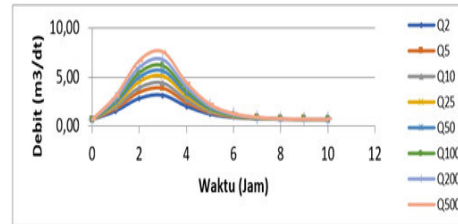
Tabel 3. Resume perhitungan analisa frekuensi curah hujan rencana

P(x > X _m)	T	Karakteristik Debit (m ³ /dt) Menurut Probabilitasnya									
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III			
Probabilitas Kala-Ulang		X _r	K _r	X _r	K _r	X _r	K _r	X _r	K _r	X _r	K _r
0.5	2	98.475	0.000	92.678	-0.128	91.024	-0.164	83.900	-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	1.389	191.174	2.044	167.645	2.213		
0.02	50	191.623	2.054	178.350	1.761	216.049	2.582	238.529	2.966		
0.01	100	203.987	2.328	194.540	2.118	240.740	3.137	305.233	3.740		
0.005	200	215.302	2.578	210.642	2.473	265.341	3.679	363.039	4.533		
0.002	500	229.015	2.878	221.951	2.943	297.798	4.395	554.012	5.810		
0.001	1,000	238.033	3.090	248.172	3.301	322.328	4.936	722.958	6.445		

Berdasarkan Tabel 3. perhitungan menggunakan formula; $XT = \mu + KT + \sigma$ (Chow et al., 1988). dengan hasil uji kecocokan Uji Chi-Kuadrat yang terbaik menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, dan begitu juga berdasarkan Uji Smirnov-Kolmogorov yang terbaik menggunakan distribusi Log pearson Tipe III.

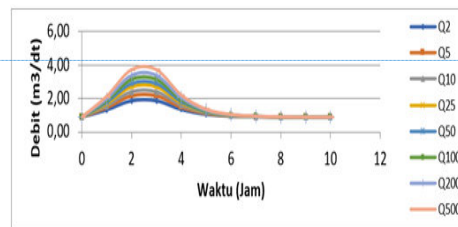
Analisis Debit Rencana

Besaran debit banjir rencana dihitung secara sintesis dengan menggunakan metode perhitungan unit hydrograph ITB-1 DTA Sembat sesuai Gambar 6.



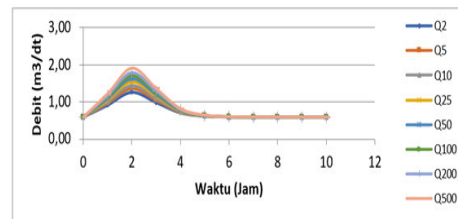
Gambar 6. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir ITB-1 DTA Kampung Jati sesuai Gambar 7.



Gambar 7. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir Lateral Inflow Kampung Pisang (C) sesuai Gambar 8.



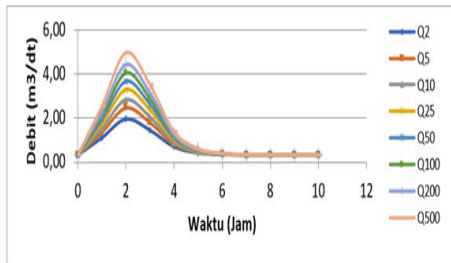
Gambar 8. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir Lateral Inflow Kampung Pisang (D) sesuai Gambar 9.

Commented [AC4]: Tidak jelas pernyataan ini. Rumus perhitungan tidak ada..hanya ditampilkan grafik-grafi saja

Commented [AC2]: Curah hujan dalam gambar 5 dalam satuan tahun, narasi nya dalam hari?

Commented [AC3]: Tampilkan hasil uji statistik (chi square) dan Smirnov-Kolmogorov sebagai justifikasi menggunakan Log Person Tipe III

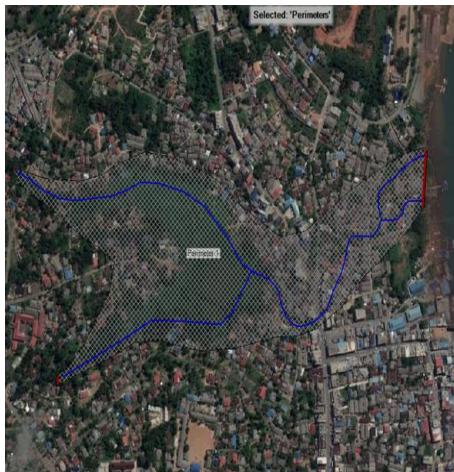


Gambar 9. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

3.3. Analisis Hidrolika

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 breakline untuk Grid pada sungai 1m x 1m, mengingat terdapat beberapa saluran dengan ukuran <3m.



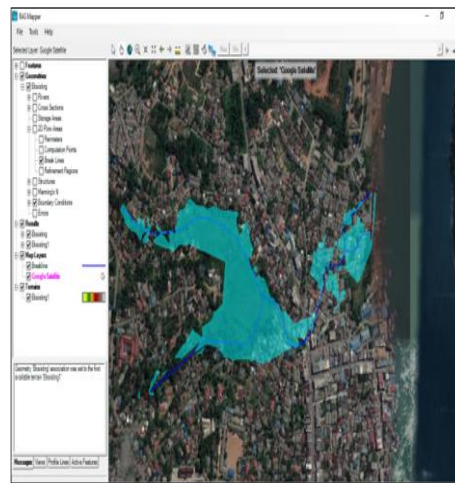
Gambar 10. 2D flow area kondisi eksisting

Gambar 10 menunjukkan bahawa *Boundary Condition* yang digunakan dalam simulasi kondisi eksisting sebagai bagian Hulu yaitu *Flow Hydrorgaph*, berupa debit banjir kala ulang 25 tahun. *Boundary*

Condition Hilir yaitu Pasang Surut (diambil pasang surut yang mempunyai pasang tertinggi dalam 1 tahun).

Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Hasil simulasi eksisting pada Debit Banjir Q 25 tahun, *running* dimulai dari BC hulu ke BC 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. Hasil pemodelan kondisi eksisting Q 25 tahun

Gambar 11 menunjukkan bahwa *running* dilakukan mulai dari hulu hingga hilir, banjir yang terjadi berupa genangan dikarenakan drainase sepanjang hulu hingga hilir tidak dapat mengakomodir aliran air saat hujan tinggi. 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 dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase, *longstorage*, dan khusus drainase di Kampung Pisang dipasang pintu klep 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; Nalarsi, 2021).

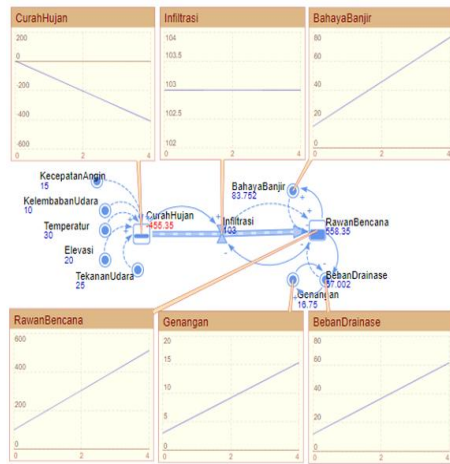
3.4. Analisis Sistem Dinamik

Commented [AC5]: Tunjukan di peta kondisi batas bagian dulu dan hilir dan berikan justifikasi memilih kondisi batas tersebut

Commented [AC6]: Tuliskan secara lengkap BC yang dimaksud

Commented [AC7]: Hasil simulasi HARUS ada kalibrasi dan validasi

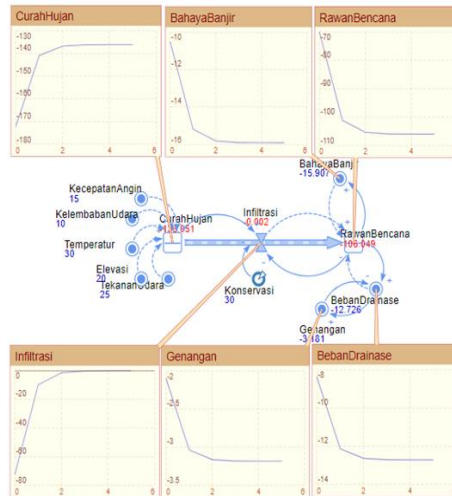
Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk menganalisis kontribusi parameter konservasi dalam mengintervensi infiltrasi guna mereduksi kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya, dilakukan perluasan batasan dan memodelkan variabel secara *endogen* (konstruktif). Hasil *running* dari model sesuai Gambar 12.



Gambar 12. CLD model II skenario 1

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 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 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. Model CLD II skenario 2

Gambar 13 menunjukkan bahwa parameter infiltrasi naik hingga mampu memperkecil rawan bencana banjir tinggal 0,2% atas kinerja konservasi, dengan adanya normalisasi drainase 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.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi HECRAS Banjir di Kijang Kota, Bintang Timur sepanjang drainase Hilir hingga Hulu terjadi banjir, ditemukan karakter banjir genangan. Solusi penanganan drainase *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

Commented [AC10]: Infiltrasi tidak akan bisa bekerja tanpa media...tunjukkan medianya

Commented [AC8]: Pernyataan ini perlu ditinjau kembali karena infiltrasi terjadi pada media tanah atau batuan...berikan informasi media infiltrasi sehingga dapat menyakinkan curah hujan membuat kinerja infiltrasi berkurang

Commented [AC9]: Singkatan diperjelas

berakibat rawan banjir turun dan dapat selesai pada tahun ke 4, dan selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dan Team Survey dalam bekerjasama pengambilan data primer dari PT. Citraweas 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).
- 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(August 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(October 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001sla>
- 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., Pirotton, 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>
- Marganingrum, D., Santoso, H., & Mulyono, A. (2022, July). Assessment of water resources for water irrigation purposes in Bintan island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1059, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Nalarsih, R. T. (2021). The pattern of water resources resilience in coastal areas centered on balance in society 5.0 in book chapter socoety 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 atool 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.
- 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.
- 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>
- Odoro Appiah, J., Agyemang-Duah, W., Sobeng, A. K., & Kpienbaareh, D. (2021). Analysing patterns of Sagharian, 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>
- 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>
- 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>

Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

Retno T. Nalarsih *

Jurusan Teknik Sipil Universitas Veteran Bantara Sukoharjo Sukoharjo, 57521, Indonesia,

Abstrak

Pulau Bintang menerima curah hujan bulanan yang sangat tinggi (Marganingrum et al., 2022), dilanjutkan Hasil analisis kerentanan banjir menunjukkan wilayah dengan kondisi sangat tinggi (Nalarsih et al., 2024). Sebagai alasan meneliti lebih dalam guna solusi yang jelas. Pendekatan penelitian ini sederhana dan canggih yaitu spasial HECRAS untuk mendapatkan area banjir dan genangan, dan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil spasial sebagai validasi diintegrasikan model SD, didapatkan 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 dapat diketahui 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 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 selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

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**] Bintang Island receives high monthly rainfall (Marganingrum et al., 2022). The results of the flood vulnerability analysis show that the area has very high conditions (Nalarsih et al., 2024) as a reason to research more deeply for a clear solution. This research approach is simple and sophisticated, namely the spatial HECRAS to obtain flood and inundation areas and the Dynamic System (SD) approach from spatial results as validation integrates with the SD model, a targeted strategy is obtained in real-time. The results of the HECRAS simulation along the Downstream to Upstream drainage occurred flooding, with the character of inundation. Storage drainage solutions in Kampung Pisang were 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 SD models is that conservation works optimize when intervening infiltration by 30%, meaning we must carry out 30% of the total conservation activities to solve drainage problems. SD can make simulations and solutions in real-time, where the next submodel of inundation goes down so that the drainage load decreases; from the two sub-models, it has proven that the area is prone to flooding and can completed in the 4th year and the rest must make solution development.

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

Commented [D11]: hindari kutipan dalam absrtak

Commented [D12]: Sesuaikan dengan bahasa indonesianya

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, 2021a; Dinis et al., 2021; Nalarsih et al., 2020). Dampak perubahan iklim (Appiah et al., 2024; Desalegn & Mulu, 2021; Dinis et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; Umugwaneza et al., 2021), pengaruh curah hujan tinggi (Dinis et al., 2021; Gao et al., 2021; Kitsikoudis et al., 2021; 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 lahan (Khattak et al., 2016; Saghafeian et al., 2008). Perbukitan yang relatif curam signifikan terhadap banjir genangan (Dinis et al., 2021). Hal terpenting adalah kerusakan geomorfologi oleh campur tangan manusia (Kastridis & Stathis, 2020), karena penggunaan lahan yang tidak terkendali dan peraturan harus diterapkan (Nalarsih et al., 2024). Kebijakan penggunaan lahan merupakan 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 analisis (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 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 (Desalegn & Mulu, 2021; Ibrahim et al., 2024b; 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).

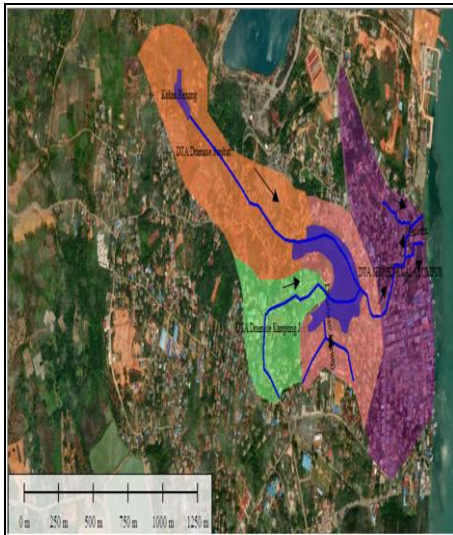
Pendekatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode spasial HECRAS yang bertujuan mendapatkan area banjir dan genangan, sehingga menghasilkan solusi pengendalian secara hidrolik, dilanjutkan pendekatan Sistem Dinamik (SD) dari hasil secara spasial diintegrasikan ke model SD, didapatkan strategi yang terarah, secara real time. Banjir terjadi di Kijang Kota Kecamatan Bintang Timur, Kabupaten Bintang 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.

^{*} Penulis Korespondensi.
E-mail: nalarsih@gmail.com

2. Material dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi di Kijang Kota, Desa 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 SDA terintegrasi, maka penelitian mengambil DTA lebih luas yaitu; saluran (drainase) Sembat, Kampung Jati, Kampung Pisang, dan Kuala Lumpur sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian sebagai *catchment area*

Gambar 1 menunjukkan bahwa luas wilayah di Sembat 400 Ha, Kampung Jati 170 Ha, Kampung Pisang 100 Ha, Kuala Lumpur 420 Ha, sehingga total luas adalah 1.090 Ha. Diambil debit Sembat dan debit Kampung Jati dan Lateral *inflow* Kampung Pisang, kemudian debit Kampung Pisang, debit Kuala Lumpur dan Lateral *inflow* Kampung Kuala Lumpur.

2.2 Data and Metode Analisis Analisis Hidrologi

a. Analisa curah hujan rerata

Curah hujan yang diperlukan adalah curah hujan maksimum minimal 10 tahun pengamatan dari stasiun pencatat curah hujan terdekat, yaitu Stasiun BMKG Hang Nadim.

Tabel 1. Curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 hingga 2021

Tahun	Hujan (mm)	Tahun	Hujan (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

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa curah hujan harian maksimum tertinggi pertama adalah pada tahun tahun 2020-2021, sesuai dengan hasil penelitian bahwa tahun 2020 adalah frekuensi hujan tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir (Kurniati et al., 2021).

b. Perhitungan parameter dasar statistik

Menghitung Nilai rata-rata (*mean*), Standar Deviasi, Koefisien Variasi, Koefisien Kemencengan, Koefisien Ketajaman.

- (1). Perhitungan debit curah hujan dan Uji Kecocokan. Metode yang digunakan adalah metode Distribusi Normal, Gumbel, Pearson Tipe III dan Log Pearson Tipe III. Kemudian di uji kecocokan dengan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogorov dan Uji Chi-Kuadrat.
- (2). 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 1.

Tabel 1. Penentuan periode kala ulang berdasarkan tipologi kota

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

Commented [D13]: Jadikan gambar satu kolom, cek semua gambar

4	Kota Kecil	2 Th	2-5 Th	2 Th	Th 2-5 Th
---	------------	------	--------	------	-----------------

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2014:14)

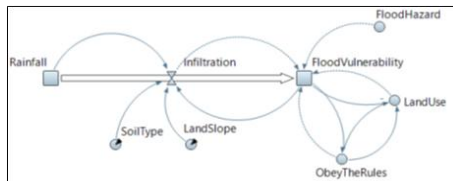
Berdasarkan tipologi kota lokasi penelitian termasuk kota besar dengan daerah tangkapan air 1.090 Ha, sehingga periode kala ulang yang digunakan untuk perencanaan drainase adalah periode kala ulang 10 tahun.

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). 2D Flow Area, (3). *Input Boundary Condition*, dan (4). Hasil Simulasi Kondisi Eksisting.

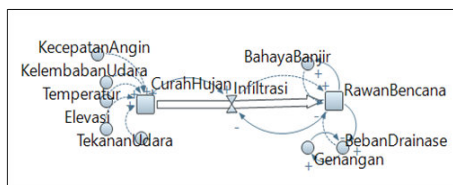
Analisis System Dynamic

Analisis ini bertujuan memberikan pemahaman dan sebagai alat untuk membantu pengambilan keputusan. Pendekatan didasarkan penelitian sebelumnya, yaitu *Causal Loop Diagram* (CLD) sesuai Gambar 2.



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

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. Causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model II

Gambar 3 merupakan pengembangan dari model Gambar 2, dengan dasar infiltrasi merupakan 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.

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 3.



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

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 4.

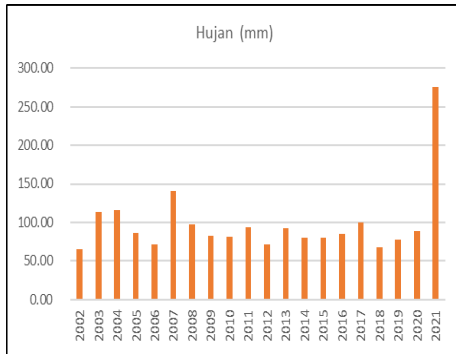
Commented [D15]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D16]: Cek kembali penomoran ini

Commented [D17]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D14]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D18]: Cek kembali penomoran ini



Gambar 5. Grafik curah hujan maksimum harian

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).

Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana

Berdasarkan perhitungan frekuensi curah hujan, menggunakan periode ulang dalam tahun tertentu, yaitu Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbell, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III. Resume perhitungan sesuai Tabel 3.

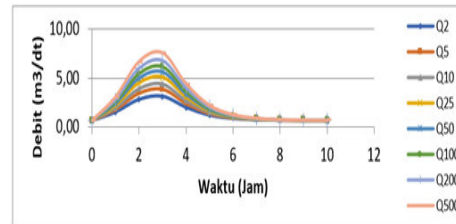
Tabel 3. Resume perhitungan analisa frekuensi curah hujan rencana

P(x = Xm)	T	Karakteristik Debit (m ³ /dt) Menurut Probabilitasnya											
		NORMAL			LOG-NORMAL			GUMBEL			LOG-PEARSON III		
Probabilitas Kala-Ulang		X _r	K _r		X _r	K _r		X _r	K _r		X _r	K _r	
0.5	2	98.475	0.000	92.678	-0.128	91.024	-0.164	83.980	-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	1.389	191.174	2.044	167.646	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	2.578	210.642	2.473	265.341	3.679	393.039	4.533				
0.002	500	229.015	2.878	221.951	2.943	297.798	4.395	554.012	5.610				
0.001	1,000	238.033	3.090	248.172	3.301	322.328	4.936	722.958	6.445				

Berdasarkan Tabel 3, perhitungan menggunakan formula; $XT = \mu + KT + \sigma$ (Chow et al., 1988). dengan hasil uji kecocokan Uji Chi-Kuadrat yang terbaik menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, dan begitu juga berdasarkan Uji Smirnov-Kolmogorov yang terbaik menggunakan distribusi Log pearson Tipe III.

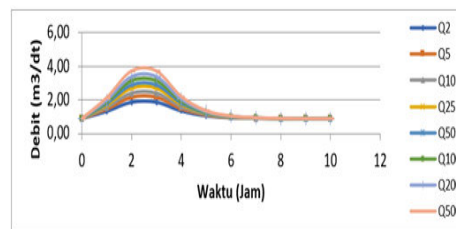
Analisis Debit Rencana

Besaran debit banjir rencana dihitung secara sintesis dengan menggunakan metode perhitungan unit hydrograph ITB-1 DTA Sembat sesuai Gambar 6.



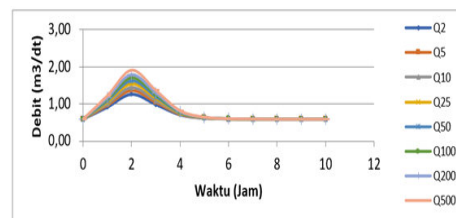
Gambar 6. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir ITB-1 DTA Kampung Jati sesuai Gambar 7.



Gambar 7. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

Debit Banjir Lateral *Inflow* Kampung Pisang (C) sesuai Gambar 8.



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

Debit Banjir Lateral *Inflow* Kampung Pisang (D) sesuai Gambar 9.

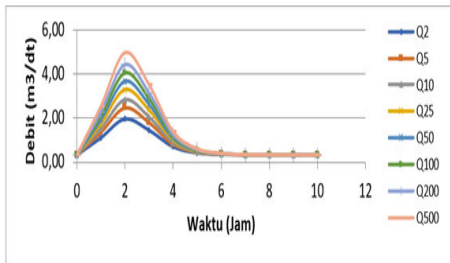
Commented [D111]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D19]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D110]: Buat dalam bentuk tabel bukan gambar

Commented [D112]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D113]: Jadikan gambar satu kolom

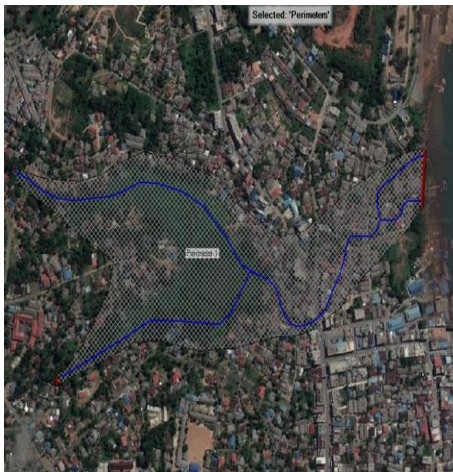


Gambar 9. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

3.3. Analisis Hidrolika

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 breakline untuk Grid pada sungai 1m x 1m, mengingat terdapat beberapa saluran dengan ukuran <3m.



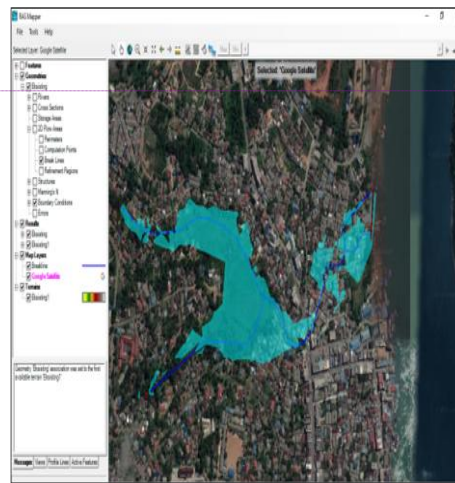
Gambar 10. 2D flow area kondisi eksisting

Gambar 10 menunjukkan bahwa *Boundary Condition* yang digunakan dalam simulasi kondisi eksisting sebagai bagian Hulu yaitu *Flow Hydrorgaph*, berupa debit banjir kala ulang 25 tahun. *Boundary*

Condition Hilir yaitu Pasang Surut (diambil pasang surut yang mempunyai pasang tertinggi dalam 1 tahun).

Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Hasil simulasi eksisting pada Debit Banjir Q 25 tahun, *running* dimulai dari BC hulu ke BC 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. Hasil pemodelan kondisi eksisting Q 25 tahun

Gambar 11 menunjukkan bahwa *running* dilakukan mulai dari hulu hingga hilir, banjir yang terjadi berupa genangan dikarenakan drainase sepanjang hulu hingga hilir tidak dapat mengakomodir aliran air saat hujan tinggi. 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 dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase, *longstorage*, dan khusus drainase di Kampung Pisang dipasang pintu klep 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).

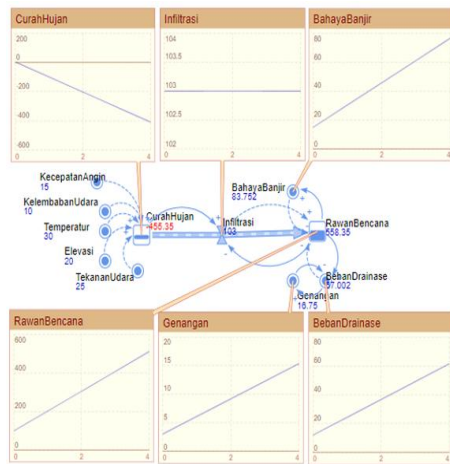
3.4. Analisis Sistem Dinamik

Commented [D114]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D116]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D115]: Jadikan gambar satu kolom

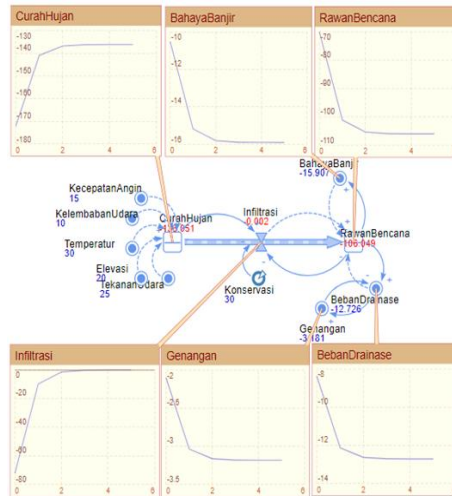
Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk menganalisis kontribusi parameter konservasi dalam mengintervensi infiltrasi guna mereduksi kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya, dilakukan perluasan batasan dan memodelkan variabel secara *endogen* (konstruktif). Hasil *running* dari model sesuai Gambar 12.



Gambar 12. CLD model II skenario 1

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 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 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. Model CLD II skenario 2

Gambar 13 menunjukkan bahwa parameter infiltrasi naik hingga mampu memperkecil rawan bencana banjir tinggal 0,2% atas kinerja konservasi, dengan adanya normalisasi drainase 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.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi HECRAS Banjir di Kijang Kota, Bintang Timur sepanjang drainase Hilir hingga Hulu terjadi banjir, ditemukan karakter banjir genangan. Solusi penanganan drainase *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

Commented [D118]: Jadikan gambar satu kolom

Commented [D117]: Jadikan gambar satu kolom

berakibat rawan banjir turun dan dapat selesai pada tahun ke 4, dan selebihnya harus membuat pengembangan solusi.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dan Team Survey dalam bekerjasama pengambilan data primer dari PT. Citraweas 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).
- 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(August 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(October 2023), 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.0011sla>
- 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., Pirotton, 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.

Commented [D119]: Gunakan mendeley

- Journal of King Saud University - Science*, 36(7).
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103237>
- Marganingrum, D., Santoso, H., & Mulyono, A. (2022, July). Assessment of water resources for water irrigation purposes in Bintan island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1059, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Nalarsih, R. T. (2021). The pattern of water resources resilience in coastal areas centered on balance in society 5.0 in book chapter socoety 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 atool 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.
- 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.
- 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>
- Odoro Appiah, J., Agyemang-Duah, W., Sobeng, A. K., & Kpienbaareh, D. (2021). Analysing patterns of 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>
- 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>
- 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>

1. Naskah/Artikel yang telah direvisi di MS Word.
2. Lembar jawaban/ Tanggapan atas komentar reviewer dalam berkas terpisah. Lembar jawaban harus berisi detail jawaban untuk setiap komentar dan juga menyebutkan lokasi perbaikan (halaman, kolom, baris).

27 Agustus 2024 pukul 08.18

REVIEW REPORT RESUME TABLE

Jenis Substansi	Reviewer A	Reviewer B	Reviewer C:	Reviewer D
Does the paper title represent its content?	yes	bukan sebagai alat pengambil keputusan tapi sebagai alat pemodelan genangan banjir	bukan sebagai alat pengambil keputusan tapi sebagai alat pemodelan genangan banjir	yes
Does the abstract reflect the paper content?	yes	kalimat tdk bisa dipahami, di abstrak tdk perlu ada ikatan referensi, isi abstrak latar belakang singkat, padat dan jelas, tujuan, metode/tahapan analisis, hasil dan kesimpulan	kalimat tdk bisa dipahami, di abstrak tdk perlu ada ikatan referensi, isi abstrak latar belakang singkat, padat dan jelas, tujuan, metode/tahapan analisis, hasil dan kesimpulan	Perbaiki Abstract tanpa referensi, perjelas Keterangan gambar,
Do the keywords indicate the scope of the research?	yes	cukup	cukup	yes
Is the research methodology or the approach of the problem solving clearly described?	the methodology in the research was not found	tidak, skenario perlu dijelaskan dg jelas serta tindakan konservasi apa yg diambil tdk dijelaskan	tidak, skenario perlu dijelaskan dg jelas serta tindakan konservasi apa yg diambil tdk dijelaskan	yes
Do the data presentation and interpretation	yes	ya	ya	yes

valid and reasonable?				
Do the use of tables and figures help to clarify the explanation?	not clearly	cukup	cukup	yes
Have the discussion and/or analysis been relevant with the results of the study?	relevant but the result still need to be clarified	penjelasan kurang runtut dan belum menggunakan tata bahasa Indonesia yg baik dan benar shg sulit dipahami, terdpt inkonsistensi antara metode dan analisis	penjelasan kurang runtut dan belum menggunakan tata bahasa Indonesia yg baik dan benar shg sulit dipahami, terdpt inkonsistensi antara metode dan analisis	yes
Are the references used relevant? Is it sufficient?	yes	cukup	cukup	
Contribution to science	yes	tidak dapat disimpulkan krn penjelasan kurang runtut	tidak dapat disimpulkan krn penjelasan kurang runtut	
Originality	yes	sptnya asli	sptnya asli	yes
Systematic	yes	kurang	kurang	yes
Language	yes	tidak baik	tidak baik	yes
Writing accuracy	not bad	kurang	kurang	yes
Reviewer's decision Comment about the paper	Lanjutan masih perlu revisi dan konfirmasi hasil	perlu ditata ulang kalimat dan penjelasan agar runtut dan menggunakan tata bahasa	perlu ditata ulang kalimat dan penjelasan agar runtut dan menggunakan tata bahasa	Required for revision

		Indonesia yg baik dan benar	Indonesia yg baik dan benar	
--	--	-----------------------------	-----------------------------	--

COMMENTS AND SUGGESTIONS FOR AUTHORS

Tentang judul, masih tetap dipertahankan pada kolom judul, karena menurut penulis memang sebagai tools dalam pengambil keputusan arah kebijakan, dan editor mengijinkan.

1. Commented [AC1]: Satuan pada tabel 1. mm/tahun atau mm/hari? **Hal 3 kolom 7 baris 8 Perbaiki pada Tabel 1 halaman 2**
2. Commented [AC2]: Curah hujan dalam gambar 5 dalam satuan tahun, narasi nya dalam hari? **halaman 5 kolom 2 baris ke 2 Perbaiki pada halaman 2 kolom 1 baris ke 4**
3. Commented [AC3]: Tampilkan hasil uji statistik (chi square) dan Smirnov-Kolmogorov sebagai justifikasi menggunakan Log Person Tipe III **halaman 5 kolom 1 baris ke 18 Perbaiki pada Halaman 2 kolom 1 baris 17**
4. Commented [AC4]: Tidak jelas pernyataan ini. Rumus perhitungan tidak ada..hanya ditampilkan grafik-grafi saja. **halaman 5 kolom 1 baris ke 3 Perbaiki pada Halaman 2 kolom 2 baris 36**
5. Commented [AC5]: Tunjukan di peta kondisi batas bagian dulu dan hilir dan berikan justifikasi memilih kondisi batas tersebut **halaman 6 kolom 2 baris ke 2 halaman 6 kolom 2 baris ke 17**
6. Commented [AC6]: Tuliskan secara lengkap BC yang dimaksud **halaman 6 kolom 2 baris ke 5 halaman 7 kolom 1 baris ke 7**
7. Commented [AC7]: Hasil simulasi HARUS ada kalibrasi dan validasi **halaman 6 kolom 2 baris ke 11 halaman 9 kolom 1 baris ke 12**
8. Commented [AC8]: Pernyataan ini perlu ditinjau kembali karena infiltrasi terjadi pada media tanah atau batuan...berikan informasi media infiltrasi sehingga dapat menyakinkan curah hujan membuat kinerja infiltrasi berkurang **halaman 7 kolom 1 baris ke 14 halaman 13 kolom 1 baris ke 15**
9. Commented [AC9]: Singkatan diperjelas **halaman 7 kolom 1 baris ke 21**

1 Mengingat kondisi kampung pisang berada di
2 cekungan sedangkan, merehabilitasi drainase dengan
3 pendalaman sangat sulit dilakukan. Perencanaan
4 penggunaan lahan yang tepat di daerah rawan banjir
5 juga harus dipertimbangkan untuk mengurangi bencana
6 banjir (Desalegn & Mulu, 2021). Sehingga sebagai
7 solusi dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase
8 dan *longstorage*. Khusus drainase di Kampung Pisang
9 dipasang pintu flip pada arah drainase menuju saluran
10 utama. Konservasi sumber daya air merupakan upaya
11 untuk mempertahankan keberadaan dan kelestariannya
12 kondisi, sifat, dan fungsi sumber daya air (Khattak et al.,
13 2016; Nalarsih, 2021).

3.4. Analisis Sistem Dinamik

15 Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk
16 menganalisis kontribusi parameter konservasi
17 normalisasi drainase dan *longstorage* sebagai upaya
18 dalam mengintervensi infiltrasi guna mereduksi
19 kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya
20 berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya,
21 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

10. Commented [AC10]: Infiltrasi tidak akan bisa bekerja tanpa media...tunjukan medianya
halaman 7 kolom 2 baris ke 2

1 Mengingat kondisi kampung pisang berada di
2 cekungan sedangkan, merehabilitasi drainase dengan
3 pendalaman sangat sulit dilakukan. Perencanaan
4 penggunaan lahan yang tepat di daerah rawan banjir
5 juga harus dipertimbangkan untuk mengurangi bencana
6 banjir (Desalegn & Mulu, 2021). Sehingga sebagai
7 solusi dilakukan konservasi melalui normalisasi drainase
8 dan *longstorage*. Khusus drainase di Kampung Pisang
9 dipasang pintu flip pada arah drainase menuju saluran
10 utama. Konservasi sumber daya air merupakan upaya
11 untuk mempertahankan keberadaan dan kelestariannya
12 kondisi, sifat, dan fungsi sumber daya air (Khattak et al.,
13 2016; Nalarsih, 2021).

14 **3.4. Analisis Sistem Dinamik**
15 Analisis Sistem Dinamik (SD) disusun untuk
16 menganalisis kontribusi parameter konservasi
17 normalisasi drainase dan *longstorage* sebagai upaya
18 dalam mengintervensi *infiltrasi* guna mereduksi
19 kerawanan bencana terutama banjir. Tahap selanjutnya
20 berdasarkan literatur dan penelitian sebelumnya,
21 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*

doi: 10.14710/teknik.v45i2.65276

Copyright © 2024, TEKNIK, p-ISSN: 0852-1697, e-ISSN: 240-9919

11. Commented [D11]: hindari kutipan dalam absrtak halaman 1 kolom 1 baris ke 2

11

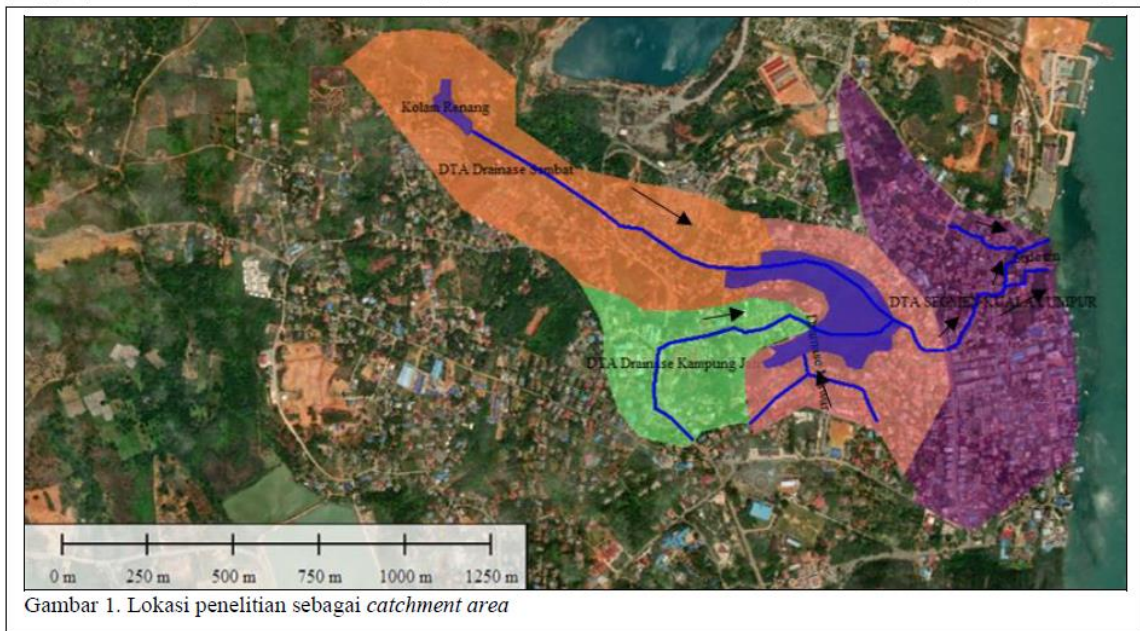
Abstrak

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

27
28 **Kata kunci:** sistem dinamik; genangan; konservasi; hydrologic engineering center's-river analysis system
29 (HECRAS); kerentanan bencana banjir

12. Commented [D12]: Sesuaikan dengan bahasa indonesianya halaman 1 kolom 1 baris ke 18
Sudah diedit

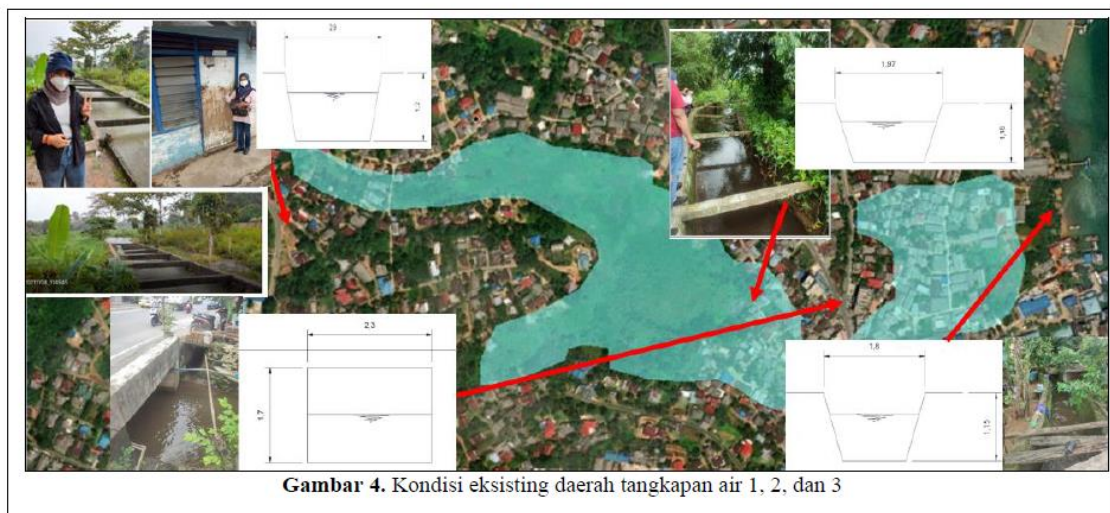
13. Commented [D13]: Jadikan gambar satu kolom, cek semua gambar halaman 1 kolom 1 baris
ke 17



Sudah semua

14. Commented [D14]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 1 kolom 1 baris ke 23**

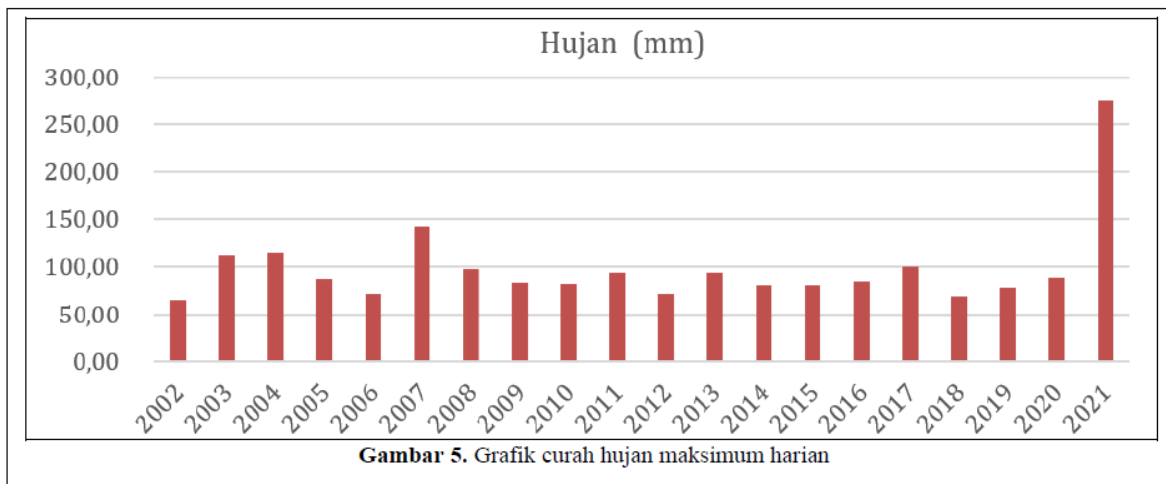
TEKNIK, 45 (2), 2024, 215



Hasil uji kecocokan Uji Chi-Kuadrat dan Uji Masing-masing sesuai Gambar 6. Kampung Jati sesuai.

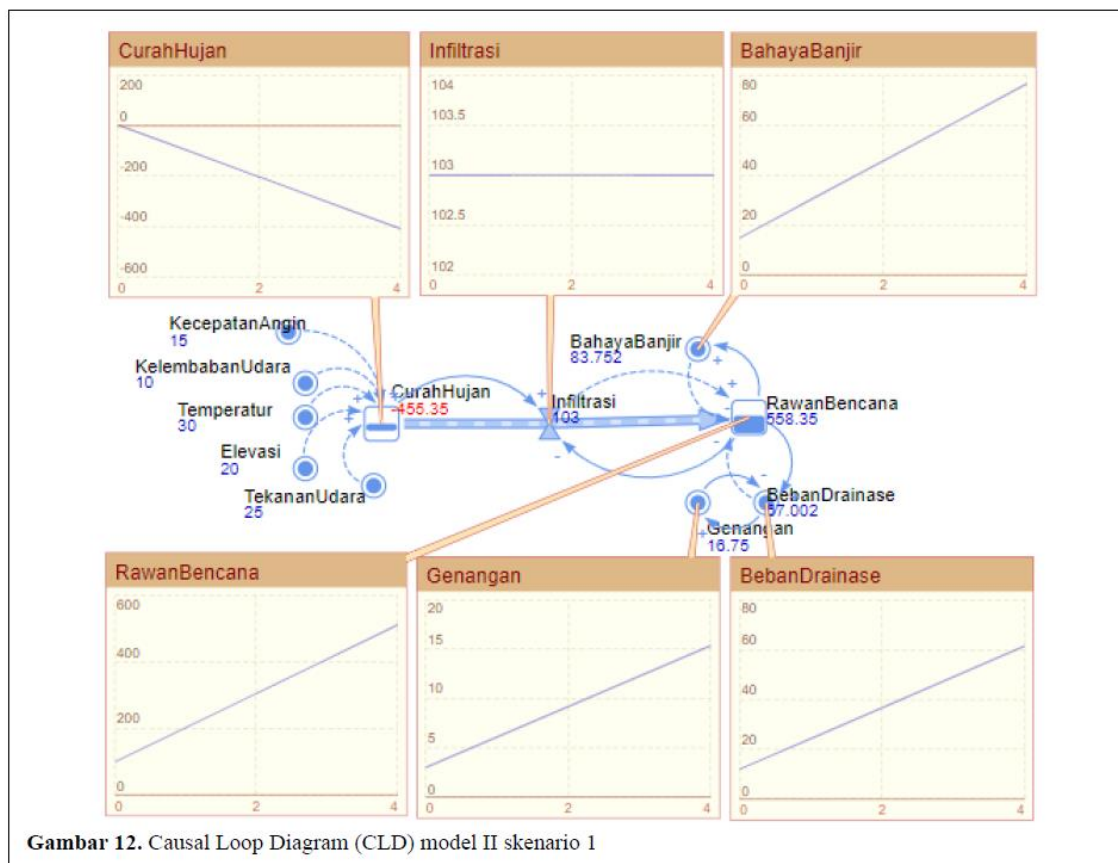
15. Commented [D15]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 1 kolom 2 baris ke 2**

Sudah semua



16. Commented [D16]: Cek kembali penomoran ini **halaman 1 kolom 2 baris ke 14**
Sudah sesuai

17. Commented [D17]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 1 kolom 2 baris ke 15**



18. Commented [D18]: Cek kembali penomoran ini **halaman 1 kolom 2 baris ke 27**
Sudah sesuai

19. Commented [D111]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 5 kolom 1 baris ke 1**
Sudah sesuai

20. Commented [D110]: Buat dalam bentuk tabel bukan gambar **halaman 5 kolom 1 baris ke 15**

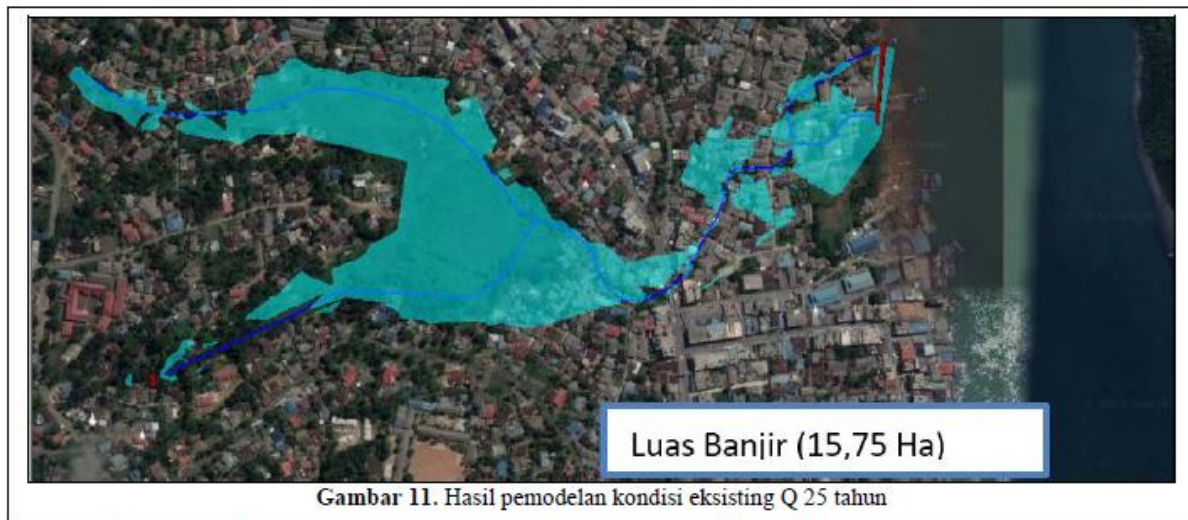
Tabel 8. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Pisang (C)									
Waktu	Q (m ³ /det)								
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q200	Q500	Q1000
0	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
1	0.91	0.96	1.00	1.05	1.09	1.12	1.17	1.22	1.27
2	1.29	1.37	1.41	1.45	1.49	1.51	1.57	1.61	1.65
3	0.99	1.05	1.09	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 (m ³ /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	4.17	4.48	4.81	5.10	5.37	5.61	5.84	6.00	6.14
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

21. Commented [D113]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 5 kolom 2 baris ke 18**
Sudah sesuai

22. Commented [D114]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 6 kolom 1 baris ke 1**
Sudah sesuai

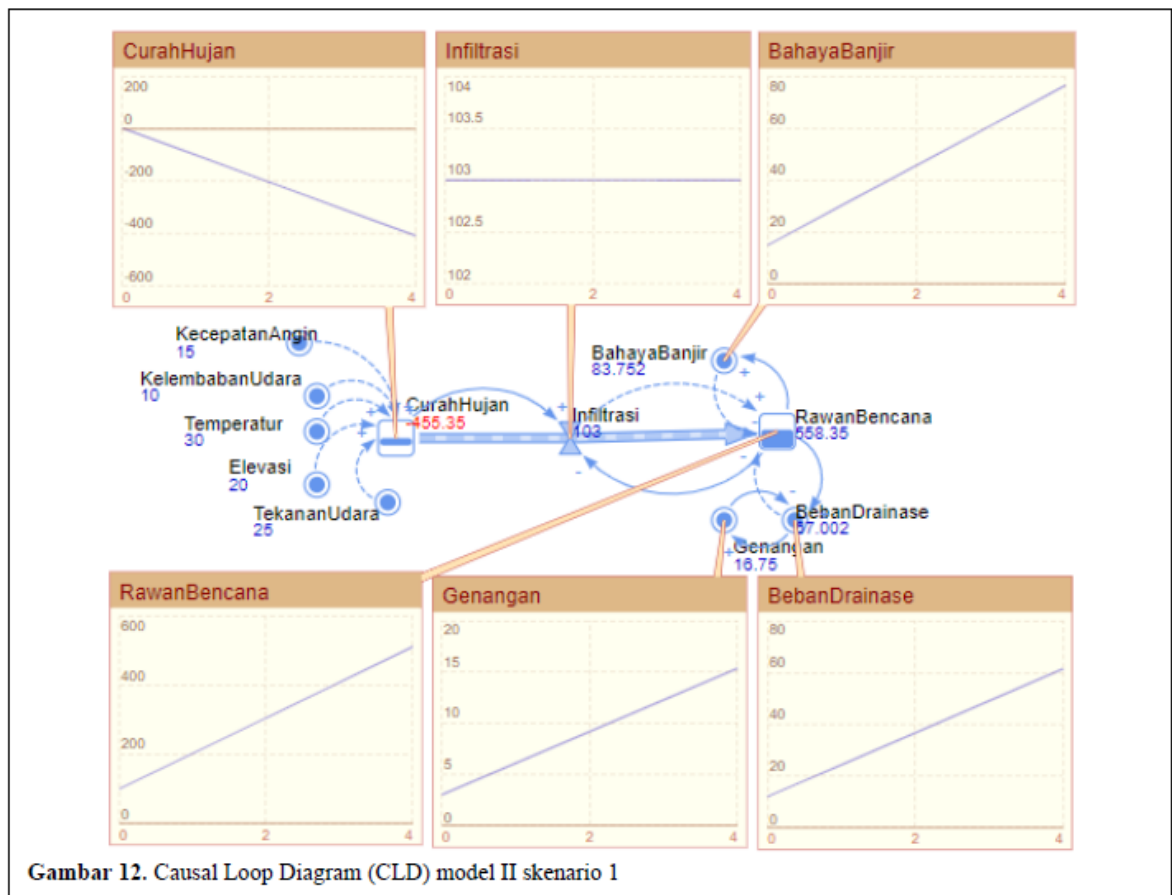
23. Commented [D115]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 6 kolom 1 baris ke 13**



24. Commented [D116]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 6 kolom 2 baris ke 11**

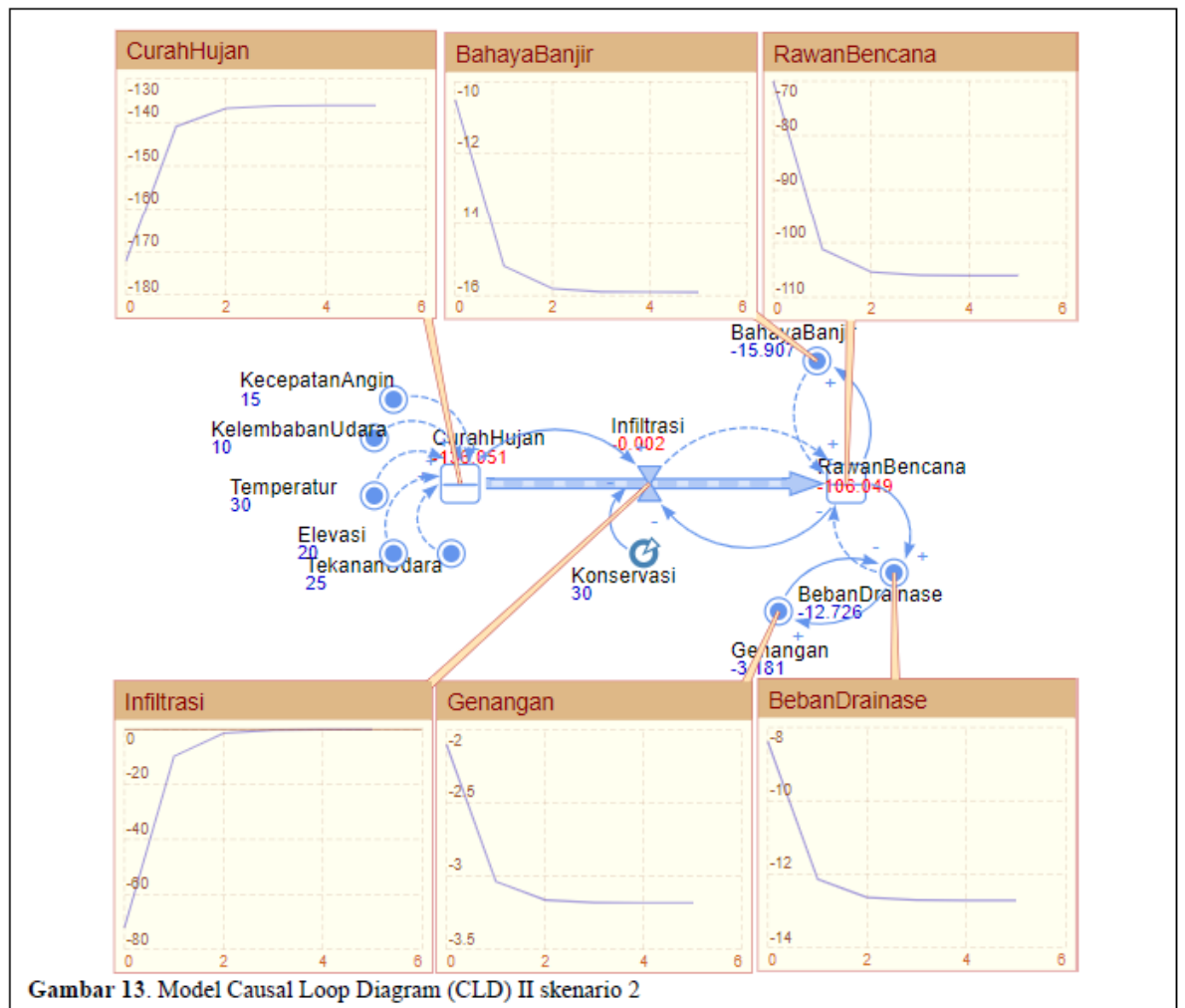


25. Commented [D117]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 7 kolom 1 baris ke 8**



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

26. Commented [D118]: Jadikan gambar satu kolom **halaman 7 kolom 2 baris ke 1**



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

27. Commented [D119]: Gunakan mendeley **halaman 8 kolom 1 baris ke 8**

Sudah sesuai

5. Bukti author's response dan artikel yang revisi final



retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

Paper Revisi Round 1 dan Bukti notulensi revisi

1 pesan

retno nalarsih <nalarsih@gmail.com>

30 Agustus 2023 pukul 19.00

Kepada: Editorial Jurnal Teknik <jteknik@live.undip.ac.id>

Dear Editorial Team, Thank you for giving us the time to improve our paper.

We hereby send you the revised minutes and our paper file.

We have submitted them through your journal website.

Thank you.

Best regards,

Retno Tri Nalarsih

2 lampiran**PAPER SINTA REVISI WORD.docx**

2649K

**2.D.2 A HALAMAN YANG DIPERBAIKI.docx**

3247K

Editor Decision

Decision

Accept Submission 27-08-2024

Notify Editor

 Editor/Author Email Record  27-08-2024

Editor Version

65276-213861-1-ED.doc 24-07-2024
65276-213861-2-ED.doc 27-08-2024
65276-213861-3-ED.doc 12-09-2024

Author Version

65276-214047-1-ED.doc 26-07-2024
65276-214047-2-ED.doc 03-08-2024
65276-214047-3-ED.doc 27-08-2024
65276-214047-4-ED.docx 27-08-2024
65276-214047-5-ED.doc 27-08-2024

Upload Author Version

Browse...

No file selected.

Upload

6. Bukti dokumen *LoA*

Yth.
Retno T. Nalarsih
Author Jurnal TEKNIK
Volume 45 No. 2 Bulan August Tahun 2024
Di tempat

Segenap *Editorial Boards* Jurnal Teknik (Terakreditasi Sinta 2, E-ISSN: 2460-9919)
mengucapkan selamat kepada:

Nama	Retno T. Nalarsih
Judul naskah	Sistem Dinamis dan HECRAS sebagai Alat Pengambil Keputusan Model Ketahanan Banjir

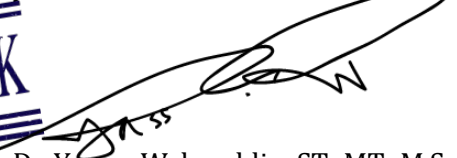
Naskah Bapak/ Ibu diterima untuk dipublikasikan di Jurnal Teknik Volume 45 No. 2 Bulan August Tahun 2024.

Demikian pemberitahuan ini, terimakasih atas kerjasamanya.

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK S2. E-ISSN: 2460-9919




Dr. Yasser Wahyuddin, ST., MT., M.Sc.
NIP 198902220119111108

Tembusan:

1. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan FT UNDIP
2. Ybs.

Citation Per Year By Google Scholar

Year	Citation
2017	80
2018	120
2019	180
2020	220
2021	320
2022	300
2023	400
2024	390
2025	250

Journal By Google Scholar

	All	Since 2020
Citation	2460	1899
h-index	22	19
i10-index	70	56

7. Bukti artike yang dipublish

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

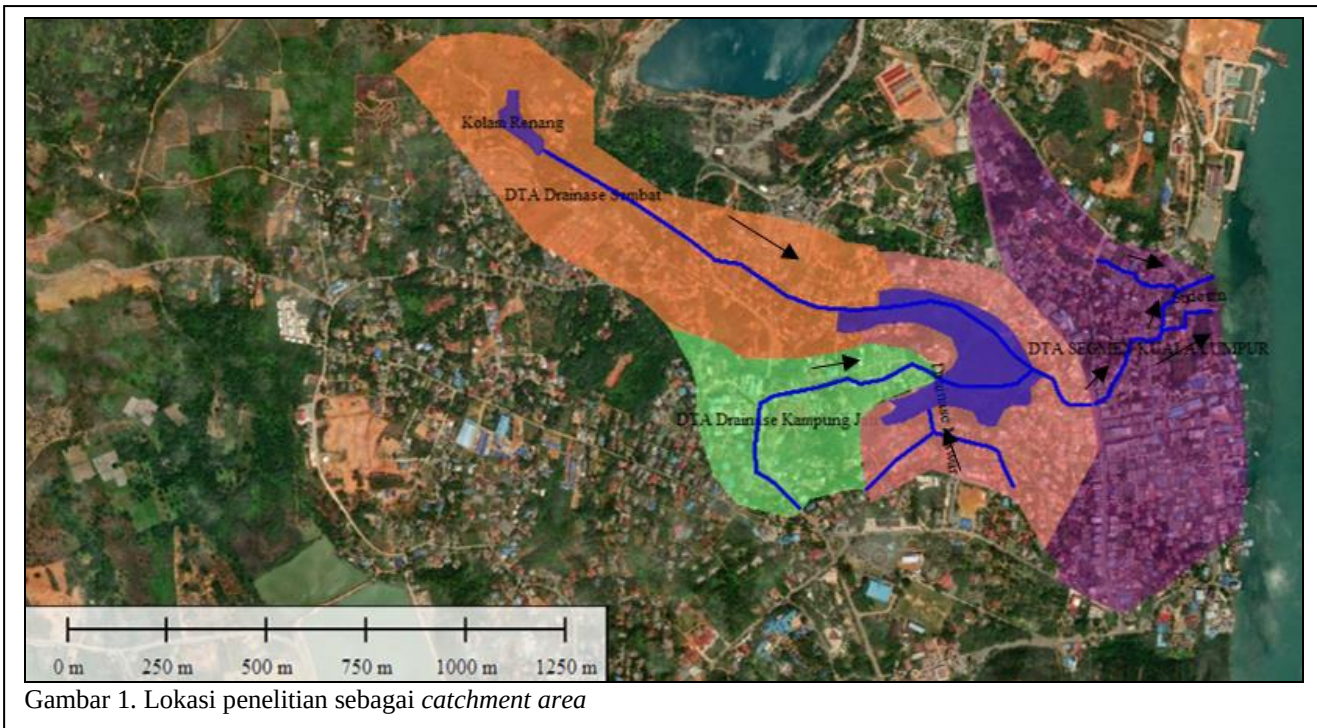
1. Pendahuluan

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 merupakan 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



Gambar 1. Lokasi penelitian sebagai catchment area

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 Bintang 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:

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

Distribusi Log Person Tipe III:

$$Y = Y + kxS \quad (2)$$

Distribusi Log Normal:

$$XT = X + K_t x S \quad (3)$$

Kemudian di uji kecocokan dengan menggunakan Uji Smirnov-Kolmogorov 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):

$$TL = Ct \, 0,81225 L^{0,6} \quad (4)$$

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).

$$Tp = TL + 0.50 Tr \quad (5)$$

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).

$$Tb = (8/3) * Tp \quad (6)$$

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).

$$qt = \{t * \exp(1 - t)\}^{a_{cp}} \quad (7)$$

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 $R=1\text{mm}$ yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $Tr=1\text{jam}$, dapat dihitung menggunakan persamaan 9.

$$Qp = R_{3,6} Tp ADASAHSS \quad (8)$$

Dimana R adalah Curah Hujan satuan(1.0mm), Qp adalah Debit puncak hidrograf satuan (m^3/s), Tp adalah waktu mencapai puncak(jam), ADAS adalah Luas DAS (km^2), 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

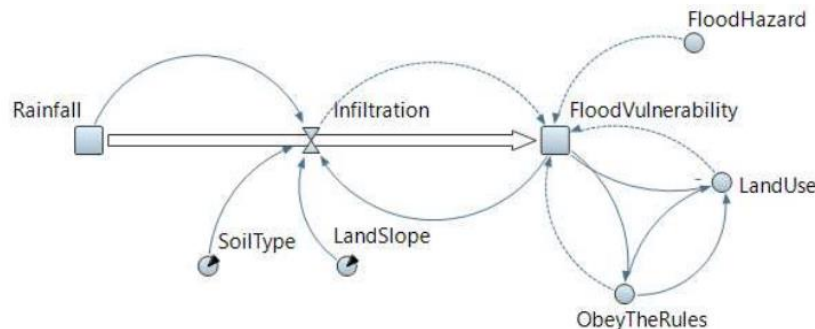
3.1. Analisis Kondisi Eksisting

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.

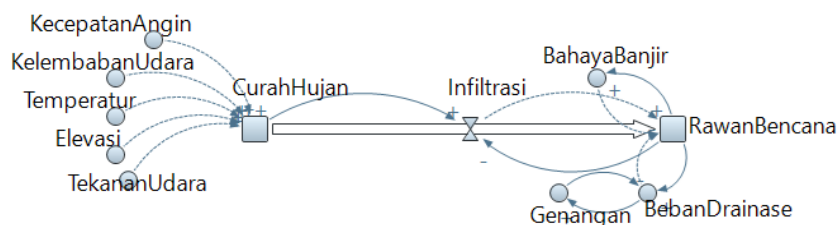
Gambar 4 menunjukkan dimensi drainase dan debit kapasitas di Kampung Pisang dan Kuala Lumpur kondisi eksisting yaitu; drainase Sembat debit kapasitas sebesar 2,78 m³/dt, Jati dan Mawar 11,89 m³/dt, Sembat Hilir 2,48 m³/dt, Kuala Lumpur Bawah Jalan 6,34 m³/dt, Kuala Lumpur Arah Pabrik Es 15,07 m³/dt.

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.



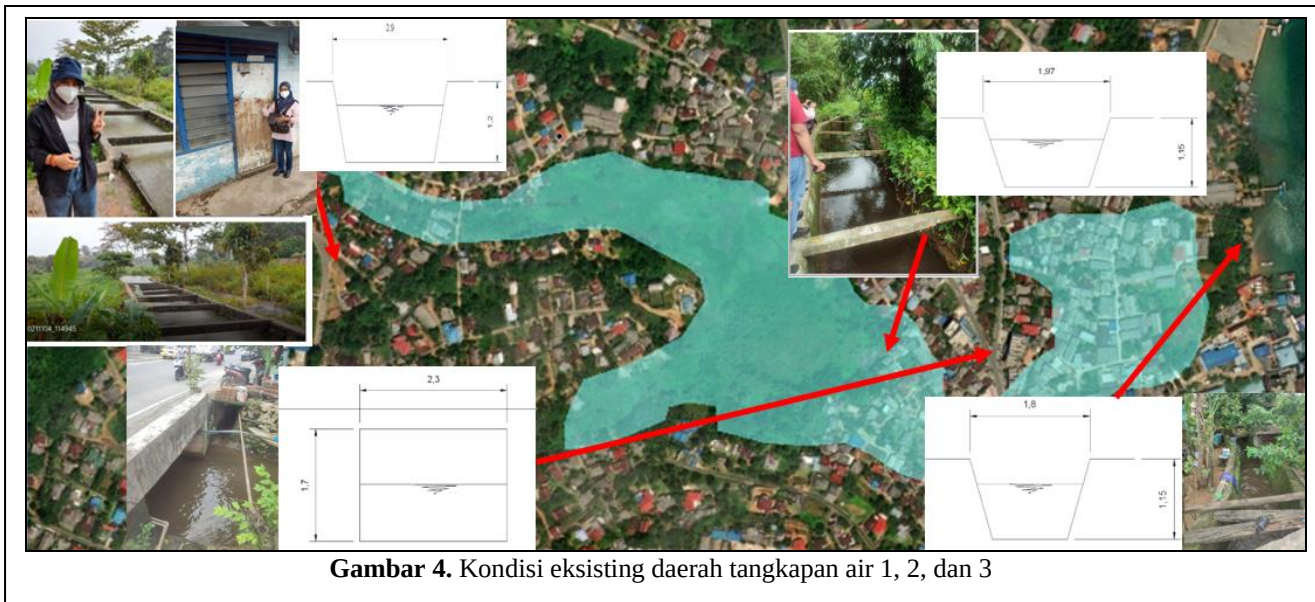
Gambar 2. CLD causal terbuka sistem dinamik kerentanan banjir model I (Nalarsih, 2024)



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



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 **sintetis** 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.

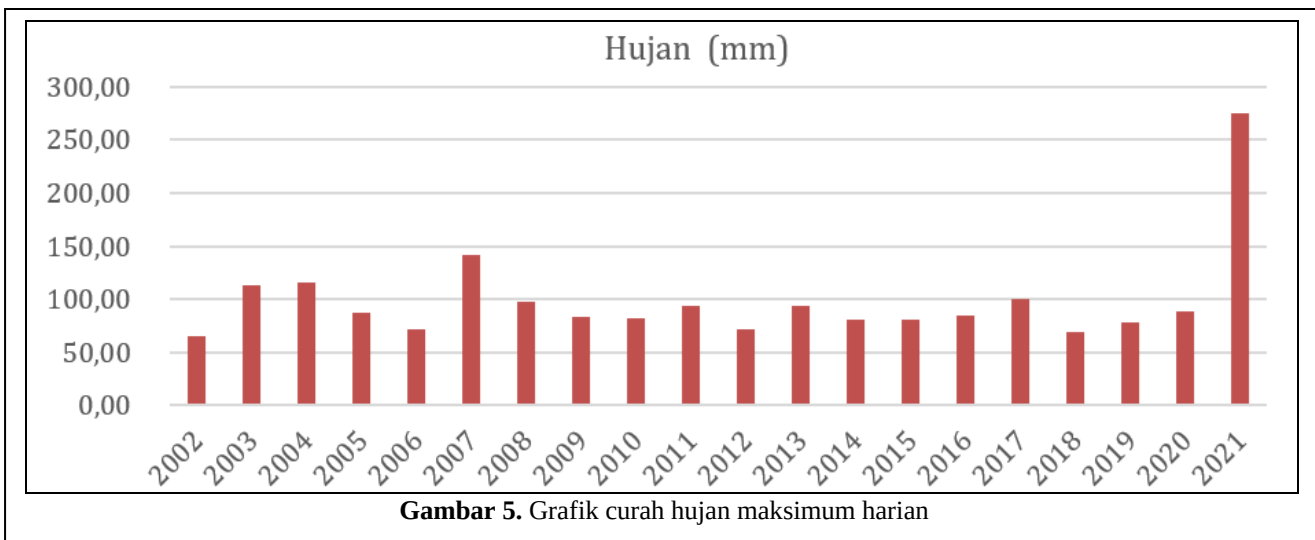
Tabel 8. Rekapitulasi Hidrograf Banjir ITB 1 DTA Kampung Pisang (C).

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 Hydrorgaph*, berupa debit banjir



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	$P(x \geq X_m)$		Ef	Hujan (mm)	Of	Ef - Of	$(Ef - Of)^2 / Ef$
5	0,200	$0 < P \leq 0,2$	3,800	4,612	19,000	15,200	60,800
	0,400	$0,2 < P \leq 0,4$	3,800	90,561	12,000	15,800	65,695
	0,600	$0,4 < P \leq 0,6$	3,800	82,049	4,000	0,200	0,011
	0,800	$0,6 < P \leq 0,8$	3,800	73,843	4,000	0,200	0,011
	0,999	$0,8 < P \leq 0,999$	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	
			$P(x \geq X_m)$	Do	$P(x \geq X_m)$	Do	$P(x \geq X_m)$	Do	$P(x \geq X_m)$	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	1.06	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 (m ³ /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
?	1 ?R	1 ::17	1 4!i	1 !i!i	1 R::l	1 71	1 7	1 1	? 01
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 (m ³ /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
?	HJ7	? 48	? R::l	::l ::lO	::l R7	4 O!i	4 44	!i 00	!i 44
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).

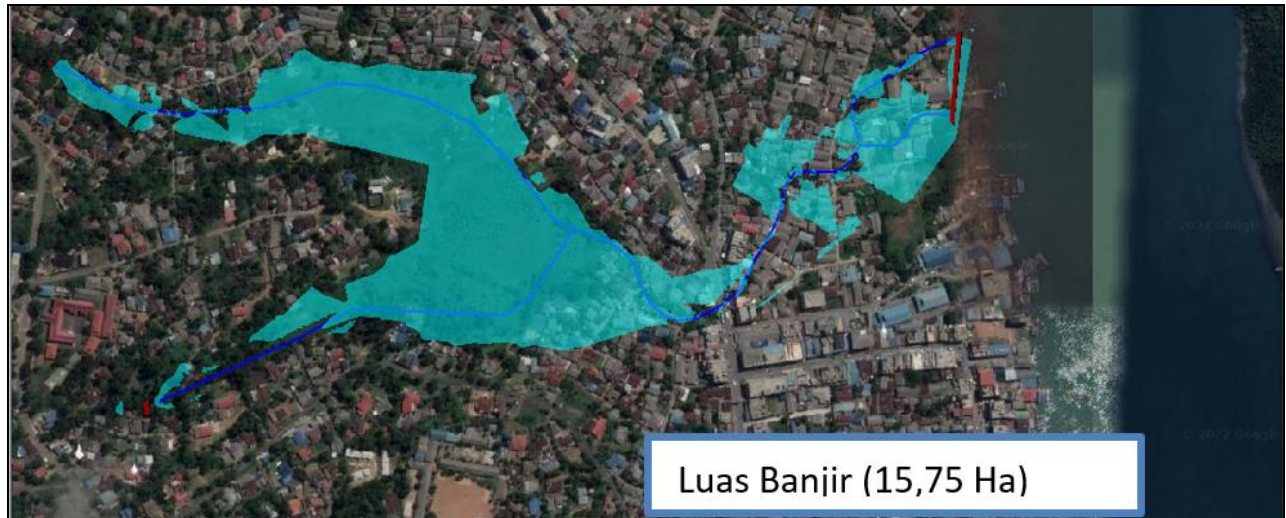
3.4. Analisis Sistem Dinamik

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

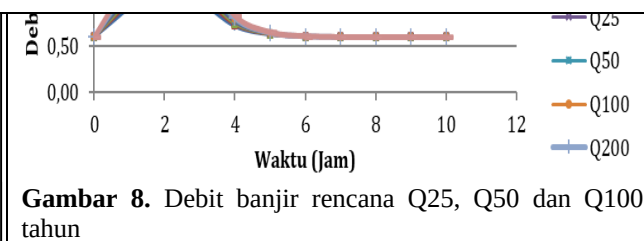
variabel secara lebih konstruktif. Hasil *running* model sesuai Gambar 12.

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%.

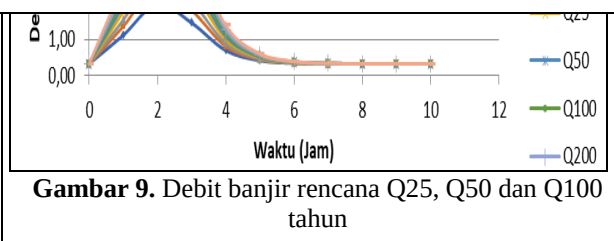
Tahap berikutnya membangun Causal Loop Diagram (CLD) dengan skenario 2, dimana sebagai semua parameter terhadap curah hujan bernilai tetap, tetapi besar curah hujan diskenariokan naik. Parameter konservasi dimodelkan menjadi intervensi bagi infiltrasi sebesar 30%, dengan hasil *running* sesuai Gambar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



Gambar 11. Hasil pemodelan kondisi eksisting Q 25 tahun



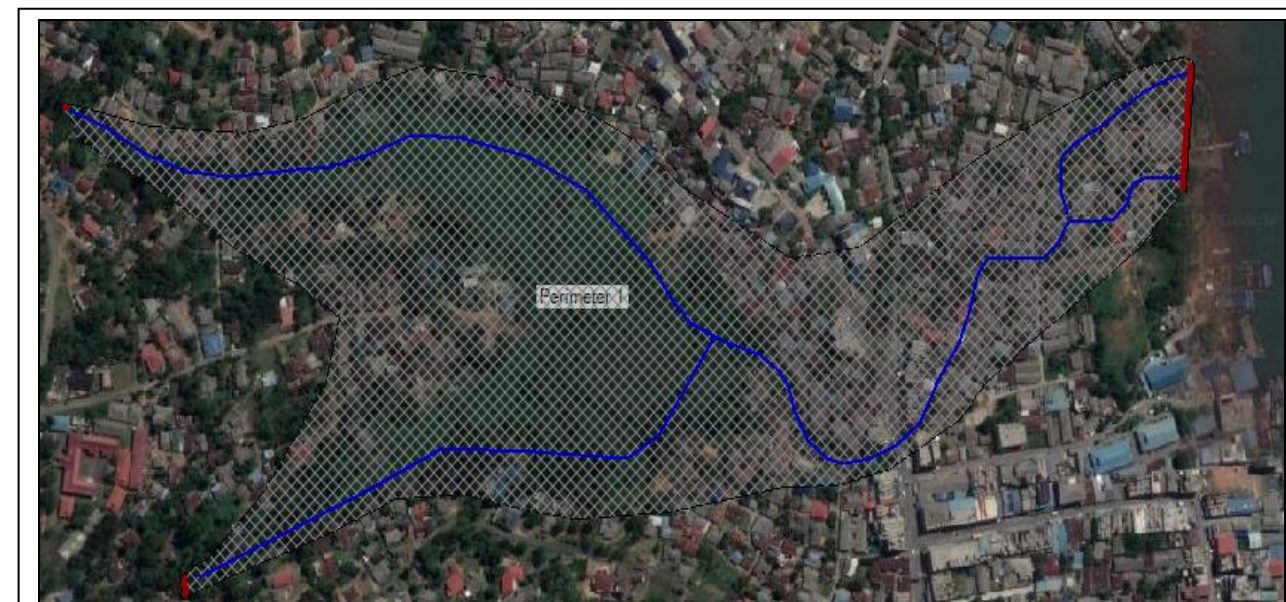
Gambar 8. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun



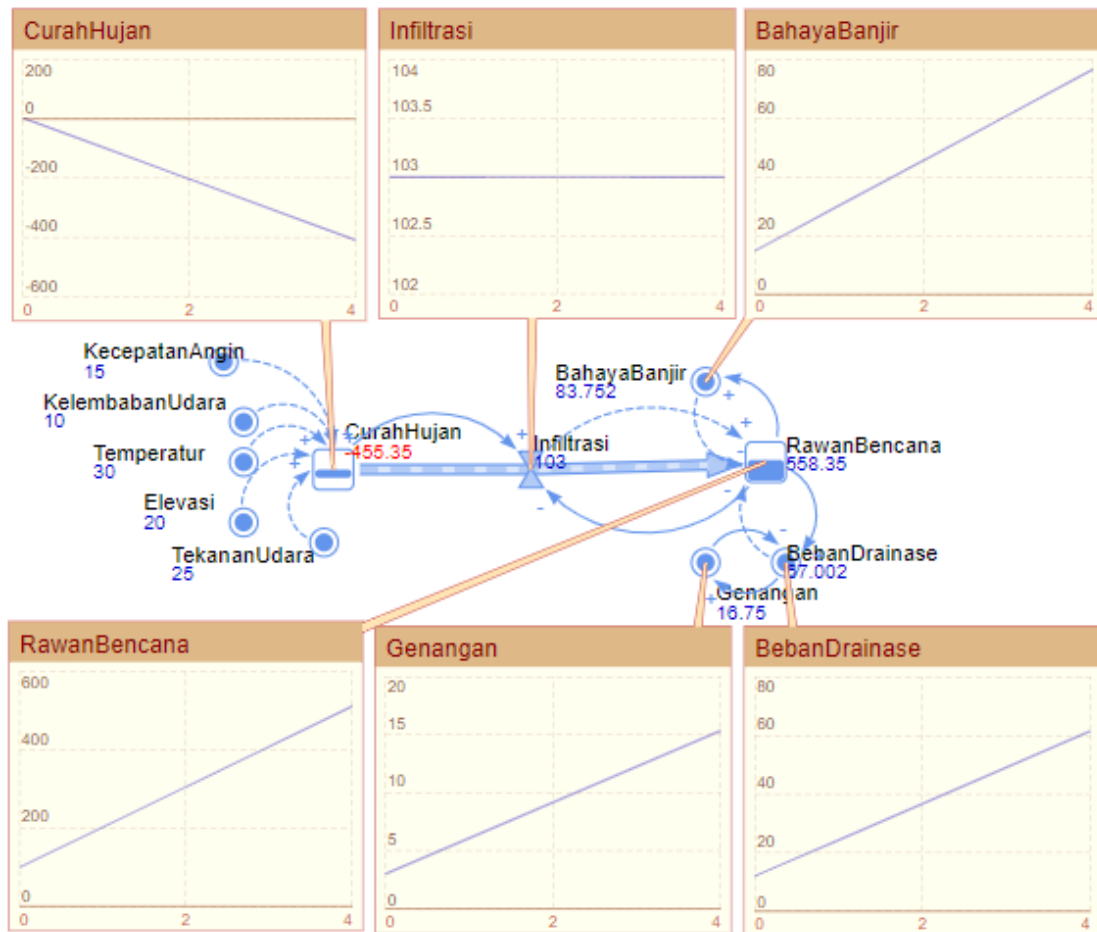
Gambar 9. Debit banjir rencana Q25, Q50 dan Q100 tahun

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.

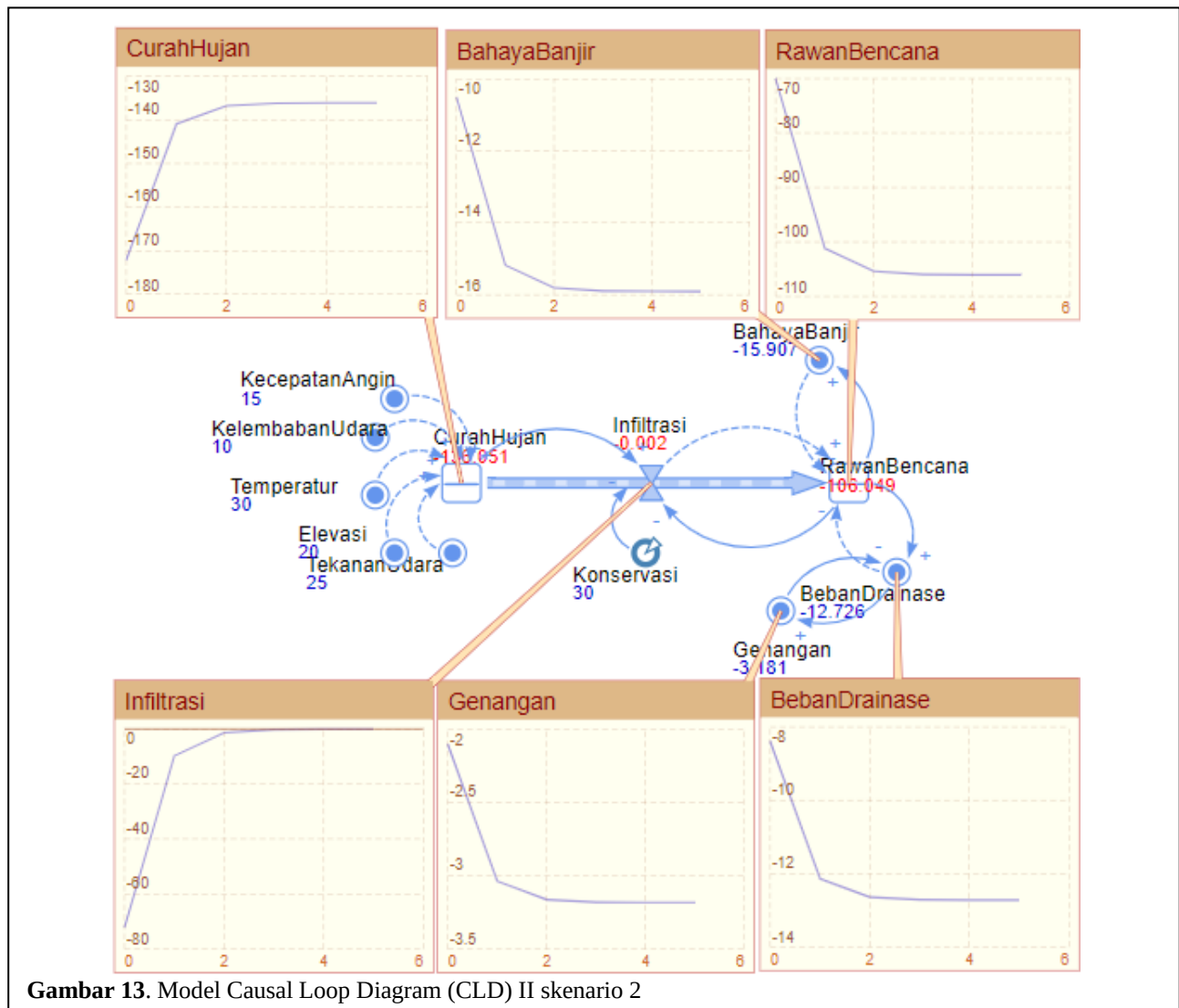


Gambar 10. 2D flow area kondisi eksisting



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 aTool 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>