

Pemodelan Sistem Dinamik Mitigasi Banjir Untuk Mengurangi Luas Sawah Terdampak Banjir Di Jawa Timur: A System Thinking Approach

Raulia Riski ^{1)*}, Anisa Dzulkarnain ²⁾, Adzanil Rachmadhi Putra ³⁾, Julieta Arneysa Nixieshakira ⁴⁾, Siti Nur Fadhilah ⁵⁾, Yanuar Cahyo Eko Wahana ⁶⁾

Universitas Telkom ^{1,2,3,4,5,6)}

riskiraulia@telkomuniversity.ac.id ^{1)*}, anisadzulkarnain@telkomuniversity.ac.id ²⁾,
adzrachmadhip@telkomuniversitysurabaya.ac.id ³⁾, julieta@student.telkomuniversity.ac.id ⁴⁾,
sitinurfadhilah@student.telkomuniversity.ac.id ⁵⁾, yanuarcy@student.telkomuniversity.ac.id ⁶⁾

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara Agraris terbesar di dunia, yang artinya sebagian besar penduduk Negara Indonesia bekerja di sektor pertanian, termasuk di Jawa Timur. Salah satu media databooks juga mencatatkan bahwa Jawa Timur adalah provinsi dengan luas lahan pertanian seluas 1.7 hektare. Namun sayangnya, Jawa Timur juga tercatat sebagai daerah yang sering terjadi banjir. Dimana tercatat sejumlah 211 kasus banjir yang melanda Jawa Timur pada tahun 2022. Beberapa kasus banjir yang terjadi juga mempengaruhi rasio jumlah lahan pertanian produktif yang ada di area Jawa Timur. Penelitian ini mengadopsi metode System Dynamic untuk mengidentifikasi faktor aktor-faktor yang mempengaruhi banjir, terutama pada sektor pertanian, kemudian mengidentifikasi penanganan dan pencegahan banjir tersebut untuk mengurangi jumlah sawah yang terdampak. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan sumber data primer maupun sekunder dari website pemerintah maupun jurnal terdahulu. Penelitian ini disajikan dalam bentuk analisis diagram kausatik mengenai mitigasi banjir pada sektor pertanian di Jawa Timur. Hasil penelitian menunjukkan ada tujuh submodel yang saling mempengaruhi dalam sistem mitigasi bencana banjir dalam penelitian ini, yaitu economic vulnerability, physical vulnerability, flood vulnerability, social vulnerability, adaptive capacity, flood risk, dan flood hazard.

Kata kunci: mitigasi bencana banjir, sawah, sistem dinamik, pemodelan, diagram kausatik

Abstract

[System Dynamics Model of Flood Mitigation to Reduce the Flood-Affected Rice Fields Area in East Java: A System Thinking Approach] Indonesia is one of the largest agricultural countries in the world, which means that the majority of the Indonesian population works in the agricultural sector, including in East Java. One of the media databooks also noted that East Java is a province with an agricultural land area of 1.7 hectares. However, unfortunately, East Java is also listed as an area that frequently experiences flooding. A total of 211 cases of flooding were recorded that hit East Java in 2022. Several cases of flooding that occurred also affected the ratio of the amount of productive agricultural land in the East Java area. This research adopts the System Dynamic method to identify the factors that influence flooding, especially in the agricultural sector, then identify the handling and prevention of flooding to reduce the number of affected rice fields. This research is a qualitative descriptive study with primary and secondary data sources from government websites and previous journals. This research is presented in the form of a causal diagram analysis regarding flood mitigation in the agricultural sector in East Java. The research results show that there are seven sub-models that influence each other in the flood disaster mitigation system in this research, namely economic vulnerability, physical vulnerability, flood vulnerability, social vulnerability, adaptive capacity, flood risk, and flood hazard.

Keywords: flood mitigation, rice field, system dynamics, modeling, causal diagram

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar sekaligus salah satu negara agraris terbesar di dunia, dimana sekitar 40% mata pencaharian masyarakatnya adalah bertani [1]. Dari seluruh wilayah di Indonesia, Provinsi Jawa Timur menyumbang jumlah luas lahan

sawah terbesar dengan luas sawah mencapai 25% dari luas wilayahnya [2]. Menurut Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jawa Timur, luas lahan sawah di Jawa Timur pada tahun 2017 mencapai 1,17 juta Ha [3], dari total luas Jawa Timur yaitu sekitar 4,8 juta Ha. Dengan luas lahan sawah yang besar tersebut, Jawa Timur

menjadi provinsi penghasil padi terbanyak di Indonesia dengan produksi padi pada tahun 2023 mencapai 95 ribu ton GKG (gabah kering panen) [4]. Kondisi geografis yang sesuai untuk lahan sawah dan produksi padi yang selama ini sudah dihasilkan ini tentunya perlu dipertahankan dari berbagai gangguan, termasuk bencana alam banjir.

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia [5]. Dampak banjir pada lahan sawah diantaranya adalah pada pola tanam, biaya produksi, hasil produksi padi, dan pendapatan petani [6], dimana dampak ini tentu semakin parah jika banjir terjadi saat proses penanaman sedang berlangsung. Untuk itu mitigasi banjir sangat diperlukan untuk meminimalisir risiko-risiko tersebut.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mitigasi bencana adalah melalui pemodelan dan simulasi. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk membantu pihak-pihak terkait melihat dan memetakan variabel-variabel penyebab banjir sebagai bentuk pencegahan maupun sebagai upaya pengurangan risiko banjir. Penelitian yang dilakukan oleh Sariasih di tahun 2022 mencoba memetakan provinsi-provinsi rawan banjir di Indonesia menggunakan visualisasi dashboard yang menampilkan data jumlah korban, jumlah kerugian, dan jumlah banjir, dengan hasil yang menunjukkan bahwa tiga provinsi paling rawan banjir di Indonesia adalah Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Jawa Timur [7]. Pemodelan daerah rawan banjir juga telah dibuat dalam penelitian yang dilakukan oleh Latue dkk di tahun 2023 menggunakan metode *Multi-Criteria Analysis* (MCA), dengan studi kasus Kecamatan Sirimau [8]. Salah satu hasil penelitiannya adalah daerah rawan banjir merupakan daerah yang berada di dekat sungai.

Pada penelitian ini digunakan sistem dinamik untuk memodelkan beberapa kemungkinan skenario yang dapat dilakukan oleh para pengambil keputusan untuk mengurangi risiko banjir pada lahan pertanian di Jawa Timur. Sistem dinamik sudah banyak digunakan untuk memodelkan sistem-sistem yang kompleks, termasuk sistem pertanian maupun sistem mitigasi bencana. Penelitian oleh Perrone dkk pada tahun 2019 menggunakan sistem dinamik untuk memodelkan sistem *flood risk management* dengan studi kasus sebuah Sungai di Italia [9]. Pada penelitian tersebut dibuat sebuah model yang menunjukkan hubungan keterlibatan antar setiap pemangku kepentingan dalam mengelola risiko banjir. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Pagano dkk mengenai pemodelan sistem untuk pengurangan risiko banjir di Slovenia menggunakan sistem dinamik [10]. Pagano dkk membuat model tersebut untuk mengukur pengaruh variabel-variabel *Nature Based Solutions* (NBS) seperti pengelolaan sungai, dan *socio-institutional measures* seperti peraturan pemerintah, dalam mengurangi risiko banjir.

Sistem dinamik terdiri dari dua diagram utama yang pengerjaannya dilakukan berurutan, yaitu pada tahap awal ada pengembangan *Causal Loop Diagram*

(CLD) dan selanjutnya adalah pengembangan *Stock and Flow Diagram* (SFD). Penelitian ini berfokus pada pengembangan CLD sebagai tahap pemetaan hubungan sebab akibat dari variabel-variabel pembentuk sistem mitigasi banjir di Jawa Timur. Dalam sistem yang dibangun ini, variabel yang menjadi tolak ukur akhir pengujian adalah luas sawah terdampak banjir di Jawa Timur. Hal ini sejalan dengan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui variabel-variabel apa saja yang berkaitan dengan mitigasi banjir di Jawa Timur dan bagaimana hubungan sebab akibat diantara variabel-variabel tersebut. Hasil penelitian berupa sebuah konsep sistem yang digambarkan menggunakan CLD yang telah dikembangkan dan dikelompokkan ke dalam beberapa submodel untuk digunakan sebagai landasan pada penelitian lebih lanjut mengenai mitigasi banjir pada lahan sawah di Jawa Timur.

2. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan, termasuk di dalamnya adalah tahapan penelitian, teori mengenai sistem dan pemodelan, sistem dinamik, bencana banjir, dan mengenai mitigasi banjir.

2.1. Tahapan Penelitian

Terdapat tujuh tahapan penelitian dalam sistem dinamik, yaitu tahap identifikasi permasalahan dan tujuan, tahap identifikasi variabel (*boundary adequacy*), tahap pendefinisian sistem (CLD), formulasi model (SFD), pengembangan persamaan model, validasi model, dan skenarioisasi [11]. Penelitian ini mencakup 3 tahapan awal dari pemodelan sistem dinamik, dimana penelitian ini dimulai dengan identifikasi permasalahan dan tujuan yang berkaitan dengan kondisi maupun sistem mitigasi bencana banjir di Jawa Timur, khususnya yang berdampak pada produktivitas lahan pertanian. Kemudian dilanjutkan dengan identifikasi variabel-variabel yang berkaitan dengan penelitian yang akan diinputkan pada pemodelan sistem dinamik yang dikembangkan. Lalu diakhiri dengan pemodelan dan analisis model kausatik dari sistem mitigasi bencana banjir di Jawa Timur untuk mengurangi luas sawah terdampak banjir.

2.2. Sistem dan Pemodelan

Sistem adalah kumpulan entitas yang bertindak dan berinteraksi bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu, sedangkan model merupakan representasi dari suatu sistem nyata [12]. Adapun keuntungan penggunaan model dalam penelitian dengan pendekatan sistem adalah: (1) memungkinkan dilakukannya penelitian lintas sektoral dengan cakupan yang luas; (2) eksperimen dapat dilakukan terhadap sistem tanpa mengganggu sistem yang sebenarnya; (3) dapat dengan bebas menentukan tujuan kegiatan pengelolaan dan perbaikan sistem yang diteliti; dan (4) model yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi perilaku dan keadaan sistem di masa depan [12].

2.3. Sistem Dinamik

Salah satu praktik yang menerapkan konsep pemodelan sistem adalah sistem dinamik, dimana penggunaannya dikhususkan untuk memodelkan aliran, proses, dan hubungan antar pemangku kepentingan pada sistem yang kompleks[13], [14]. Beberapa sistem kompleks yang pernah dimodelkan dalam sistem dinamik diantaranya adalah sistem transportasi[12], sistem pertanian/ agraris[15], [16], termasuk sistem mitigasi bencana[17].

2.4. Bencana Banjir pada Lahan Sawah di Jawa Timur

Banjir merupakan salah satu bencana sosial-alam yang serius dan berdampak terhadap kehidupan sosial-ekonomi[17], dimana bencana banjir dapat menimbulkan kerugian yang lebih besar jika terjadi peningkatan frekuensi, peningkatan kedalaman dan luas banjir akibat perubahan iklim di musim tertentu[18]. Pada tahun 2023 di Jawa Timur tercatat luas lahan sawah terdampak banjir mencapai 3.923 Ha, dimana sebanyak 20% dari luas sawah terdampak ini mengalami gagal panen [19]. Jika dibandingkan dengan total luas lahan sawah di Jawa Timur, maka angka ini tidak terlalu signifikan berpengaruh pada petani maupun hasil panen total. Namun jika dilihat lebih detail per kabupaten, hasilnya akan cukup signifikan, dimana Kabupaten Bojonegoro dan Kabupaten Lamongan masing-masing mengambil kurang lebih sebesar 10% dari luas sawah terdampak banjir di Jawa Timur, diikuti oleh Kabupaten Ponorogo sebesar 7% [19]. Pada daerah-daerah seperti ini lah diperlukan mitigasi banjir yang lebih efektif.

2.5. Mitigasi Banjir

Mitigasi merupakan rangkaian usaha untuk mengurangi risiko bencana, termasuk tindakan pencegahan sebelum bencana terjadi hingga penanganan setelah bencana terjadi [20]. Beberapa rencana mitigasi banjir sudah banyak diteliti pada penelitian-penelitian sebelumnya diantaranya seperti mitigasi banjir melalui analisis perencanaan mitigasi melalui pengujian variabel-variabel yang dapat mengurangi risiko banjir [8], [10], maupun rencana mitigasi banjir secara praktikal [21]. Penelitian ini termasuk dalam kategori yang pertama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada 3 tahapan awal dari pemodelan sistem dinamik. Dengan identifikasi permasalahan dan tujuan yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka bagian ini akan membahas mengenai tahapan selanjutnya, yaitu penetapan *boundary adequacy* dan pembuatan pola dasar sistem menggunakan CLD.

3.1. Boundary Adequacy

Boundary adequacy berisi daftar variabel-variabel yang saling berpengaruh dalam pembuatan

model sistem dinamik. Tabel 1 menunjukkan daftar *boundary adequacy* dari sistem mitigasi banjir di Jawa Timur. Variabel-variabel dalam *boundary adequacy* didapatkan dari data-data primer maupun sekunder. Data primer yang digunakan dalam membangun model pada penelitian ini merupakan data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik, dengan periode tahun yang dipakai adalah dari tahun 2000 sampai 2022. Selain itu terdapat data-data sekunder yang diambil dari penelitian-penelitian terdahulu terkait dengan penerapan sistem dinamik dan pengurangan risiko banjir pada lahan pertanian.

Tabel 1. *Boundary Adequacy* Model Sistem Dinamik untuk Mengurangi Luas Sawah Terdampak Banjir di Jawa Timur

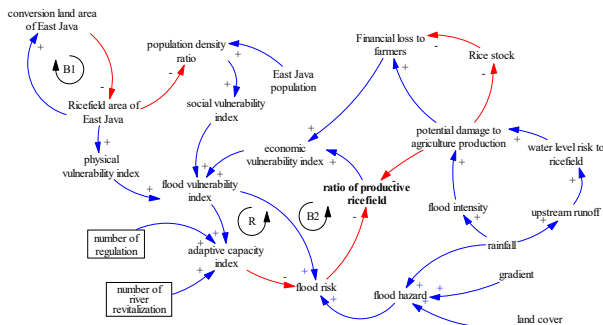
No.	Variabel	Satuan
1	<i>Conversion land area of East Java</i>	Ha
2	<i>Rice Field area of East Java</i>	Ha
3	<i>Population density ratio</i>	Dmnl
4	<i>Social vulnerability index</i>	Dmnl
5	<i>East java population</i>	Dmnl
6	<i>Adaptive capacity index</i>	Dmnl
7	<i>Economic vulnerability index</i>	Dmnl
8	<i>Ratio of productive rice field</i>	Dmnl
9	<i>Financial loss to farmers</i>	Rupiah
10	<i>Potential damage to agriculture production</i>	Ha
11	<i>Rice Stock</i>	Ton/Year
12	<i>Flood intensity</i>	mm/Year
13	<i>Rainfall</i>	mm
14	<i>Upstream runoff</i>	m ³ /second
15	<i>Water level risk to rice field</i>	Dmnl
16	<i>Flood vulnerability index</i>	Dmnl
17	<i>Physical vulnerability index</i>	Dmnl
18	<i>Flood risk</i>	Dmnl
19	<i>Number of regulations</i>	unit
20	<i>Number of river revitalization</i>	unit
21	<i>Flood hazard</i>	Dmnl
22	<i>Gradient</i>	Dmnl
23	<i>Land cover</i>	Dmnl

Source: [10], [22], [23]

3.2. Pola Dasar Sistem

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sebuah sistem mitigasi bencana banjir yang bertujuan untuk meningkatkan produktifitas sawah. Pola dasar sistem pada penelitian ini digambarkan melalui *causal loop diagram* (CLD) atau diagram kausatik yang dapat dilihat pada Gambar 1. Diagram kausatik ini merupakan diagram dengan *loop* tertutup dengan *loop* R (*reinforce*) sebagai *loop* utama dikarenakan *loop* ini secara langsung melibatkan variabel yang menjadi tujuan dari penelitian ini yaitu variabel *ratio of productive ricefield*, dan dua variabel yang direncanakan sebagai skenario penelitian, yaitu variabel *number of regulation* dan variabel *number of*

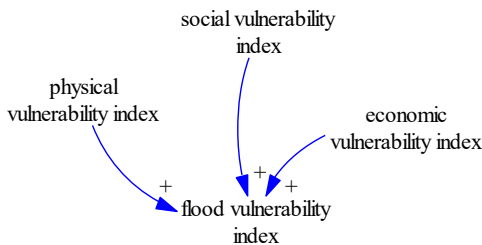
river revitalization. Loop R pada model ini diimbangi oleh dua loop B (balance) yaitu loop B1 dan loop B2.



Gambar 1. Diagram Kausatik Sistem Mitigasi Banjir di Jawa Timur

Penggambaran hubungan sebab akibat antar variabel pada Gambar 1 didasarkan pada variabel-variabel yang telah didefinisikan sebelumnya pada Tabel 1. Keterhubungan variabel-variabel pada Gambar 1 dapat dikategorikan kedalam tujuh submodel untuk memudahkan pengembangan model ke tahap selanjutnya. Submodel-submodel tersebut adalah *flood vulnerability*, *economic vulnerability*, *physical vulnerability*, *social vulnerability*, dan *adaptive capacity*, *flood risk*, dan *flood hazard*.

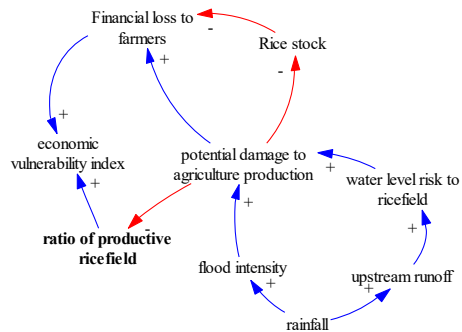
1. Submodel *Flood Vulnerability*



Gambar 2. Submodel *Flood Vulnerability*

Kerentanan adalah rangkaian kondisi memengaruhi kemampuan masyarakat dalam melakukan pencegahan mitigasi, baik dalam hal persiapan maupun Tindakan [24]. Indeks kerentanan banjir dipengaruhi oleh indeks kerentanan social, indeks kerentanan ekonomi dan indeks kerentanan fisik[23]. Indeks kerentanan banjir merupakan variabel penting dalam mengukur risiko banjir.

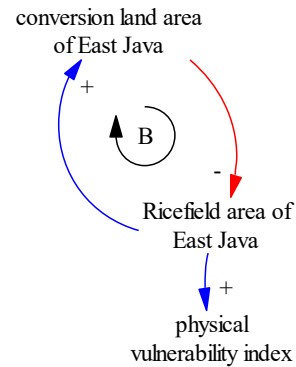
2. Submodel *Economic Vulnerability*



Gambar 3. Submodel *Economic Vulnerability*

Indeks kerentanan ekonomi merupakan variabel yang penting dalam mengukur mitigasi banjir [23]. Jika dikembangkan, variabel ini bergantung pada variabel-variabel lain terkait dengan lahan sawah produktif.

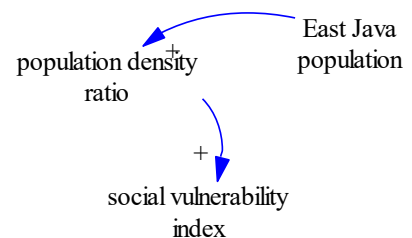
3. Submodel *Physical Vulnerability*



Gambar 4. Submodel *Physical Vulnerability*

Indeks kerentanan fisik merupakan kerentanan yang terkait dengan kondisi lahan pertanian[23]. Dalam penelitian ini, indeks kerentanan fisik dipengaruhi oleh penurunan luas lahan sawah dan peningkatan konversi lahan di Jawa Timur.

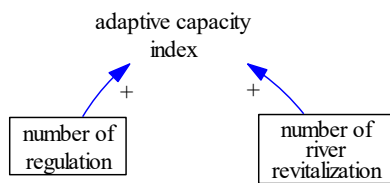
4. Submodel *Social Vulnerability*



Gambar 5. Submodel *Social Vulnerability*

Pada penelitian ini, indeks kerentanan sosial bergantung pada jumlah populasi dan kepadatan penduduk di Jawa Timur.

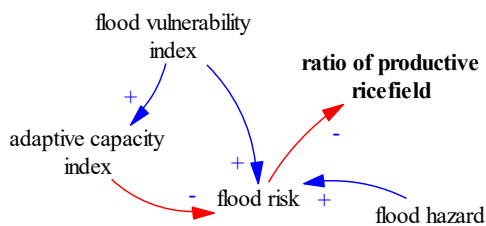
5. Submodel *Adaptive Capacity*



Gambar 6. Submodel Adaptive Capacity

Submodel *adaptive capacity* merupakan variabel penting lainnya dalam sistem ini dimana mencakup dua variabel yang dapat dijadikan skenario untuk mencapai tujuan penelitian. Pada penelitian ini, jumlah regulasi terkait mitigasi banjir dan jumlah revitalisasi sungai menjadi indikator penting dalam menghitung indeks kapasitas adaptif (mitigasi banjir) [10]. Oleh karena itu kedua variabel tersebut dapat dijadikan skenario untuk mengurangi luas sawah terdampak banjir pada sistem yang dikembangkan.

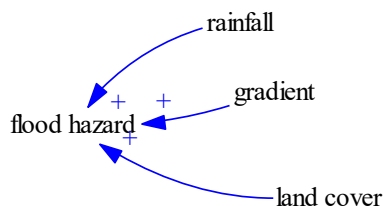
6. Submodel *Flood Risk*



Gambar 7. Submodel *Flood Risk*

Menghitung risiko banjir diperlukan untuk mengetahui luas sawah produktif yang terdampak banjir. Luas sawah produktif yang terdampak banjir pada penelitian ini dimasukkan ke dalam variabel rasio produktivitas lahan padi.

7. Submodel *Flood Hazard*



Gambar 8. Submodel *Flood Hazard*

Peningkatan bahaya banjir berbanding lurus dengan peningkatan curah hujan, kemiringan lahan, dan tutupan lahan (tanah kosong).

4. KESIMPULAN

Sistem mitigasi banjir merupakan sebuah sistem kompleks yang dapat dipetakan menggunakan sistem dinamik. Hasil analisis menyimpulkan terdapat 23 variabel utama pembentuk sistem mitigasi banjir di Jawa Timur. Variabel-variabel ini telah dipetakan

dalam sebuah diagram kausatik dengan tujuan utama pengembangannya adalah untuk mengurangi jumlah lahan sawah terdampak banjir di Jawa Timur. Dari hasil pemetaan ini, ditemukan 7 klasifikasi atau submodel untuk pengembangan sistem ke tahap selanjutnya. Ketujuh submodel tersebut adalah *economic vulnerability*, *physical vulnerability*, *flood vulnerability*, *social vulnerability index*, *adaptive capacity*, *flood risk*, dan *flood hazard*.

Secara umum, diagram kausatik yang telah dibuat memiliki tiga lapisan yang berpusat pada submodel *flood vulnerability index*, dimana submodel ini terbangun dari pengembangan tiga submodel lain yang menjadi lapisan kedua yaitu *economic vulnerability index*, *physical vulnerability index*, dan *social vulnerability index*. Adapun sisa submodel lainnya merupakan lapisan ketiga pembangun lapisan kedua. Klasifikasi atau submodel ini penting dibuat sebagai langkah awal dalam pengembangan model sistem dinamik. Hasil klasifikasi ini diharapkan dapat membantu pengembangan model-model terkait maupun pengembangan model lanjutan dari sistem dinamik dalam kasus serupa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Ayun, S. Kurniawan, and W. A. Saputro, "Perkembangan Konversi Lahan Pertanian Di Bagian Negara Agraris," *Vigor J. Ilmu Pertan. Trop. Dan Subtrop.*, vol. 5, no. 2, pp. 38–44, 2020, doi: 10.31002/vigor.v5i2.3040.
- [2] Nurhadi, "5 Provinsi dengan Lahan Sawah Terlulus di Indonesia, Jawa Timur Urutan Pertama," *national.tempo.co*, 2021. <https://nasional.tempo.co/read/1514503/5-provinsi-dengan-lahan-sawah-terlulus-di-indonesia-jawa-timur-urutan-pertama> (accessed Mar. 14, 2024).
- [3] BPS, "Luas Lahan Sawah Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Pengairan di Provinsi Jawa Timur," Surabaya, 2019. [Online]. Available: <https://jatim.bps.go.id/statictable/2019/10/11/1835/luas-lahan-sawah-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-pengairan-di-provinsi-jawa-timur-hektar-2017.html>
- [4] Badan Pusat Statistik, "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Sementara)," *Badan Pus. Stat.*, vol. 2023, no. 68, pp. 1–8, 2023, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/pressrelease/2023/10/16/2037/luas-panen-dan-produksi-padi-di-indonesia-2023--angka-sementara-.html#:~:text=Produksi beras pada 2023 untuk,sebesar 31%2C54 juta ton.>
- [5] D. A. N. Putra, Wiyanti, and R. Suyatro, "Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Pemetaan Potensi Banjir pada DAS Banyualit di Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur," *J. Agroekoteknologi Trop.*, vol. 11, no. 1, pp. 60–67, 2022, [Online]. Available:

- <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT/article/download/86606/44505>
- [6] M. Hanifah and N. E. Putri, "Impact of Flood on Rice Business Income in Ibul Besar I Village Pemulutan District Ogan Ilir Regency," vol. 6051, no. 3, pp. 562–571, 2022.
- [7] F. A. Sariasih, "Implementasi Business Intelligence Dashboard dengan Tableau Public untuk Visualisasi Propinsi Rawan Banjir di Indonesia," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, pp. 14424–14431, 2022.
- [8] P. C. Latue, J. S. I. Septory, G. Somae, and H. Rakuasa, "Pemodelan Daerah Rawan Banjir di Kecamatan Sirimau Menggunakan Metode Multi-Criteria Analysis (MCA)," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 18, no. 1, pp. 10–17, 2023, doi: 10.29313/jpwk.v18i1.1964.
- [9] A. Perrone, A. Inam, R. Albano, J. Adamowski, and A. Sole, "A participatory system dynamics modeling approach to facilitate collaborative flood risk management: A case study in the Bradano River (Italy)," *J. Hydrol.*, vol. 580, p. 124354, 2020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124354.
- [10] A. Pagano, I. Pluchinotta, P. Pengal, B. Cokan, and R. Giordano, "Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood risk reduction: A participatory System Dynamics Model for benefits and co-benefits evaluation," *Sci. Total Environ.*, vol. 690, pp. 543–555, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.059.
- [11] E. Suryani, R. A. Hendrawan, and U. E. Rahmawati, *Implementasi Model Simulasi Sistem Dinamik Dalam Industri Jagung*, September. Yogyakarta: DEEPUBLISH, 2021.
- [12] R. Riski, E. Suryani, U. E. Rahmawati, and G. A. Cahyandini, "System Dynamics Model of Transit Oriented Development Implementation to Reduce Carbon Emission from Urban Transportation," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 0, no. 6, p. 440, 2021, doi: 10.12962/j23546026.y2020i6.11140.
- [13] U. E. Rahmawati, E. Suryani, and R. Riski, "System Thinking Approach to Increase Eco-Friendly Maize Production to Support Food Security," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 6, pp. 17–23, 2021.
- [14] M. R. Aprillya, E. Suryani, and A. Dzulkarnain, "System Dynamics Simulation Model to Increase Paddy Production for Food Security," *J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell.*, vol. 5, no. 1, p. 67, 2019, doi: 10.20473/jisebi.5.1.67-75.
- [15] S. S. N. Abadi, E. Suryani, and R. A. Hendrawan, "Pengembangan Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Kinerja Distribusi Pupuk Urea (Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)," *Fountain Informatics J.*, vol. 6, no. 2, p. 61, 2021, doi: 10.21111/fij.v6i2.4782.
- [16] E. Suryani, U. E. Rahmawati, and A. A. Zahra, "Improving Maize Production and Farmers' Income Using System Dynamics Model," *J. Agric. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 68–95, May 2022, doi: 10.5539/jas.v14n6p68.
- [17] J. Rehman, O. Sohaib, M. Asif, and B. Pradhan, "Applying systems thinking to flood disaster management for a sustainable development," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 36, p. 101101, 2019, doi: 10.1016/j.ijdrr.2019.101101.
- [18] Y. S. M. Simanjuntak, R. Suwarman, and E. Riawan, "(Studi Kasus : Banjir Tahun 2019 Di Baleendah , Jawa Barat) Analysis of Rainfall Characteristics Causes of Long Duration Flood (Case Study : 2019 Floods in Baleendah , West Java)," *J. Sumber Daya Air*, vol. 19, no. 1, pp. 29–41, 2023.
- [19] F. Taselan, "3.923 Hektare Sawah di Jawa Timur Terdampak Banjir," *mediaindonesia.com*, 2023. <https://mediaindonesia.com/nusantara/563221/3923-hektare-sawah-di-jawa-timur-terdampak-banjir> (accessed Mar. 15, 2024).
- [20] R. F. Wijayanti, A. P. Putra, F. K. Hartati, Muhajir, and D. Budiyanto, "Pelatihan Mitigasi Bencana Banjir Di SDN Taman Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur," vol. 5, no. 1, pp. 848–854, 2024.
- [21] D. Pratiwi and N. A. A. Adma, "Perencanaan Penggunaan Lubang Biopori Sebagai Salah Satu Mitigasi Banjir Perkotaan Pada Jl. Seroja, Kecamatan Tanjung Senang," *JICE (Journal Infrastructural Civ. Eng.)*, vol. 2, no. 02, p. 46, 2021, doi: 10.33365/jice.v2i02.1319.
- [22] A. Dzulkarnain, E. Suryani, and M. R. Aprillya, "Analysis of flood identification and mitigation for disaster preparedness: A system thinking approach," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 161, pp. 927–934, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.11.201.
- [23] R. M. Amri *et al.*, *RBI Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta: BNPB, 2016.
- [24] S. H. S. Hengkelare, O. H. A. Rogi, and Suryono, "Mitigasi risiko bencana banjir di Manado," *J. Spasial*, vol. 8, no. 2, pp. 267–274, 2021.