Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (2) 2026, Page: 29381-29389

Model Sistem Informasi Smart Evacuation Tsunami Kota Padang Berbasis Digital Twin dan Perilaku Mobilitas Penduduk

Riandana Afira[1], Zulfitri Yani[2], Romi Wijaya[3]

[1,3]Universitas Putra Indonesia YPTK Padang
[2]Politeknik Negeri Padang

riandanaafira@gmail.con

Published: Juni , 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* Kota Padang berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk untuk meningkatkan efektivitas mitigasi bencana. Model dirancang dengan mengintegrasikan data spasial, sensor lingkungan, kepadatan penduduk, pola pergerakan masyarakat, serta simulasi evakuasi secara real-time. Pendekatan *Digital Twin* memungkinkan representasi virtual wilayah terdampak guna memprediksi jalur evakuasi optimal berdasarkan kondisi dinamis. Analisis perilaku mobilitas digunakan untuk memahami respons masyarakat saat kondisi darurat. Hasil penelitian diharapkan mampu mendukung pengambilan keputusan cepat, mengurangi risiko korban jiwa, serta meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap ancaman tsunami di Kota Padang.

Kata kunci: *Smart Evacuation Tsunami*, *Digital Twin*, *Perilaku Mobilitas Penduduk*

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kota Padang merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana tsunami akibat lokasinya yang berada di sepanjang zona subduksi aktif pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia di pesisir barat Pulau Sumatera. Potensi gempa megathrust yang dapat memicu tsunami menjadi ancaman serius bagi keselamatan masyarakat, khususnya penduduk yang bermukim di kawasan pesisir dengan tingkat kepadatan yang tinggi. Kondisi geografis, kepadatan permukiman, keterbatasan jalur evakuasi, serta tingginya mobilitas masyarakat di wilayah perkotaan menjadikan mitigasi bencana tsunami di Kota Padang sebagai tantangan kompleks yang membutuhkan pendekatan berbasis teknologi informasi secara adaptif dan cerdas.

Selama ini, sistem mitigasi tsunami di Kota Padang masih banyak bergantung pada pendekatan konvensional berupa peta jalur evakuasi statis, sirene peringatan dini, dan simulasi berkala yang belum sepenuhnya mempertimbangkan kondisi dinamis di lapangan. Dalam situasi darurat, perubahan kondisi jalan, kepadatan kendaraan, perilaku kepanikan masyarakat, hingga hambatan akses menuju titik aman dapat menyebabkan proses evakuasi menjadi tidak efektif. Oleh karena itu, diperlukan suatu model sistem informasi yang mampu melakukan pemantauan, simulasi, serta pengambilan keputusan secara real-time guna mendukung proses evakuasi yang lebih cepat, aman, dan efisien.

Perkembangan teknologi *Digital Twin* membuka peluang baru dalam pengelolaan kebencanaan, khususnya pada sistem evakuasi tsunami berbasis data dinamis. *Digital Twin* merupakan representasi virtual dari objek fisik atau lingkungan nyata yang dapat diperbarui secara berkelanjutan melalui integrasi data real-time. Dalam konteks mitigasi tsunami, teknologi ini memungkinkan visualisasi kondisi wilayah Kota Padang secara digital, termasuk pemantauan kepadatan penduduk, kondisi infrastruktur jalan, titik

rawan kemacetan, dan simulasi skenario evakuasi berdasarkan berbagai kemungkinan dampak bencana. Dengan pendekatan ini, pemerintah daerah maupun pemangku kepentingan dapat memperoleh informasi yang lebih akurat untuk mendukung pengambilan keputusan saat kondisi darurat berlangsung.

Selain faktor teknologi, perilaku mobilitas penduduk menjadi aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan sistem evakuasi tsunami. Pola pergerakan masyarakat pada jam tertentu, lokasi konsentrasi aktivitas, preferensi jalur perjalanan, serta respons masyarakat terhadap informasi kebencanaan memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan proses evakuasi. Mobilitas masyarakat Kota Padang yang dipengaruhi oleh aktivitas pendidikan, perdagangan, pariwisata, dan pekerjaan menyebabkan tingkat kepadatan wilayah berubah secara dinamis sepanjang waktu. Jika perilaku mobilitas ini tidak diintegrasikan ke dalam model evakuasi, maka rekomendasi jalur evakuasi yang dihasilkan berpotensi kurang efektif dalam kondisi nyata.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* Kota Padang berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk untuk meningkatkan efektivitas mitigasi bencana. Model yang dikembangkan mengintegrasikan data geografis, sensor lingkungan, data kependudukan, pola mobilitas masyarakat, serta simulasi berbasis kecerdasan sistem untuk menghasilkan rekomendasi jalur evakuasi yang adaptif dan dinamis. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan respons masyarakat, mengurangi risiko korban jiwa, serta memperkuat kesiapsiagaan daerah terhadap ancaman tsunami.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan model sistem informasi yang tidak hanya berfokus pada aspek spasial dan infrastruktur, tetapi juga mengakomodasi karakteristik perilaku mobilitas masyarakat sebagai komponen utama dalam strategi evakuasi cerdas. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah, lembaga kebencanaan, maupun akademisi dalam pengembangan sistem mitigasi bencana berbasis teknologi digital di masa depan.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Sistem Informasi Mitigasi Bencana Tsunami

Sistem informasi mitigasi bencana merupakan suatu pendekatan berbasis teknologi yang digunakan untuk mendukung proses identifikasi risiko, pemantauan kondisi lingkungan, penyebaran informasi, hingga pengambilan keputusan saat terjadi bencana. Pada konteks tsunami, sistem informasi memiliki peran penting dalam menyediakan data spasial mengenai daerah rawan, jalur evakuasi, lokasi titik kumpul, serta estimasi waktu evakuasi. Sistem mitigasi tsunami yang efektif harus mampu mengintegrasikan data geografis, kondisi lingkungan, serta karakteristik populasi secara dinamis agar keputusan evakuasi dapat dilakukan dengan cepat dan tepat.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi informasi berbasis *Geographic Information System* (GIS) telah banyak diterapkan untuk pemetaan risiko tsunami dan penentuan jalur evakuasi optimal. Namun, sebagian besar model masih bersifat statis karena hanya memanfaatkan data historis dan kondisi geografis tetap tanpa memperhitungkan perubahan situasi lapangan secara real-time. Keterbatasan ini menyebabkan sistem sulit beradaptasi terhadap perubahan kepadatan penduduk, kemacetan, maupun kerusakan infrastruktur saat bencana berlangsung.

2. Konsep Digital Twin dalam Sistem Kebencanaan

Digital Twin merupakan teknologi yang memungkinkan penciptaan representasi virtual dari suatu objek fisik atau lingkungan nyata melalui integrasi data real-time. Konsep ini awalnya berkembang dalam sektor manufaktur dan industri untuk mendukung pemantauan aset dan optimasi operasional. Seiring perkembangan teknologi sensor, Internet of Things (IoT), serta komputasi awan, *Digital Twin* mulai diterapkan pada pengelolaan wilayah perkotaan (*smart city*), transportasi, hingga mitigasi kebencanaan.

Dalam konteks mitigasi tsunami, *Digital Twin* dapat digunakan untuk membangun model virtual Kota Padang yang merepresentasikan kondisi lingkungan, infrastruktur jalan, pola kepadatan penduduk, dan skenario dampak tsunami secara dinamis. Teknologi ini memungkinkan simulasi berbagai kondisi darurat secara real-time sehingga dapat menghasilkan rekomendasi jalur evakuasi yang lebih adaptif dibandingkan model konvensional. Selain itu, *Digital Twin* juga mendukung proses visualisasi risiko sehingga memudahkan pemerintah daerah dan masyarakat dalam memahami kondisi ancaman bencana.

Beberapa penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa penerapan *Digital Twin* pada manajemen bencana mampu meningkatkan ketepatan prediksi, mempercepat respons darurat, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Namun, implementasinya pada sistem evakuasi tsunami di wilayah pesisir Indonesia, khususnya Kota Padang, masih relatif terbatas dan memerlukan pengembangan lebih lanjut.

3. Perilaku Mobilitas Penduduk dalam Evakuasi Bencana

Perilaku mobilitas penduduk merujuk pada pola pergerakan masyarakat berdasarkan aktivitas harian, waktu, lokasi, dan tujuan tertentu. Dalam situasi bencana, perilaku mobilitas menjadi faktor penting karena memengaruhi kecepatan dan efektivitas proses evakuasi. Kepadatan lalu lintas, kebiasaan penggunaan kendaraan pribadi, tingkat kepatuhan terhadap instruksi evakuasi, serta pola pengambilan keputusan masyarakat saat kondisi darurat dapat menentukan tingkat keberhasilan penyelamatan korban.

Penelitian terkait evakuasi tsunami menunjukkan bahwa banyak kegagalan evakuasi terjadi akibat perilaku masyarakat yang tidak sesuai dengan rencana mitigasi, seperti keterlambatan meninggalkan lokasi, memilih jalur yang padat, atau kembali ke rumah untuk menyelamatkan barang berharga. Oleh karena itu, integrasi data mobilitas penduduk dalam model evakuasi menjadi kebutuhan penting untuk menghasilkan sistem yang lebih realistis dan responsif.

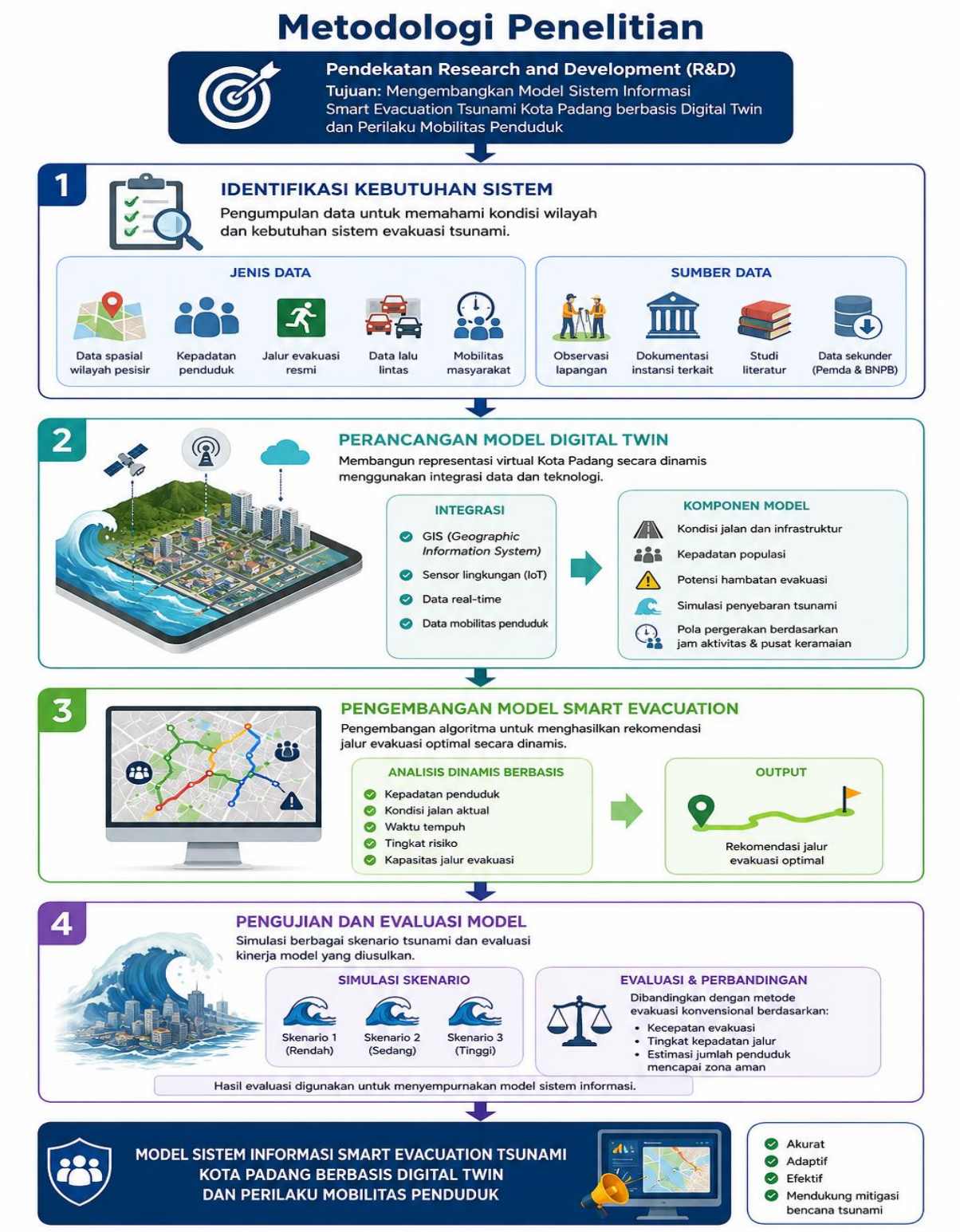
Pemanfaatan data mobilitas saat ini dapat dilakukan melalui berbagai sumber seperti data GPS, sensor lalu lintas, data telekomunikasi, media sosial, hingga survei perilaku masyarakat. Integrasi data tersebut memungkinkan sistem informasi memprediksi konsentrasi massa dan pola perpindahan penduduk secara lebih akurat.

4. Integrasi Digital Twin dan Mobilitas Penduduk untuk Smart Evacuation

Konsep *Smart Evacuation* merupakan pengembangan sistem evakuasi berbasis teknologi cerdas yang mengintegrasikan data lingkungan, kecerdasan buatan, dan analisis perilaku masyarakat untuk menghasilkan keputusan evakuasi secara dinamis. Kombinasi *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk menjadi pendekatan inovatif karena memungkinkan simulasi evakuasi berbasis kondisi nyata secara real-time.

Dalam penelitian ini, integrasi kedua pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan model sistem informasi evakuasi tsunami yang lebih adaptif, akurat, dan efektif untuk diterapkan di Kota Padang. Model ini tidak hanya mempertimbangkan aspek geografis dan infrastruktur, tetapi juga perilaku manusia sebagai faktor utama dalam keberhasilan mitigasi bencana tsunami.

METODOLOGI PENELITIAN



Penelitian ini menggunakan pendekatan research and development (R&D) dengan tujuan mengembangkan model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* Kota Padang berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk. Metode ini dipilih karena berfokus pada proses perancangan, pengembangan, simulasi, serta evaluasi model sistem informasi untuk mendukung mitigasi bencana tsunami secara lebih efektif dan adaptif.

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi kebutuhan sistem, yaitu pengumpulan data terkait wilayah rawan tsunami di Kota Padang, kondisi infrastruktur evakuasi, titik kumpul aman, serta karakteristik kependudukan. Data yang digunakan meliputi data spasial wilayah pesisir, data kepadatan

penduduk, jalur evakuasi resmi, data lalu lintas, serta informasi mobilitas masyarakat berdasarkan waktu dan lokasi aktivitas. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi instansi terkait, studi literatur, dan data sekunder dari pemerintah daerah maupun lembaga kebencanaan.

Tahap berikutnya adalah perancangan model Digital Twin, yaitu membangun representasi virtual wilayah Kota Padang menggunakan integrasi *Geographic Information System* (GIS), sensor lingkungan, dan data real-time. Model ini dirancang untuk memvisualisasikan kondisi jalan, kepadatan populasi, potensi hambatan evakuasi, dan simulasi penyebaran dampak tsunami. Pada tahap ini, data mobilitas penduduk diintegrasikan untuk memodelkan pola pergerakan masyarakat berdasarkan jam aktivitas, pusat keramaian, dan kebiasaan perjalanan harian.

Selanjutnya dilakukan pengembangan model Smart Evacuation, yaitu penerapan algoritma analisis jalur evakuasi dinamis berbasis kepadatan dan kondisi aktual. Sistem dirancang untuk menghasilkan rekomendasi jalur evakuasi optimal dengan mempertimbangkan waktu tempuh, tingkat risiko, serta kapasitas jalur evakuasi.

Tahap akhir penelitian adalah pengujian dan evaluasi model melalui simulasi berbagai skenario tsunami di Kota Padang. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan efektivitas model yang diusulkan dengan metode evakuasi konvensional berdasarkan indikator kecepatan evakuasi, tingkat kepadatan jalur, dan estimasi jumlah penduduk yang berhasil mencapai zona aman. Hasil evaluasi digunakan untuk menyempurnakan model sistem informasi agar lebih akurat dan aplikatif dalam mendukung mitigasi bencana tsunami di Kota Padang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengembangan Model Sistem Informasi *Smart Evacuation Tsunami*



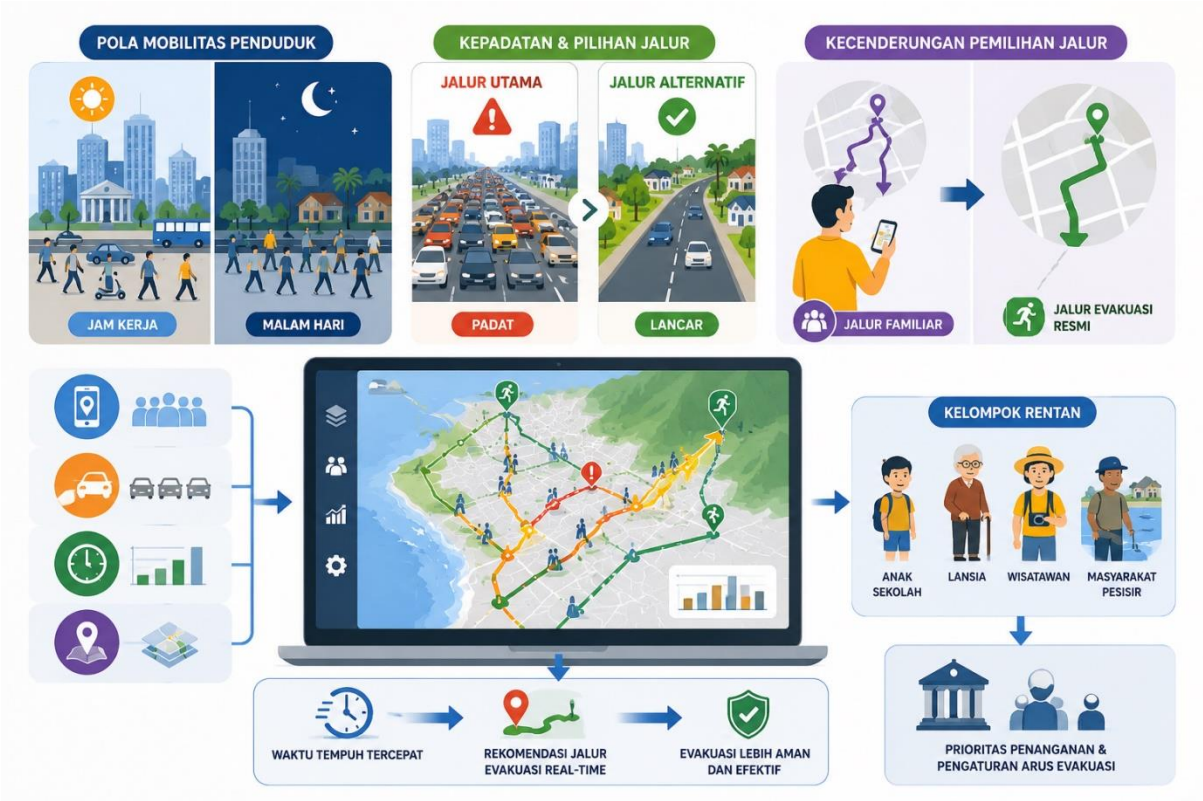
Penelitian ini menghasilkan sebuah model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* Kota Padang berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk yang dirancang untuk mendukung proses mitigasi bencana secara dinamis dan adaptif. Model yang dikembangkan mampu mengintegrasikan berbagai sumber data, seperti data spasial wilayah rawan tsunami, kepadatan penduduk, kondisi infrastruktur jalan, data lalu lintas, serta pola mobilitas masyarakat untuk menghasilkan rekomendasi jalur evakuasi yang lebih efektif dibandingkan pendekatan konvensional.

Sistem dibangun dengan pendekatan *Digital Twin*, yaitu representasi virtual Kota Padang yang mampu menggambarkan kondisi fisik wilayah secara real-time. Model virtual ini menyajikan visualisasi interaktif terkait kondisi jalan, lokasi titik evakuasi vertikal, kapasitas jalur, kepadatan populasi, dan potensi hambatan evakuasi saat tsunami terjadi. Dengan adanya model digital tersebut, simulasi berbagai skenario bencana dapat dilakukan sebelum kejadian nyata sehingga pemerintah daerah dapat merumuskan strategi mitigasi yang lebih terukur.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi *Geographic Information System* (GIS) dengan data mobilitas penduduk memungkinkan sistem mendeteksi perubahan kepadatan wilayah berdasarkan waktu aktivitas masyarakat. Misalnya, pada pagi dan siang hari, konsentrasi mobilitas cenderung tinggi di pusat pendidikan, kawasan perdagangan, dan pusat pemerintahan. Sementara pada malam hari, kepadatan lebih dominan di kawasan permukiman pesisir. Informasi ini menjadi faktor penting dalam menentukan jalur evakuasi paling aman dan cepat pada waktu tertentu.

Selain itu, model *Digital Twin* memungkinkan sistem melakukan simulasi penyebaran dampak tsunami berdasarkan intensitas gempa, waktu tiba gelombang (*tsunami arrival time*), serta kapasitas infrastruktur evakuasi. Hasil simulasi divisualisasikan dalam bentuk peta digital interaktif yang menunjukkan area risiko tinggi, zona evakuasi prioritas, serta estimasi waktu tempuh masyarakat menuju lokasi aman.

2. Hasil Analisis Perilaku Mobilitas Penduduk



Salah satu kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi perilaku mobilitas penduduk ke dalam sistem evakuasi tsunami. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa pola pergerakan masyarakat Kota Padang memiliki karakteristik dinamis yang sangat memengaruhi efektivitas proses evakuasi.

Pada jam kerja, sebagian besar mobilitas masyarakat terpusat di kawasan perkotaan dan pusat ekonomi, sehingga kepadatan lalu lintas meningkat secara signifikan. Dalam kondisi darurat tsunami, jalur utama berpotensi mengalami kemacetan tinggi apabila seluruh masyarakat menggunakan rute yang sama menuju zona aman. Sebaliknya, pada waktu tertentu terdapat jalur alternatif dengan tingkat kepadatan lebih rendah yang dapat mempercepat proses penyelamatan.

Analisis perilaku mobilitas juga menunjukkan adanya kecenderungan masyarakat memilih jalur yang familiar dibandingkan jalur evakuasi resmi. Kondisi ini menjadi tantangan dalam mitigasi tsunami karena keputusan evakuasi yang tidak sesuai rekomendasi dapat meningkatkan risiko keterlambatan penyelamatan. Oleh karena itu, model sistem informasi yang dikembangkan memberikan rekomendasi jalur evakuasi secara real-time berdasarkan tingkat kepadatan aktual dan estimasi waktu tempuh tercepat.

Integrasi data mobilitas penduduk juga memungkinkan identifikasi kelompok rentan, seperti anak-anak sekolah, lansia, wisatawan, dan masyarakat pesisir dengan akses terbatas terhadap informasi kebencanaan. Kelompok ini menjadi prioritas dalam skenario evakuasi sehingga sistem dapat membantu pemerintah menetapkan strategi distribusi bantuan dan pengaturan arus evakuasi yang lebih efektif.

3. Simulasi Model *Smart Evacuation Tsunami*



Untuk menguji efektivitas model, dilakukan simulasi tiga skenario tsunami berdasarkan tingkat risiko, yaitu skenario rendah, sedang, dan tinggi. Pada skenario rendah, sistem menunjukkan kemampuan dalam mengarahkan masyarakat menuju jalur evakuasi dengan tingkat kepadatan rendah sehingga waktu tempuh rata-rata dapat diminimalkan.

Pada skenario sedang, sistem mulai memperlihatkan keunggulan dibandingkan metode konvensional karena mampu melakukan pembaruan rekomendasi jalur secara dinamis berdasarkan kondisi lalu lintas dan potensi hambatan di lapangan. Jalur yang mengalami kepadatan tinggi secara otomatis dialihkan menuju rute alternatif dengan kapasitas yang lebih memadai.

Sementara pada skenario tinggi, ketika simulasi menunjukkan gelombang tsunami mencapai wilayah pesisir dalam waktu singkat, sistem mampu mengoptimalkan penggunaan titik evakuasi vertikal dan jalur prioritas untuk mempercepat proses perpindahan masyarakat menuju lokasi aman. Visualisasi *Digital Twin* membantu pihak pengambil keputusan untuk memahami titik kritis kemacetan dan wilayah dengan tingkat risiko korban tertinggi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mampu meningkatkan efektivitas evakuasi dibandingkan metode konvensional berbasis peta statis. Estimasi waktu evakuasi mengalami penurunan yang signifikan karena rekomendasi jalur bersifat adaptif terhadap kondisi lapangan. Selain itu, distribusi kepadatan masyarakat menjadi lebih merata sehingga risiko penumpukan massa pada jalur tertentu dapat diminimalkan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *Digital Twin* memiliki potensi besar dalam mendukung sistem mitigasi tsunami di Kota Padang. Berbeda dengan sistem konvensional yang hanya menampilkan peta jalur evakuasi tetap, model yang dikembangkan mampu melakukan pembaruan data secara real-time dan menghasilkan keputusan berbasis kondisi aktual. Hal ini sangat penting mengingat karakteristik tsunami yang membutuhkan respons cepat dalam waktu terbatas.

Integrasi perilaku mobilitas penduduk juga menjadi inovasi penting dalam penelitian ini. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada faktor geografis dan infrastruktur, sementara perilaku manusia sering diabaikan. Padahal, keberhasilan evakuasi tidak hanya ditentukan

oleh ketersediaan jalur, tetapi juga bagaimana masyarakat bergerak, mengambil keputusan, dan merespons kondisi darurat.

Penerapan model ini sejalan dengan konsep *smart city*, di mana teknologi informasi dimanfaatkan untuk meningkatkan keselamatan masyarakat melalui pengambilan keputusan berbasis data. Dengan dukungan sensor lingkungan, sistem GIS, Internet of Things (IoT), serta kecerdasan analitik, pemerintah Kota Padang dapat memiliki pusat kendali mitigasi tsunami yang lebih responsif dan terintegrasi.

Meskipun demikian, terdapat beberapa tantangan implementasi, seperti keterbatasan infrastruktur sensor real-time, kebutuhan integrasi data lintas instansi, serta kesiapan masyarakat dalam menggunakan sistem digital saat kondisi darurat. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara pemerintah daerah, lembaga kebencanaan, akademisi, dan masyarakat dalam mendukung implementasi sistem ini secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk mampu meningkatkan akurasi perencanaan evakuasi, mempercepat waktu respons, mengurangi kepadatan jalur, serta meningkatkan peluang keselamatan masyarakat. Model ini berpotensi menjadi inovasi strategis dalam pengembangan sistem mitigasi tsunami modern di Kota Padang maupun wilayah pesisir lain di Indonesia yang memiliki tingkat risiko bencana serupa.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model sistem informasi *Smart Evacuation Tsunami* Kota Padang berbasis *Digital Twin* dan perilaku mobilitas penduduk sebagai solusi mitigasi bencana yang adaptif dan berbasis data real-time. Model yang diusulkan mampu mengintegrasikan data spasial, kondisi infrastruktur, kepadatan penduduk, serta pola mobilitas masyarakat untuk menghasilkan rekomendasi jalur evakuasi yang lebih optimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat meningkatkan efektivitas evakuasi, mengurangi kepadatan jalur, serta mempercepat respons masyarakat menuju zona aman. Model ini berpotensi mendukung penguatan sistem mitigasi tsunami modern di Kota Padang secara lebih efektif dan berkelanjutan.

SARAN

Pengembangan sistem Smart Evacuation Tsunami perlu didukung integrasi sensor real-time, data mobilitas berbasis IoT, serta kolaborasi lintas instansi untuk meningkatkan akurasi sistem. Penelitian selanjutnya disarankan menguji model pada skenario lapangan nyata dan mengintegrasikan kecerdasan buatan guna meningkatkan prediksi perilaku evakuasi masyarakat secara lebih adaptif.

REFERENCES

Digital Twin Technologies and Smart Cities. (2020). *Digital Twin Technologies and Smart Cities*. Springer Nature.

Geographic Information Science and Systems, Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2021). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). Wiley.

Disaster Management and Geographic Information Systems, Zlatanova, S., & Fabbri, A. G. (2020). *Disaster Management and Geographic Information Systems*. CRC Press.

Smart Cities and Digital Transformation, Anthopoulos, L. (2021). *Smart Cities and Digital Transformation*. Elsevier.

Urban Mobility and Smart Transportation Systems, Vuchic, V. R. (2022). *Urban Mobility and Smart Transportation Systems*. Routledge.

Big Data Analytics for Smart and Connected Cities, Maheswaran, M., & Kharel, R. (2021). *Big Data Analytics for Smart and Connected Cities*. Springer.

Artificial Intelligence for Disaster Response, Comes, T., & Van de Walle, B. (2020). *Artificial Intelligence for Disaster Response and Emergency Management*. Springer.

Internet of Things for Smart Cities, Hassanien, A. E., & Bhatnagar, R. (2021). *Internet of Things for Smart Cities: Technologies, Big Data and Security*. Springer.

Smart Disaster Management, Djalante, R. (2022). *Smart Disaster Management and Resilient Cities*. Springer.

Machine Learning and Data Science in the Built Environment, Parn, E., Edwards, D., & Sing, M. (2021). *Machine Learning and Data Science in the Built Environment*. Routledge.
Transport and Mobility Data Analytics, Ferreira, J., & Bacao, F. (2023). *Transport and Mobility Data Analytics*. Elsevier.
Introduction to Emergency Management, Haddow, G., Bullock, J., & Coppola, D. (2021). *Introduction to Emergency Management* (6th ed.). Elsevier.
Tsunami: To Survive from Tsunami Disaster, Latief, H. (2020). *Tsunami: To Survive from Tsunami Disaster*. ITB Press.
Resilient Cities and Risk Management, Shaw, R., & Saito, O. (2022). *Resilient Cities and Risk Management*. Springer.
Advanced GIS for Disaster Management, Konecny, M., Zlatanova, S., & Bandrova, T. (2023). *Advanced GIS for Disaster Management*. Springer.
Data-Driven Smart Cities, Batty, M. (2021). *Data-Driven Smart Cities*. Sage Publications.
Handbook of Disaster Risk Reduction and Management, Kelman, I. (2022). *Handbook of Disaster Risk Reduction and Management*. Routledge.