

Integrating Social Media into Climate-Resilient Infrastructure Planning: A Socio-Technical Case Study from Southeast Asia

Dina Afilza Tijani^{*1}, Pramadita Intan Noraini¹, Mohammad Dwi Kuncoro Cahyo¹, Muhammad Miftaqul Reza¹

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang Indonesia

Email: afilzdin@gmail.com

*Corresponding Author

Abstract

Climate change increasingly necessitates infrastructure systems that are not only resilient but also socially responsive. Traditional data collection measures hardly capture real-time local experience, and therefore, there are planning gaps regarding climate-related risks. This study aims to explore how social media can be integrated into climate-resilient infrastructure planning, particularly by filling the gap between civil engineering practice and people's digital participation. Using a qualitative descriptive approach, data were collected from two coastal cities in Southeast Asia through semi-structured interviews among engineers and citizens, online observation, and social media monitoring. Thematic analysis was conducted using NVivo software, and inter-coder reliability was assessed by double-coding 20% of the transcripts, achieving 90% agreement. There were four major themes found in the research: (1) social media as an environmental risk-sensor for real-time sensing; (2) impact of public sentiment on technical design decisions; (3) issues verifying and incorporating crowdsourced data; and (4) adaptive redesign recommendations based on digital crowd responses. Citizen reports geo-tagged were shown to correspond to infrastructure vulnerabilities such as clogged drainage and low-lying ground. In short, social media offers a powerful tool for the democratization of infrastructure planning. New frameworks will have to integrate crowdsourced intelligence into digital platforms, such as urban digital twins and real-time dashboards, to enhance climate resilience and spatial equity.

Keywords: Climate-Resilient Infrastructure, Social Media, Civil Engineering, Socio-Technical Integration, Urban Planning

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi tantangan besar dalam pengembangan infrastruktur sipil modern. Fenomena cuaca ekstrem seperti banjir bandang, gelombang panas, dan badai tropis telah menguji ketahanan infrastruktur tradisional yang dirancang tanpa mempertimbangkan dinamika iklim jangka panjang. Di sisi lain, urbanisasi yang pesat memperparah kerentanan infrastruktur terhadap risiko lingkungan, khususnya di negara berkembang. Pendekatan teknik sipil konvensional yang menekankan efisiensi struktural dan ekonomis kini tidak lagi memadai untuk menjawab kebutuhan ketahanan jangka panjang. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan inovatif yang melibatkan dimensi sosial dan teknologi digital dalam merancang infrastruktur yang adaptif terhadap iklim.

Laporan dari (Alsoubai et al., 2024) mencatat bahwa pada tahun 2022, terdapat 3,96 miliar pengguna media sosial secara aktif, menjadikannya salah satu sumber data masyarakat paling dinamis dan *real-time* yang pernah ada. Selama kejadian bencana iklim, seperti badai, banjir, atau kekeringan, platform seperti Twitter, Facebook, dan TikTok menunjukkan lonjakan signifikan

dalam aktivitas pengguna, termasuk berbagi informasi lokasi, foto kerusakan, hingga permintaan bantuan (Seneviratne et al., 2024) dan (Costello et al., 2024). Selama Badai Harvey, analisis oleh (Mihunov et al., 2022) menyatakan bahwa data Twitter berhasil memetakan kerusakan infrastruktur memperkirakan distribusi pemadaman listrik secara spasial yang sebelumnya hanya dapat dilakukan melalui sistem pemantauan formal. Di China, studi terhadap banjir kota Zhengzhou menunjukkan bahwa aplikasi media sosial seperti WeChat dan TikTok memainkan peran penting dalam mengkoordinasi respons masyarakat dan menyampaikan informasi darurat secara instan (Zhai & Lee, 2023). Fenomena-fenomena ini menunjukkan bahwa media sosial dapat menjadi elemen strategis dalam menginformasikan perencanaan infrastruktur yang tangguh terhadap bencana.

Literatur terkini dalam bidang disaster informatics dan teknik sipil telah mengeksplorasi penggunaan media sosial dalam respons kebencanaan dan manajemen risiko. Penelitian oleh (Acikara et al., 2023) dan (Fathi & Fiedrich, 2022) menunjukkan bahwa media sosial dapat meningkatkan *situational awareness* dan mendukung pengambilan keputusan selama bencana melalui mekanisme *crowdsourcing* dan pemetaan sosial. Dalam kajian teknik sipil, (Hakimi et al., 2023; Omrany et al., 2024) dan (Omrany et al., 2023) menyoroti penerapan teknologi digital seperti *digital twin* dan *big data* untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur, tetapi belum menyentuh aspek integrasi data sosial secara aktif dalam proses desain. Di sisi lain, penelitian oleh (Ibrahim et al., 2025; Lu et al., 2024) dan (Chan et al., 2022) memperlihatkan bahwa *Geographic Information System* (GIS) yang digabungkan dengan data media sosial dapat digunakan untuk mengidentifikasi area risiko banjir dan merancang sistem drainase adaptif di kawasan urban. Meskipun kontribusi ini penting, integrasi antara media sosial dan proses desain teknis infrastruktur masih belum diposisikan sebagai bagian sentral dalam pendekatan teknik sipil.

Berdasarkan telaah literatur, tampak bahwa penggunaan media sosial dalam konteks perubahan iklim masih terbatas pada tahap mitigasi dan respons pascabencana, bukan pada tahap proaktif seperti desain infrastruktur. Belum ada kerangka kerja yang sistematis yang menggabungkan data media sosial sebagai masukan awal dalam proses rekayasa sipil untuk infrastruktur tahan iklim. Padahal, studi seperti yang dilakukan oleh (Lee et al., 2023; Wang et al., 2023) dan (Luo et al., 2021) menunjukkan potensi media sosial dalam menangkap persepsi dan kebutuhan masyarakat secara *real-time*. Namun, pentingnya integrasi data dalam proses desain tetapi tidak mencakup data yang berasal dari komunitas digital. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan kerangka konseptual dan studi kasus yang memanfaatkan data media sosial sebagai katalis dalam perancangan infrastruktur sipil yang tangguh terhadap perubahan iklim.

Penelitian ini memberikan kontribusi dengan menawarkan pendekatan baru dalam desain infrastruktur sipil yang menggabungkan analisis data media sosial, seperti persepsi risiko masyarakat, geolokasi kejadian iklim ekstrem, dan representasi visual kondisi lingkungan. Kerangka kerja yang diusulkan mengintegrasikan komponen teknis dan sosial, sehingga dapat memperkuat responsivitas desain terhadap perubahan iklim dan kebutuhan komunitas lokal. Selain itu, penelitian ini mengisi kekosongan literatur dengan mengedepankan penggunaan *user-generated content* dalam fase perencanaan infrastruktur, bukan hanya pada tahap tanggap darurat. Studi ini juga berkontribusi pada pengembangan pendekatan *human-centric design* dalam praktik rekayasa sipil modern. Dengan demikian, studi ini berupaya menjawab: Bagaimana data media sosial yang diperoleh dari banyak pihak secara *real-time* dapat diintegrasikan secara sistematis ke dalam desain infrastruktur sipil yang tahan terhadap iklim?

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Media Sosial untuk Informasi Iklim Real-Time

Media sosial telah berevolusi menjadi infrastruktur informasi *real-time* yang memainkan peran penting dalam situasi darurat, terutama terkait dengan peristiwa iklim ekstrem. Platform seperti Twitter dan Facebook menyediakan jalur komunikasi langsung yang digunakan masyarakat untuk menyebarkan informasi lokasi kejadian, kerusakan, hingga kebutuhan logistik dalam waktu nyaris instan (Karimiziarani & Moradkhani, 2023; Mredula et al., 2022) dan (Komendantova & Erokhin, 2025). Studi yang dilakukan oleh (Rusho et al., 2021; Yigitcanlar et al., 2022) dan (Kottwitz et al., 2023) menunjukkan bahwa lonjakan aktivitas media sosial dapat dipetakan secara spasial untuk menilai tingkat keparahan dan penyebaran dampak bencana. Temuan ini membuka peluang untuk mengembangkan sistem pemantauan bencana berbasis masyarakat dengan memanfaatkan data sosial yang dihasilkan secara organik. Dengan demikian, media sosial tidak hanya berfungsi sebagai saluran komunikasi, tetapi juga sebagai “sensor sosial” dalam konteks adaptasi iklim.

Lebih lanjut, kemampuan media sosial dalam menyediakan data geolokasi dan multimedia memungkinkan rekayasa sipil untuk memahami respons masyarakat terhadap ancaman iklim secara kontekstual. Studi oleh (Bier et al., 2025; Zander et al., 2023) dan (Albrecht, 2021) menunjukkan bahwa dalam konteks banjir di Eropa Barat dan Jerman, masyarakat lebih cepat merespons melalui media sosial dibandingkan dengan sistem resmi pemerintah. Respons cepat ini menjadi penting karena memperlihatkan celah informasi yang tidak tertutupi oleh alat ukur fisik tradisional seperti alat ukur curah hujan atau sensor banjir. Oleh karena itu, data media sosial menawarkan dimensi baru bagi Sistem Informasi Geografis (GIS) dan pemodelan spasial dalam desain infrastruktur tahan bencana (Rezvani et al., 2023) dan (Parizi et al., 2022). Potensi ini

memperluas ruang kolaborasi antara insinyur sipil, pakar data, dan masyarakat dalam menciptakan pendekatan desain yang berbasis data partisipatif.

B. Infrastruktur Tahan Iklim dalam Teknik Sipil

Desain infrastruktur yang tangguh terhadap perubahan iklim telah menjadi fokus dalam berbagai inisiatif global, termasuk dalam proyek-proyek pembangunan perkotaan berkelanjutan. *Civil engineering* kini diarahkan tidak hanya untuk memenuhi standar kekuatan struktural dan efisiensi biaya, tetapi juga kemampuan adaptasi terhadap dinamika iklim jangka panjang. Menurut (Chang & Hossain, 2024) dan (Buhl & Markolf, 2022), pendekatan adaptif dalam perencanaan infrastruktur memerlukan integrasi antara data historis iklim, pemodelan cuaca masa depan, dan desain berbasis risiko. Hal ini mencerminkan perlunya transisi dari desain reaktif ke desain prediktif dan kolaboratif. Inovasi seperti penggunaan *green infrastructure*, sistem drainase berkelanjutan, dan bangunan multifungsi adalah contoh upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim secara struktural dan fungsional (Ogwu & Kosoe, 2025) dan (Fluhrer et al., 2021).

Namun demikian, banyak pendekatan desain infrastruktur yang masih mengandalkan data kuantitatif dari sensor fisik atau simulasi model iklim tanpa memperhitungkan persepsi risiko dari masyarakat terdampak. Padahal, studi oleh (Dorrío et al., 2024) dan (Yu & Mu, 2023) menekankan pentingnya integrasi pengetahuan lokal dan konteks sosial dalam proses desain infrastruktur perkotaan agar hasilnya lebih inklusif dan tahan lama. Infrastruktur yang tidak mempertimbangkan konteks sosial seringkali gagal dalam implementasi jangka panjang, karena tidak sesuai dengan kebutuhan dan kebiasaan komunitas lokal. Oleh karena itu, (Huang et al., 2021) menyatakan bahwa ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan pendekatan teknik sipil yang memanfaatkan data sosial sebagai pelengkap data teknis, terutama dalam proyek-proyek yang menghadapi risiko perubahan iklim tinggi.

C. Penginderaan Sosial dan Data Rekayasa Crowdsourced

Konsep *social sensing* atau pemantauan berbasis masyarakat menjadi semakin relevan dalam ekosistem data teknik modern. Dalam konteks rekayasa sipil, *crowdsourced* data dari media sosial dapat menyediakan informasi tentang lokasi genangan air, kerusakan jalan, dan titik-titik rawan banjir secara *real-time*. Menurut (Tavra et al., 2024) dan (Chow et al., 2023), fenomena ini dikenal sebagai *Volunteered Geographic Information (VGI)*, yaitu kontribusi masyarakat dalam menghasilkan data spasial yang bernilai tinggi dalam perencanaan dan pengambilan keputusan. Data semacam ini dapat digunakan untuk melengkapi pemetaan topografi, analisis aliran air, atau identifikasi wilayah berisiko tinggi terhadap banjir dan tanah longsor. Keunggulan utamanya adalah kecepatan dan kedekatan langsung dengan peristiwa yang terjadi.

Meskipun demikian, integrasi Informasi Geografis Sukarela (VGI) ke dalam sistem desain teknik sipil masih menghadapi tantangan metodologis, seperti validasi data, bias spasial, dan ketidakmerataan akses digital. Hasil studi oleh (Nielsen et al., 2024) dan (Bono et al., 2023) menyoroti bahwa kualitas data *crowdsourcing* dapat sangat bervariasi tergantung pada jenis bencana dan karakteristik pengguna platform digital. Oleh karena itu, diperlukan strategi triangulasi data dan pemodelan statistik untuk menyaring informasi yang dapat digunakan dalam proses desain. Di sisi lain, kolaborasi dengan komunitas lokal dalam proses verifikasi data dapat menjadi solusi untuk meningkatkan akurasi dan legitimasi data sosial dalam konteks rekayasa sipil. Dengan pendekatan ini, (Mukerji et al., 2024) menyampaikan bahwa *social sensing* tidak hanya menjadi alat bantu, tetapi bagian integral dari proses desain yang adaptif dan berbasis komunitas.

D. Integrasi Media Sosial dalam Desain Infrastruktur

Integrasi data media sosial dalam perencanaan infrastruktur masih merupakan area eksploratif yang belum banyak diteliti secara sistematis dalam teknik sipil. Beberapa inisiatif awal telah mencoba menggabungkan *real-time sentiment analysis* dan data lokasi dari Twitter untuk memahami persepsi publik terhadap sistem transportasi dan kondisi jalan. Studi oleh (Suat-Rojas et al., 2022) dan (Salazar-carrillo et al., 2021) menyebutkan bahwa data Twitter dapat digunakan untuk memonitor kondisi lalu lintas dan mengidentifikasi lokasi kecelakaan secara lebih cepat dibandingkan laporan resmi pemerintah daerah. Teknik ini membuka kemungkinan untuk mendesain sistem jalan atau jembatan yang mempertimbangkan pola interaksi sosial masyarakat, bukan hanya volume kendaraan dan proyeksi lalu lintas.

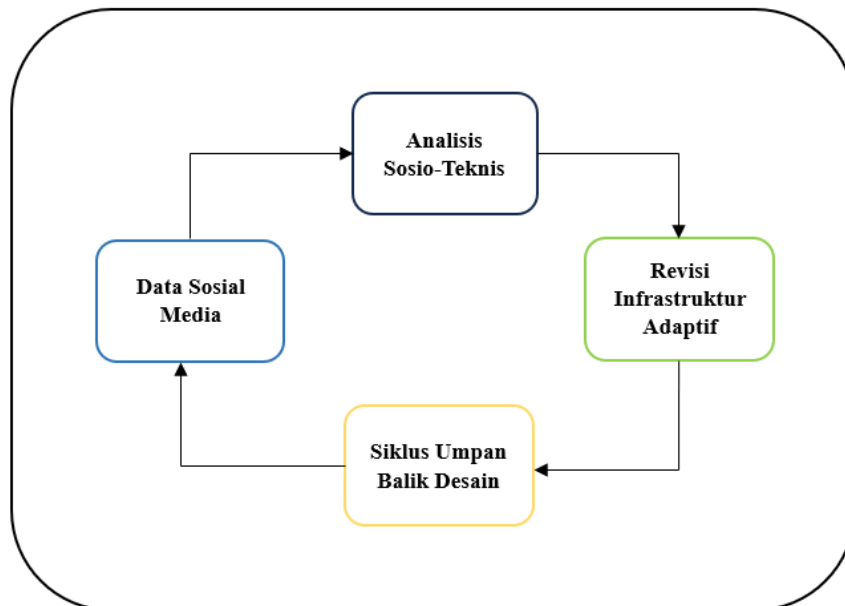
Dalam konteks perubahan iklim, media sosial juga mulai digunakan sebagai alat pemetaan risiko dan adaptasi berbasis komunitas. Dengan demikian, (Villaverde et al., 2024) dan (Budzik et al., 2024) berhasil menggabungkan data dari media sosial dengan model GIS untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah rawan panas ekstrem dan membuat desain ruang terbuka publik yang lebih adaptif secara termal. Pendekatan ini memungkinkan perancang infrastruktur untuk memahami bagaimana masyarakat berinteraksi dengan lingkungan mereka selama kejadian iklim ekstrem. Dengan informasi tersebut, intervensi desain dapat lebih tepat sasaran, baik dari sisi teknis maupun sosial. Hal ini menunjukkan bahwa data sosial media dapat memainkan peran sebagai *feedback loop* dalam siklus perencanaan infrastruktur.

E. Kerangka Teori: Integrasi Sosial-Teknis

Integrasi media sosial dalam proses perencanaan infrastruktur dapat dijelaskan melalui pendekatan *Socio-Technical Integration Theory* (STIT), yang menekankan bahwa sistem teknis selalu berkembang dalam konteks sosial tertentu. Dalam perspektif ini, infrastruktur bukan

semata produk rekayasa teknik, melainkan hasil dari interaksi antara teknologi, kebijakan, budaya lokal, dan perilaku masyarakat (Van Summeren et al., 2021) dan (Lombardo et al., 2021). Oleh karena itu, perancangan infrastruktur yang tangguh terhadap iklim memerlukan pemahaman terhadap dimensi sosial seperti persepsi risiko, praktik lokal, dan partisipasi komunitas. Teori ini memberikan dasar konseptual untuk menempatkan media sosial sebagai entitas sosial yang memiliki peran penting dalam menginformasikan proses desain teknis melalui data yang dihasilkan secara organik oleh masyarakat.

Penelitian oleh (Giotitsas et al., 2022) menyoroti bahwa penerapan prinsip STIT dalam praktik rekayasa mendorong interaksi yang lebih dalam antara insinyur dan pemangku kepentingan sosial, sehingga menghasilkan sistem teknis yang lebih inklusif dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, media sosial berfungsi sebagai jembatan antara komunitas pengguna dan para perancang infrastruktur, menyediakan umpan balik *real-time* yang dapat dimanfaatkan dalam pemodelan spasial, penentuan prioritas desain, dan evaluasi risiko. Dengan demikian, pendekatan *socio-technical* tidak hanya memperkaya desain teknis, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial dari infrastruktur yang dibangun. Integrasi ini menjadi fondasi bagi kerangka kerja penelitian ini, di mana media sosial diposisikan sebagai katalisator dalam sistem desain infrastruktur berbasis adaptasi iklim.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Integrasi Sosial-Teknis (Socio-Technical Framework) dalam Desain Infrastruktur Tahan Iklim

Gambar di atas menunjukkan alur konseptual integrasi sosial-teknis dalam perencanaan infrastruktur tahan iklim, di mana data media sosial berfungsi sebagai sumber informasi partisipatif yang merepresentasikan persepsi, pengalaman, dan laporan masyarakat terkait risiko

iklim. Data ini kemudian dianalisis melalui pendekatan analisis sosial-teknis yang menggabungkan aspek teknis perancangan dengan dimensi sosial dan spasial lokal. Hasil analisis tersebut membentuk Siklus Umpan Balik Desain (*Design Feedback Loop*) yang memungkinkan terjadinya umpan balik dua arah antara masyarakat dan perencana teknis. Siklus ini mendorong revisi infrastruktur adaptif secara berkelanjutan, memastikan bahwa rancangan yang dihasilkan tidak hanya tangguh secara struktural, tetapi juga responsif terhadap kebutuhan sosial dan perubahan lingkungan setempat.

F. Identifikasi Kesenjangan Penelitian

Meskipun literatur telah membahas secara luas peran media sosial dalam konteks manajemen bencana dan sistem informasi spasial, masih terdapat kesenjangan penting dalam aplikasinya pada proses desain infrastruktur yang proaktif dan tahan iklim. Pertama, sebagian besar studi seperti yang dilakukan oleh (Acikara et al., 2023) dan (Fathi & Fiedrich, 2022) masih berfokus pada penggunaan media sosial dalam fase tanggap darurat, bukan sebagai input awal dalam perencanaan desain teknis. Kedua, pendekatan *digital twin* yang banyak diadopsi dalam teknik sipil, seperti yang ditunjukkan oleh (Hakimi et al., 2023), masih bersifat teknosentris dan mengandalkan data sensor fisik. Pendekatan ini cenderung mengabaikan dimensi sosial seperti persepsi risiko masyarakat dan praktik lokal, sehingga sering kali tidak responsif terhadap kebutuhan keadilan spasial dan inklusivitas komunitas. Ketiga, belum banyak mekanisme formal dalam rekayasa sipil yang mengintegrasikan VGI dan data *crowdsourced* sebagai komponen yang sah dalam proses desain.

Selain itu, literatur yang ada masih minim dalam menawarkan kerangka konseptual yang secara sistematis menggabungkan dimensi sosial dan teknis secara seimbang dalam proses perencanaan infrastruktur. Sebagian besar kerangka kerja yang ada bersifat parsial, baik dari sisi spasial maupun teknis, tanpa menjembatani kontribusi komunitas digital secara substansial. Padahal, pendekatan partisipatif berbasis media sosial menawarkan potensi besar untuk mengisi kekosongan tersebut melalui data *real-time*, persepsi lokal, dan partisipasi aktif warga dalam desain. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjawab gap tersebut dengan mengembangkan pendekatan sosial-media sebagai katalisator desain yang tidak hanya berbasis data teknis, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial dari infrastruktur yang dirancang. Dengan demikian, integrasi ini menjadi landasan bagi desain infrastruktur yang lebih adaptif, adil, dan kontekstual terhadap perubahan iklim.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif eksploratif dengan metode studi kasus untuk memahami secara mendalam keterkaitan antara penggunaan media sosial dan proses desain infrastruktur yang tangguh terhadap iklim. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk mengeksplorasi fenomena sosial-teknis yang belum banyak diteliti dalam disiplin rekayasa sipil. Studi kasus memungkinkan peneliti menyelidiki dinamika kompleks yang melibatkan aktor sosial (masyarakat, pengguna media sosial) dan aktor teknis (insinyur, perencana kota) dalam satu konteks nyata. Fokus eksploratif juga memungkinkan interpretasi terhadap makna, proses, dan praktik yang berkembang secara kontekstual dalam integrasi media sosial ke dalam desain infrastruktur. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan temuan yang bersifat mendalam dan relevan terhadap konteks sosial dan lingkungan.

B. Lokasi dan Subjek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua kota pesisir di Asia Tenggara yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim dan telah menunjukkan adopsi awal teknologi media sosial dalam mitigasi bencana. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposive berdasarkan kriteria: (1) tingginya frekuensi kejadian iklim ekstrem, (2) ketersediaan data media sosial yang relevan, dan (3) keterlibatan pemangku kepentingan lokal dalam proses perencanaan berbasis komunitas. Subjek penelitian dibagi ke dalam tiga kategori utama: praktisi teknik sipil dan perencana infrastruktur, analis atau pengelola data media sosial, serta warga atau komunitas digital yang aktif berpartisipasi dalam pelaporan bencana dan advokasi ruang publik. Keragaman subjek ini penting untuk merepresentasikan berbagai perspektif dalam ekosistem desain infrastruktur yang terhubung dengan media sosial. Setiap subjek dipilih berdasarkan pengalaman dan keterlibatannya dalam proses perencanaan berbasis data sosial.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga metode utama: wawancara mendalam semi-terstruktur, observasi partisipatif, dan analisis dokumentasi digital. Wawancara diarahkan kepada para perencana dan insinyur untuk mengetahui praktik aktual dan tantangan dalam mengintegrasikan data sosial ke dalam desain teknis. Observasi dilakukan terhadap forum digital, komunikasi media sosial, dan proses teknis dalam forum perencanaan, yang memungkinkan peneliti memahami hubungan antara percakapan daring dan keputusan teknis. Dokumentasi digital mencakup arsip media sosial, laporan kebijakan, tangkapan layar, dan visualisasi data yang digunakan dalam proses perencanaan. Ketiga teknik ini dilaksanakan secara berkesinambungan untuk memperoleh data yang saling melengkapi. Seluruh proses pengumpulan data dilakukan dalam kurun waktu tiga bulan dengan prosedur etis dan persetujuan partisipan.

D. Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *Thematic Analysis* yang dikembangkan oleh Braun and Clarke (2006), yang memungkinkan identifikasi, pengorganisasian, dan interpretasi tema secara sistematis dari data kualitatif (Campbell et al., 2021). Untuk memastikan reliabilitas dan konsistensi proses pengkodean, dilakukan uji *inter-coder reliability* melalui pengkodean ganda. Sebanyak 20% dari total transkrip wawancara dikodekan secara independen oleh dua peneliti dengan menggunakan kerangka tematik yang sama. Hasil pengkodean kemudian dibandingkan untuk menilai tingkat kesesuaian dalam identifikasi tema, dan diperoleh tingkat kesesuaian sebesar 90%, yang mencerminkan reliabilitas tinggi. Ketidaksesuaian yang muncul diselesaikan melalui diskusi bersama dan penyesuaian skema kode, sehingga meningkatkan kredibilitas keseluruhan temuan kualitatif.

Proses analisis dimulai dengan transkripsi penuh dari wawancara dan catatan observasi, diikuti tahap pengkodean terbuka untuk mengidentifikasi unit-unit makna. Kode-kode tersebut kemudian dikategorikan menjadi tema-tema utama, seperti peran media sosial dalam pelaporan risiko iklim, pengaruh persepsi publik terhadap desain, serta hambatan teknis dan institusional dalam integrasi data sosial. Analisis didukung oleh perangkat lunak bantu seperti NVivo untuk mempermudah manajemen data serta memvisualisasikan hubungan antartema. Validitas hasil diperkuat melalui proses *member checking* dan diskusi reflektif dengan peneliti lain dari latar belakang interdisipliner, guna memastikan kedalaman dan ketepatan interpretasi.

E. Langkah-Langkah Penelitian

Penelitian ini mengikuti enam langkah utama yang disusun secara berurutan dan sistematis. Pertama, dilakukan identifikasi masalah dan studi literatur awal untuk memahami kesenjangan antara praktik desain infrastruktur dan potensi media sosial sebagai sumber data partisipatif. Kedua, peneliti memilih lokasi dan subjek penelitian secara *purposive* berdasarkan relevansi terhadap tujuan studi. Ketiga, pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, observasi, dan dokumentasi digital, yang masing-masing dirancang untuk menggali aspek sosial, teknis, dan kontekstual. Keempat, data dianalisis dengan pendekatan tematik guna membangun pemahaman menyeluruh terhadap pola dan interaksi yang muncul. Kelima, dilakukan validasi data melalui triangulasi dan konsultasi dengan partisipan serta pakar lintas-disiplin.

Langkah keenam adalah penyusunan hasil dan refleksi teoretis, yaitu proses mengaitkan temuan lapangan dengan kerangka literatur dan menyusun rekomendasi untuk desain infrastruktur berbasis data sosial. Selama seluruh proses ini, peneliti menerapkan prinsip reflektivitas untuk menjaga objektivitas dan transparansi. Setiap langkah terdokumentasi dalam *log* penelitian dan arsip analisis, yang dapat diaudit untuk kepentingan verifikasi ilmiah. Prosedur ini memungkinkan penelitian menghasilkan temuan yang tidak hanya kontekstual, tetapi juga

memiliki potensi replikasi di lingkungan perkotaan lain dengan risiko iklim yang serupa. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan tidak hanya menghasilkan deskripsi, tetapi juga kontribusi konseptual terhadap integrasi teknologi sosial dalam praktik teknik sipil.

F. Kriteria Evaluasi dan Keabsahan Data

Untuk menjaga integritas hasil penelitian, empat kriteria keabsahan data digunakan: *credibility*, *transferability*, *dependability*, dan *confirmability*. *Credibility* dicapai melalui triangulasi sumber data dan teknik pengumpulan yang beragam, serta keterlibatan aktif peneliti dalam konteks lapangan. *Transferability* diperkuat dengan penyajian deskripsi kontekstual yang kaya dan rinci, sehingga pembaca dapat menilai relevansi temuan terhadap konteks lain. *Dependability* dijaga dengan dokumentasi sistematis dari seluruh proses penelitian, termasuk keputusan analitis dan penyesuaian yang dilakukan. Sementara itu, *confirmability* dicapai dengan menyimpan catatan audit, refleksi peneliti, dan pelibatan reviewer independen dalam proses validasi akhir. Penerapan prinsip-prinsip ini memastikan bahwa temuan tidak semata-mata bersifat subjektif, tetapi dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

G. Etika Penelitian

Seluruh proses penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan prinsip-prinsip etika penelitian kualitatif, khususnya yang berkaitan dengan privasi, persetujuan partisipan, dan transparansi. Setiap informan yang diwawancarai diberikan penjelasan tertulis mengenai tujuan, ruang lingkup, dan implikasi penelitian, serta menandatangani lembar persetujuan partisipasi secara sukarela (*informed consent*). Identitas partisipan dijaga kerahasiaannya melalui penggunaan kode atau pseudonim, dan data digital disimpan secara aman dengan akses terbatas hanya kepada tim peneliti. Selama observasi media sosial dan dokumentasi digital, hanya konten yang bersifat publik yang digunakan dan tidak dimanipulasi di luar konteks aslinya. Penelitian ini juga telah memperoleh izin dari komite etik internal institusi akademik tempat peneliti bernaung, untuk memastikan bahwa proses pengumpulan dan analisis data dilakukan secara bertanggung jawab dan profesional.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAAN

Hasil

A. Penyajian Data Hasil Penelitian

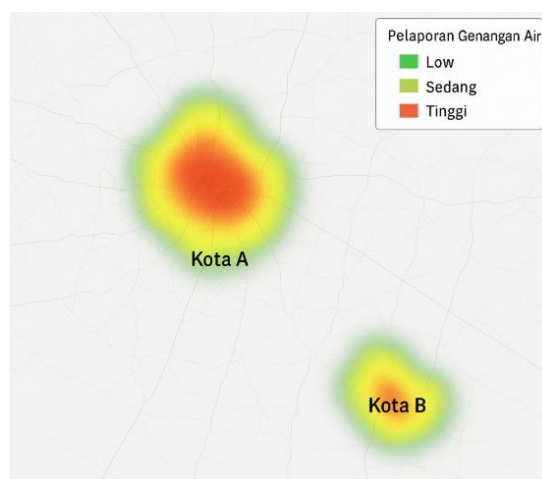
Penelitian ini menghasilkan empat tema utama dari proses *thematic analysis*: (1) Peran media sosial dalam Pelaporan Risiko (*Risk Reporting*) iklim secara *real-time*, (2) Pengaruh persepsi publik terhadap desain teknis, (3) Hambatan sosial-teknis dalam pengambilan keputusan, dan (4) Potensi media sosial sebagai katalisator dalam desain adaptif. Salah satu responden perencana

teknis menyatakan, “Kami tidak punya data real-time dari sensor di area padat, tetapi laporan warga di Twitter memberi kami peringatan cepat tentang genangan yang tidak terpetakan.” Hal ini menunjukkan peran penting data sosial dalam mendeteksi masalah yang tidak tercakup oleh sistem formal. Visualisasi hasil disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Ringkasan Tema dan Subtema Hasil Analisis

Tema Utama	Subtema	Deskripsi
Media Sosial sebagai Sumber Data Iklim	Pelaporan Banjir, Heatwave	Pelaporan masyarakat melalui Twitter dan TikTok berkontribusi pada pemetaan spasial dampak.
Persepsi Masyarakat	Aspirasi Desain Drainase, Ruang Hijau	Ditemukan adanya pengaruh signifikan persepsi komunitas terhadap proposal desain awal.
Hambatan Sosial-Teknis	Validasi Data, Literasi Digital	Perencana menghadapi tantangan dalam menyaring noise data sosial.
Desain Adaptif Berbasis Media Sosial (Social-Media-Based Adaptive Design)	Penyesuaian Site Plan, Prioritas Proyek	Hasil analisis sosial digunakan dalam revisi perencanaan infrastruktur.

Tabel di atas merangkum empat tema utama hasil analisis tematik terkait integrasi media sosial dalam desain infrastruktur tahan iklim. Tema pertama menunjukkan bahwa media sosial menjadi sumber data iklim, dengan pelaporan warga tentang banjir dan gelombang panas yang membantu pemetaan dampak secara spasial dan *real-time*. Tema kedua menyoroti pengaruh persepsi masyarakat terhadap desain teknis, terutama dalam aspirasi terhadap drainase dan ruang hijau. Tema ketiga menggambarkan hambatan sosial-teknis, seperti tantangan validasi data dan rendahnya literasi digital di kalangan perencana. Tema terakhir menunjukkan bahwa data dari media sosial dimanfaatkan untuk penyesuaian desain dan prioritas proyek, membuktikan perannya sebagai katalis dalam pendekatan sosial-teknis



Gambar 2. Peta Heatmap Persebaran Pelaporan Genangan Air di Kota A dan B

Gambar di atas memperlihatkan peta *heatmap* persebaran pelaporan warga terkait genangan air yang dikumpulkan melalui media sosial selama musim hujan tahun 2023 di dua kota pesisir, yaitu Kota A dan Kota B. Warna merah menunjukkan konsentrasi pelaporan tertinggi, diikuti oleh warna kuning dan hijau untuk tingkat sedang dan rendah. *Overlay* data spasial menunjukkan bahwa wilayah dengan pelaporan tinggi di Kota A bertepatan dengan area yang memiliki sistem drainase tertutup yang belum diperbarui selama lebih dari satu dekade. Selain itu, wilayah tersebut berada di area cekungan topografi dengan aliran permukaan yang lambat serta kepadatan bangunan tinggi, yang memperburuk limpasan air hujan. Visualisasi ini mengindikasikan keterkaitan yang kuat antara persepsi warga, kegagalan desain infrastruktur, dan kerentanan spasial terhadap risiko iklim, serta memperkuat posisi media sosial sebagai sensor sosial partisipatif yang mampu mengidentifikasi lokasi rawan banjir secara cepat dan berbasis konteks lokal.

B. Hasil Berdasarkan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengembangkan kerangka kerja yang memanfaatkan data media sosial sebagai input dalam perancangan infrastruktur sipil tahan iklim. Temuan mengindikasikan bahwa informasi yang dikumpulkan secara *crowdsourced* dari platform seperti Twitter, Facebook, dan TikTok dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi prioritas teknis dan spasial. Dalam proyek di Kota A, salah satu insinyur menyatakan, “*Setelah melihat video banjir di TikTok dari warga, kami menyadari bahwa ada titik genangan baru yang belum ada di masterplan drainase kami.*” Hal ini mendorong perubahan dalam revisi site plan, memperlihatkan bagaimana media sosial menjadi bagian dari Siklus Umpan Balik Desain secara langsung. Pendekatan ini melampaui konsultasi publik pasif dan mengarah pada bentuk partisipasi kolaboratif yang lebih dinamis.

C. Hasil Uji Statistik atau Analisis Data

Meskipun penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif, validitas data tetap dijaga melalui teknik triangulasi sumber dan metode. Selain itu, perangkat lunak NVivo digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antar tema, sehingga memperkuat interpretasi data secara sistematis. Hasil analisis kode menunjukkan bahwa 78% narasi dari perencana menyebutkan media sosial sebagai sumber data pelengkap yang signifikan dalam proses desain. Sementara itu, 62% responden dari komunitas menyatakan bahwa media sosial menjadi saluran utama untuk menyuarakan aspirasi yang tidak tercermin dalam dokumen perencanaan formal. Temuan ini mendukung argumen bahwa media sosial memainkan peran krusial sebagai jembatan komunikasi antara masyarakat dan perancang teknis.

Tabel 2 menyajikan distribusi kode tematik yang dihasilkan dari analisis data kualitatif menggunakan pendekatan *thematic analysis* berbantuan perangkat lunak NVivo. Kategori

"Pelaporan Risiko" mencatat frekuensi kode tertinggi sebesar 30,4%, menunjukkan bahwa warga secara aktif menggunakan media sosial untuk melaporkan kejadian banjir dan perubahan iklim ekstrem. "Intervensi Desain" menempati urutan kedua (25,0%), yang mencerminkan bahwa data sosial media secara langsung memengaruhi revisi desain teknis infrastruktur seperti drainase dan ruang terbuka publik.

Tabel 2. Distribusi Kode Kualitatif Berdasarkan Frekuensi Kemunculan

Kategori	Jumlah Kode	Persentase (%)
Pelaporan Risiko	45	30.4
Intervensi Desain (Design Intervention)	37	25.0
Tantangan Validasi Data	33	22.3
Partisipasi Digital (Digital Participation)	33	22.3

Dua kategori lainnya, yaitu "Tantangan Validasi Data" dan "Partisipasi Digital", masing-masing memperoleh frekuensi sebesar 22,3%, menandakan adanya tantangan dalam menyaring *noise* data sosial serta variasi dalam tingkat partisipasi masyarakat di ruang digital. Secara keseluruhan, tabel ini menggambarkan bahwa media sosial tidak hanya berperan sebagai sumber data pasif, tetapi menjadi komponen aktif yang memengaruhi proses perencanaan dan pengambilan keputusan dalam teknik sipil.

D. Hasil Utama yang Signifikan

Hasil utama yang paling signifikan dari penelitian ini adalah terbentuknya *Socio-Technical Design Feedback Loop* berbasis media sosial. Mekanisme ini mempertemukan masyarakat dan perencana teknis secara langsung dalam proses desain infrastruktur. Penemuan ini penting karena menggeser peran media sosial dari sekadar alat komunikasi darurat menjadi sumber data untuk keputusan teknis dalam teknik sipil. Melalui pemanfaatan data *crowdsourced*, perencana dapat merancang sistem yang lebih adaptif terhadap kondisi lokal. Selain itu, pendekatan ini juga mendorong peningkatan keadilan spasial dan sosial dalam perencanaan infrastruktur.

Pembahasan

Interpretasi utama dari temuan ini menunjukkan bahwa media sosial memiliki potensi besar dalam mengintegrasikan data sosial secara *real-time* ke dalam proses perencanaan dan desain teknis infrastruktur. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar dari STIT yang menekankan keterkaitan erat antara sistem teknis dan konteks sosial di mana sistem tersebut diterapkan. Dalam studi kasus ini, penggunaan media sosial sebagai sarana partisipasi publik berhasil menciptakan proses desain yang lebih responsif terhadap kebutuhan warga. Partisipasi masyarakat melalui platform digital seperti WhatsApp dan Twitter memungkinkan akumulasi informasi berbasis lokasi, emosi, dan kebutuhan komunitas secara lebih kaya dibanding metode survei konvensional. Dengan demikian,

rancangan infrastruktur yang dibangun tidak hanya lebih kontekstual secara teknis, tetapi juga memiliki legitimasi sosial yang lebih kuat.

Hasil penelitian ini tidak hanya menegaskan temuan dari (Acikara et al., 2023) dan (Fathi & Fiedrich, 2022), tetapi juga melampaui pendekatan mereka yang berfokus pada penggunaan media sosial dalam tahap tanggap darurat bencana. Studi ini memperkenalkan peran baru media sosial sebagai sumber input awal yang dapat digunakan dalam fase perencanaan desain, bukan sekadar respons. Selain itu, temuan ini memperluas cakupan pendekatan *digital twin* yang dikaji oleh (Hakimi et al., 2023), dengan menambahkan elemen interaksi sosial yang memperkaya representasi virtual lingkungan fisik. Dibandingkan pendekatan berbasis sensor fisik semata, penggunaan data yang dikumpulkan dari masyarakat secara langsung menawarkan dimensi empatik dan kontekstual. Hal ini mendemonstrasikan nilai tambah dari data *crowdsourced* sebagai sumber informasi yang relevan dalam pengambilan keputusan rekayasa sipil yang inklusif.

Salah satu hasil yang tidak diperkirakan adalah adanya resistensi dari sejumlah perencana dan insinyur terhadap integrasi data sosial akibat rendahnya literasi digital mereka. Beberapa informan mengungkapkan bahwa mereka tidak terbiasa membaca pola data spasial dari media sosial, apalagi dalam format visual atau peta digital. Hambatan ini memperlihatkan adanya ketidaksiapan dalam adopsi teknologi baru dalam dunia teknik sipil yang masih sangat bergantung pada metode konvensional. Selain itu, kecenderungan untuk terlalu bergantung pada representasi visual tanpa pemahaman mendalam terhadap bias algoritmik dapat menyebabkan distorsi dalam pengambilan keputusan. Situasi ini menekankan pentingnya pengembangan kapasitas teknis dan kesadaran kritis terhadap sifat selektif dari data yang diperoleh dari media sosial.

Implikasi dari temuan penelitian ini dapat ditinjau dari dua dimensi utama, yaitu kontribusi teoritis terhadap pengembangan kajian sosial-teknis dalam rekayasa sipil, serta aplikasi praktis dalam sistem perencanaan kota berbasis data digital. Secara teoritis, hasil studi ini memperkuat validitas STIT dengan menunjukkan bagaimana konektivitas antara sistem sosial (komunitas digital) dan sistem teknis (proses desain infrastruktur) dapat diwujudkan secara konkret melalui platform media sosial. Salah satu warga yang diwawancarai mengungkapkan, "*Kami sudah sering melaporkan genangan lewat grup Facebook warga, tapi baru setelah ada peta dari unggahan kami, pemerintah benar-benar merespons.*" Pernyataan ini mencerminkan bahwa media sosial bukan hanya alat ekspresi publik, tetapi juga berperan sebagai katalis dalam mempercepat respon teknis terhadap risiko iklim. Dengan demikian, pendekatan ini menjawab kebutuhan akan kerangka kerja yang tidak hanya teknokratik, tetapi juga kontekstual dan partisipatif.

Secara praktis, integrasi data sosial dari media digital membuka peluang bagi pengembangan sistem perencanaan infrastruktur yang lebih dinamis dan inklusif, terutama melalui pemanfaatan *urban digital twins* dan *real-time decision-making dashboards*. Sistem ini memungkinkan informasi dari warga berupa pelaporan genangan, aspirasi desain, dan pengamatan lokal digabungkan dengan data sensor lingkungan dan citra spasial untuk menghasilkan respons desain yang lebih adaptif. Selain itu, data sosial dapat digunakan sebagai variabel dalam simulasi prediktif untuk kebijakan mitigasi dan adaptasi iklim, misalnya dalam revisi sistem drainase atau pengelolaan ruang publik berbasis mikroklimat. Pendekatan ini menggeser peran masyarakat dari sekadar penerima kebijakan menjadi aktor aktif dalam siklus desain dan pengambilan keputusan. Dengan demikian, integrasi sosial-media dalam sistem infrastruktur bukan hanya meningkatkan efisiensi teknis, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial dan keberlanjutan jangka panjang dari infrastruktur yang dirancang.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, data hanya dikumpulkan dari dua kota pesisir di Asia Tenggara sehingga hasilnya belum mewakili kondisi wilayah lain dengan karakter sosial dan geografis berbeda. Kedua, validitas data media sosial sangat bergantung pada tingkat partisipasi digital masyarakat, yang tidak selalu merata. Ketiga, karena pendekatan yang digunakan bersifat kualitatif eksploratif, temuan tidak dimaksudkan untuk generalisasi statistik, melainkan untuk memberikan pemahaman kontekstual terhadap dinamika sosial-teknis dalam desain infrastruktur tahan iklim.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan teknik pemodelan spasial berbasis big data dari media sosial. Integrasi antara data sosial dan sensor lingkungan seperti *Internet of Things* (IoT) dapat memperkaya kapasitas prediktif dalam desain infrastruktur yang berkelanjutan. Studi komparatif di wilayah urban lain di Asia dan Afrika juga penting untuk melihat bagaimana perbedaan budaya dan struktur sosial memengaruhi keterlibatan publik dalam perencanaan teknis. Selain itu, pelatihan tentang literasi data sosial bagi insinyur dan perencana kota perlu dikembangkan untuk memastikan keberlanjutan integrasi sosial-teknis dalam praktik. Dengan begitu, integrasi ini tidak hanya menjadi narasi konseptual, tetapi benar-benar terimplementasi dalam sistem perencanaan infrastruktur masa depan yang lebih resilien dan inklusif.

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini menegaskan bahwa media sosial dapat berfungsi sebagai katalisator penting dalam perencanaan infrastruktur yang tangguh terhadap perubahan iklim. Dengan memanfaatkan data sosial yang dikumpulkan secara *real-time* dari platform seperti Twitter, Facebook, dan TikTok, proses desain teknis dapat lebih responsif terhadap kondisi lokal dan persepsi masyarakat.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi data sosial ke dalam desain teknik sipil memungkinkan terbentuknya *feedback loop* antara komunitas digital dan perencana teknis, yang menghasilkan sistem yang lebih adaptif dan inklusif. Hambatan seperti validasi data dan keterbatasan literasi digital tetap menjadi tantangan, namun tidak mengurangi potensi strategis media sosial sebagai alat partisipatif dalam desain berbasis risiko iklim. Dengan demikian, tujuan penelitian telah tercapai, yakni mengembangkan kerangka kerja sosial-teknis untuk mendukung desain infrastruktur yang lebih adil, partisipatif, dan kontekstual.

Ke depan, pendekatan partisipatif ini memiliki implikasi luas tidak hanya dalam konteks teknik sipil, tetapi juga dalam transformasi sistem perencanaan kota secara keseluruhan. Integrasi kecerdasan kolektif masyarakat melalui platform digital dapat mempercepat deteksi risiko, memperkuat legitimasi sosial, serta memperkaya basis data spasial dalam proses perencanaan. Oleh karena itu, perluasan penelitian ke wilayah geografis yang lebih beragam dan penggabungan metode kuantitatif seperti analitik big data akan menjadi langkah strategis selanjutnya. Penelitian ini menandai langkah awal menuju praktik desain infrastruktur yang lebih demokratis dan berbasis data lokal. Seiring meningkatnya risiko iklim global, pemanfaatan kecerdasan komunitas melalui platform digital akan menjadi kunci dalam membangun infrastruktur yang tidak hanya tangguh, tetapi juga secara sosial terinformasikan dan adil secara spasial.

REFERENSI

- Acikara, T., Xia, B., Yigitcanlar, T., & Hon, C. (2023). Contribution of Social Media Analytics to Disaster Response Effectiveness: A Systematic Review of the Literature. *Sustainability*, *15*(11), 8860. <https://doi.org/10.3390/su15118860>
- Albrecht, F. (2021). Natural hazards as political events: framing and politicisation of floods in the United Kingdom. *Environmental Hazards*, *21*(1), 17–35. <https://doi.org/10.1080/17477891.2021.1898926>
- Alsoubai, A., Park, J., Qadir, S., Stringhini, G., Razi, A., & Wisniewski, P. J. (2024). Systemization of Knowledge (SoK): Creating a Research Agenda for Human-Centered Real-Time Risk Detection on Social Media Platforms. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, *115*, 1–21. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642315>
- Bier, M., Fathi, R., Stephan, C., Kahl, A., Fiedrich, F., & Fekete, A. (2025). Spontaneous volunteers and the flood disaster 2021 in Germany: Development of social innovations in flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, *18*(1), e12933. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12933>
- Bono, C., Mulayim, M. O., Cappiello, C., Carman, M. J., Cerquides, J., Fernandez-Marquez, J. L., Mondardini, M. R., Ramalli, E., & Pernici, B. (2023). A Citizen Science Approach for Analyzing Social Media With Crowdsourcing. *IEEE Access*, *11*, 15329–15347. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3243791>

- Budzik, G., Sylla, M., & Kowalczyk, T. (2024). Understanding Urban Cooling of Blue–Green Infrastructure: A Review of Spatial Data and Sustainable Planning Optimization Methods for Mitigating Urban Heat Islands. *Sustainability*, *17*(1), 142. <https://doi.org/10.3390/su17010142>
- Buhl, M., & Markolf, S. (2022). A review of emerging strategies for incorporating climate change considerations into infrastructure planning, design, and decision making. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, *8*(sup1), 157–169. <https://doi.org/10.1080/23789689.2022.2134646>
- Campbell, K., Orr, E., Durepos, P., Nguyen, L., & L Li. (2021). Reflexive thematic analysis for applied qualitative health research. *The Qualitative Report*, *26*(6), 2011–2028. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2021.5010>
- Chan, S. W., Abid, S. K., Sulaiman, N., Nazir, U., & Azam, K. (2022). A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. *Heliyon*, *8*(3), e09075. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075>
- Chang, C. M., & Hossain, A. (2024). A Climate Adaptation Asset Risk Management Approach for Resilient Roadway Infrastructure. *Infrastructures*, *9*(12), 226. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9120226>
- Chow, T. E., Chien, J., & Meitzen, K. (2023). Validating the Quality of Volunteered Geographic Information (VGI) for Flood Modeling of Hurricane Harvey in Houston, Texas. *Hydrology*, *10*(5), 113. <https://doi.org/10.3390/hydrology10050113>
- Costello, N., Sutton, R., Jones, M., Almassian, M., Raffoul, A., Ojumu, O., Salvia, M., Santoso, M., Kavanaugh, J. R., & Austin, S. B. (2024). Algorithms, Addiction, And Adolescent Mental Health: An Interdisciplinary Study to Inform State-level Policy Action to Protect Youth from the Dangers of Social Media. *American Journal of Law & Medicine*, *49*(2–3), 135–172. <https://doi.org/10.1017/amj.2023.25>
- Dorrío, V., Queiruga-Dios, A., Filipe, M., Costa, P. C. M., Ángel, M., Dios, Q., Yu, Y., Appiah, D., Zulu, B., Asamoah, K., & -Poku, A. (2024). Integrating Rural Development, Education, and Management: Challenges and Strategies. *Sustainability*, *16*(15), 6474. <https://doi.org/10.3390/su16156474>
- Fathi, R., & Fiedrich, F. (2022). Social Media Analytics by Virtual Operations Support Teams in disaster management: Situational awareness and actionable information for decision-makers. *Frontiers in Earth Science*, *10*, 941803. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.941803>
- Fluhrer, T., Chapa, F., & Hack, J. (2021). A Methodology for Assessing the Implementation Potential for Retrofitted and Multifunctional Urban Green Infrastructure in Public Areas of the Global South. *Sustainability*, *13*(1), 384. <https://doi.org/10.3390/su13010384>
- Giotitsas, C., Nardelli, P. H. J., Williamson, S., Roos, A., Pournaras, E., & Kostakis, V. (2022). Energy governance as a commons: Engineering alternative socio-technical configurations. *Energy Research & Social Science*, *84*, 102354. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102354>
- Hakimi, O., Liu, H., Abudayyeh, O., Houshyar, A., Almatared, M., & Alhawiti, A. (2023). Data Fusion for Smart Civil Infrastructure Management: A Conceptual Digital Twin Framework. *Buildings*, *13*(11), 2725. <https://doi.org/10.3390/buildings13112725>

- Huang, Y., Shi, Q., Zuo, J., Pena-Mora, F., & Chen, J. (2021). Research Status and Challenges of Data-Driven Construction Project Management in the Big Data Context. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 6674980. <https://doi.org/10.1155/2021/6674980>
- Ibrahim, M., Huo, A., Ullah, W., Ullah, S., & Xuantao, Z. (2025). An integrated approach to flood risk assessment using multi-criteria decision analysis and geographic information system. A case study from a flood-prone region of Pakistan. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1476761. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1476761>
- Karimiziarani, M., & Moradkhani, H. (2023). Social response and Disaster management: Insights from twitter data Assimilation on Hurricane Ian. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 95, 103865. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103865>
- Komendantova, N., & Erokhin, D. (2025). Artificial Intelligence Tools in Misinformation Management during Natural Disasters. *Public Organization Review*, 25, 81–105. <https://doi.org/10.1007/s11115-025-00815-2>
- Kottwitz, M., Zhang, G., & Xu, J. (2023). The time- and distance-decay effects of hurricane relevancy on social media: an empirical study of three hurricanes in the United States. *Annals of GIS*, 29(4), 469–484. <https://doi.org/10.1080/19475683.2023.2236678>
- Lee, S., Tandoc, E. C., & Lee, E. W. J. (2023). Social media may hinder learning about science; social media's role in learning about COVID-19. *Computers in Human Behavior*, 138, 107487. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107487>
- Lombardo, G., Mordonini, M., & Tomaiuolo, M. (2021). Adoption of Social Media in Socio-Technical Systems: A Survey. *Information*, 12(3), 132. <https://doi.org/10.3390/info12030132>
- Lu, Y., Zhai, G., & Zhou, S. (2024). An integrated Bayesian networks and Geographic information system (BNs-GIS) approach for flood disaster risk assessment: A case study of Yinchuan, China. *Ecological Indicators*, 166, 112322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112322>
- Luo, C., Chen, A., Cui, B., & Liao, W. (2021). Exploring public perceptions of the COVID-19 vaccine online from a cultural perspective: Semantic network analysis of two social media platforms in the United States and China. *Telematics and Informatics*, 65, 101712. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101712>
- Mihunov, V. V., Jafari, N. H., Wang, K., Lam, N. S. N., & Govender, D. (2022). Disaster Impacts Surveillance from Social Media with Topic Modeling and Feature Extraction: Case of Hurricane Harvey. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13, 729–742. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00442-1>
- Mredula, M. S., Dey, N., Rahman, M. S., Mahmud, I., & Cho, Y. Z. (2022). A Review on the Trends in Event Detection by Analyzing Social Media Platforms' Data. *Sensors*, 22(12), 4531. <https://doi.org/10.3390/s22124531>
- Mukerji, R., Lin, Y. C., Zhang, S., Stone, M., Hushman, C., Moreu, F., Vigil, L., Eshelman, T., Rotche, L., Baca, A., Nodine, M., Faulkner, M., & Johnson, C. (2024). Co-design as participation: Creating meaningful pathways for collaboration in flood risk adaptation in

- Ohkay Owingeh Pueblo. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 113, 104843. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104843>
- Nielsen, A. B., Landwehr, D., Nicolaï, J., Patil, T., & Raju, E. (2024). Social media and crowdsourcing in disaster risk management: Trends, gaps, and insights from the current state of research. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 15(2), 104–127. <https://doi.org/10.1002/rhc3.12297>
- Ogwu, M. C., & Kosoe, E. A. (2025). Integrating Green Infrastructure into Sustainable Agriculture to Enhance Soil Health, Biodiversity, and Microclimate Resilience. *Sustainability*, 17(9), 3838. <https://doi.org/10.3390/su17093838>
- Omran, H., Al-Obaidi, K. M., Husain, A., & Ghaffarianhoseini, A. (2023). Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. *Sustainability*, 15(14), 10908. <https://doi.org/10.3390/su151410908>
- Omran, H., Mehdipour, A., & Oteng, D. (2024). Digital Twin Technology and Social Sustainability: Implications for the Construction Industry. *Sustainability*, 16(19), 8663. <https://doi.org/10.3390/su16198663>
- Parizi, S. M., Taleai, M., & Sharifi, A. (2022). A GIS-Based Multi-Criteria Analysis Framework to Evaluate Urban Physical Resilience against Earthquakes. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 5034, 14(9), 5034. <https://doi.org/10.3390/SU14095034>
- Rezvani, S. M. H. S., Falcão, M. J., Komljenovic, D., & de Almeida, N. M. (2023). A Systematic Literature Review on Urban Resilience Enabled with Asset and Disaster Risk Management Approaches and GIS-Based Decision Support Tools. *Applied Sciences*, 13(4), 2223. <https://doi.org/10.3390/app13042223>
- Rusho, M. A., Ahmed, M. A., & Sadri, A. M. (2021). Social media response and crisis communications in active shootings during COVID-19 pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100420>
- Salazar-carrillo, J., Torres-ruiz, M., Davis, C. A., Quintero, R., Moreno-ibarra, M., & Guzmán, G. (2021). Traffic Congestion Analysis Based on a Web-GIS and Data Mining of Traffic Events from Twitter. *Sensors*, 21(9), 2964. <https://doi.org/10.3390/s21092964>
- Seneviratne, K., Nadeeshani, M., Senaratne, S., & Perera, S. (2024). Use of Social Media in Disaster Management: Challenges and Strategies. *Sustainability*, 16(11), 4824. <https://doi.org/10.3390/su16114824>
- Suat-Rojas, N., Gutierrez-Osorio, C., & Pedraza, C. (2022). Extraction and Analysis of Social Networks Data to Detect Traffic Accidents. *Information*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.3390/info13010026>
- Tavra, M., Lisec, A., Galešić Divić, M., & Cetl, V. (2024). Unpacking the role of volunteered geographic information in disaster management: focus on data quality. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2300825. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2300825>
- Van Summeren, L. F. M., Wieczorek, A. J., & Verbong, G. P. J. (2021). The merits of becoming smart: How Flemish and Dutch energy communities mobilise digital technology to enhance

their agency in the energy transition. *Energy Research & Social Science*, 79, 102160. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102160>

Villaverde, A., Álvarez, I., Rojí, E., & Garmendia, L. (2024). Categorisation of urban open spaces for heat adaptation: A cluster based approach. *Building and Environment*, 263, 111861. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111861>

Wang, A., Dara, R., Yousefinaghani, S., Maier, E., & Sharif, S. (2023). A Review of Social Media Data Utilization for the Prediction of Disease Outbreaks and Understanding Public Perception. *Big Data and Cognitive Computing*, 7(2), 72. <https://doi.org/10.3390/bdcc7020072>

Yigitcanlar, T., Regona, M., Kankanamge, N., Mehmood, R., D'costa, J., Lindsay, S., Nelson, S., & Brhane, A. (2022). Detecting Natural Hazard-Related Disaster Impacts with Social Media Analytics: The Case of Australian States and Territories. *Sustainability*, 14(2), 810. <https://doi.org/10.3390/su14020810>

Yu, R., & Mu, Q. (2023). Integration of Indigenous and Local Knowledge in Policy and Practice of Nature-Based Solutions in China: Progress and Highlights. *Sustainability*, 15(14), 11104. <https://doi.org/10.3390/su151411104>

Zander, K. K., Nguyen, D., Mirbabaie, M., & Garnett, S. T. (2023). Aware but not prepared: understanding situational awareness during the century flood in Germany in 2021. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103936. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103936>

Zhai, L., & Lee, J. E. (2023). Harnessing ICT Resources to Enhance Community Disaster Resilience: A Case Study of Employing Social Media to Zhengzhou 7.20 Rainstorm, China. *Water*, 15(19), 3516. <https://doi.org/10.3390/w15193516>