

**SMART-EWS: ARSITEKTUR PERINGATAN DINI MULTI-BENCANA
BERBASIS 5G PRIVATE NETWORK DAN EDGE AI DI PESISIR MALANG
SELATAN MENUJU SOCIETY 5.0.**

Kemal Ahmad W¹, Aprianti Eka Desri^{2*}, Khafadah Afina K. P³, Rizky
Ardiansyah⁴

^{1 2 3 4}Politeknik Negeri Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author: 244101060055@student.polinema.ac.id

Abstrak

Wilayah pesisir Malang Selatan memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap berbagai jenis bencana alam, seperti gempa bumi, tsunami, dan banjir bandang, dengan waktu respons yang sangat terbatas. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem peringatan dini yang mampu beroperasi secara cepat, andal, dan mandiri meskipun berada pada wilayah dengan keterbatasan infrastruktur telekomunikasi. Penelitian ini bertujuan merancang arsitektur SMART-EWS, yaitu sistem peringatan dini multi-bencana berbasis 5G private network dan Edge Artificial Intelligence (Edge AI) yang mendukung komunikasi berlatensi rendah dan pengambilan keputusan lokal. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif deskriptif melalui studi pustaka dan perancangan arsitektur sistem berdasarkan literatur ilmiah dan laporan kebencanaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor lingkungan, jaringan 5G privat dengan dukungan Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC), serta pemrosesan data berbasis Edge AI mampu meningkatkan kecepatan respons sistem dan mengurangi ketergantungan terhadap pemrosesan terpusat berbasis cloud. Selain itu, penerapan mekanisme komunikasi event-driven memungkinkan efisiensi energi dengan mengaktifkan layanan URLLC hanya pada kondisi darurat. Arsitektur SMART-EWS yang diusulkan dinilai relevan untuk diterapkan di wilayah pesisir terpencil serta selaras dengan konsep Society 5.0 yang menempatkan teknologi sebagai sarana peningkatan keselamatan dan kualitas hidup manusia.

Kata kunci: *Sistem Peringatan Dini, 5G Private Network, Edge AI, URLLC, Society 5.0*

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan yang berada di cincin api (*Ring of Fire*) menghadapi tantangan permanen terhadap ancaman bencana geologis dan hidrometeorologi. Khususnya di wilayah Pesisir Malang Selatan, risiko gempa bumi *megathrust* dan banjir bandang menuntut adanya sistem mitigasi yang responsif dan presisi. Pentingnya identifikasi tingkat bahaya bencana berbasis spasial untuk menentukan zonasi risiko yang akurat (Supriyono dan Listyo Yudha, 2019). Namun, pemetaan risiko saja tidak cukup. Kesiapsiagaan masyarakat

(*community preparedness*) menjadi kunci utama dalam meminimalkan korban jiwa. Menurut Ibrena dan Tenda (2023), meskipun tingkat pengetahuan masyarakat mengenai bencana cukup baik, seringkali terdapat kesenjangan dalam sikap dan kecepatan respons saat bencana benar-benar terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa masyarakat membutuhkan alat bantu teknologi yang mampu memberikan peringatan dini secara *real-time* untuk memicu evakuasi mandiri yang efektif.

Sayangnya, arsitektur Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System/EWS*) yang ada saat ini masih didominasi oleh pendekatan terpusat (*Cloud-Centric*). Dalam arsitektur ini, data dari sensor lapangan harus dikirimkan terlebih dahulu ke pusat data (*cloud*) yang jauh untuk diproses sebelum peringatan dikirimkan kembali ke masyarakat. Proses transmisi jarak jauh ini menimbulkan latensi yang tinggi dan konsumsi energi yang besar, yang seringkali tidak memenuhi persyaratan aplikasi *time-critical* seperti deteksi tsunami atau banjir bandang. Komputasi awan tradisional memiliki kelemahan intrinsik berupa latensi tinggi dan beban *bandwidth* yang berat, yang dapat menghambat respons cepat dalam skenario gawat darurat (Najmul Hassan, dkk., 2019).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, integrasi teknologi 5G dan *Edge Computing* hadir sebagai solusi revolusioner menuju era *Society 5.0*. Teknologi 5G menjanjikan komunikasi dengan latensi ultra-rendah (*Ultra-Reliable Low Latency Communication/URLLC*), sementara *Edge Computing* mendekatkan kapabilitas komputasi ke sisi pengguna atau sensor. Dengan memproses data secara lokal di tepi jaringan (*edge*), sistem dapat memangkas waktu respons hingga di bawah 1 milidetik dan menghemat konsumsi energi hingga 30-40% dibandingkan model *cloud* konvensional.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang arsitektur "SMART-EWS" yang mengintegrasikan *5G Private Network* dan *Edge AI*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi ancaman multi-bencana di Pesisir Malang Selatan secara otonom dan cepat, menjawab tantangan kesenjangan respons masyarakat yang telah diidentifikasi sebelumnya, serta menerapkan prinsip efisiensi arsitektur jaringan masa depan. Implementasi sistem ini diharapkan menjadi fondasi infrastruktur keselamatan cerdas yang mendukung ketangguhan masyarakat pesisir di masa depan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi pustaka dan perancangan arsitektur sistem. Metode ini digunakan untuk merumuskan konsep SMART-EWS, yaitu sistem peringatan dini multi bencana berbasis *5G Private Network* dan *Edge AI* pada wilayah pesisir Malang selatan.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari artikel jurnal nasional dan internasional, laporan resmi lembaga kebencanaan, serta dokumen kebijakan yang relevan dengan sistem peringatan dini dan teknologi *Society 5.0*.

Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran pustaka ilmiah menggunakan basis data google scholar dan publikasi institusi resmi dengan kata kunci *early warning system*, *5G private network*, *edge AI*, dan *multi disaster*. Literatur yang di peroleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik dan relevansi terhadap tujuan penelitian.

Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif dan komparatif dengan mengelompokkan temuan literatur berdasarkan fungsi sistem, teknologi jaringan, dan mekanisme pengolahan data. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam menyusun arsitektur konseptual *SMART-EWS*.

Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Karakteristik Wilayah Pesisir Malang Selatan sebagai Wilayah Rawan Multi

Bencana

Wilayah Pesisir Malang Selatan memiliki karakteristik kebencanaan yang kompleks akibat interaksi antara faktor geologis dan hidrometeorologis. Secara tektonik, kawasan ini berada pada zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia yang berpotensi memicu gempa bumi berkekuatan besar serta tsunami. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa wilayah pesisir selatan Jawa memiliki potensi gempa megathrust dengan waktu tiba tsunami yang relatif singkat, sehingga memerlukan sistem peringatan dini dengan kecepatan respons yang tinggi (Supriyono and Yudha, 2019).

Selain ancaman geologis, wilayah pesisir Malang Selatan juga menghadapi risiko hidrometeorologis berupa banjir bandang. Kondisi morfologi wilayah yang didominasi perbukitan curam, daerah aliran sungai yang pendek, serta curah hujan musiman dengan intensitas tinggi meningkatkan potensi terjadinya limpasan air secara tiba-tiba di wilayah muara dan permukiman pesisir. Marfai et al. (2020) menjelaskan bahwa kombinasi hujan ekstrem dan perubahan tata guna lahan di wilayah pesisir Jawa secara signifikan berkontribusi terhadap meningkatnya frekuensi dan dampak banjir bandang pesisir.

Untuk memperkuat analisis karakteristik kebencanaan wilayah pesisir, dilakukan telaah terhadap sejumlah penelitian terdahulu yang relevan. Ringkasan hasil analisis literatur tersebut disajikan pada Tabel 4.1 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Karakteristik Multi-Bencana di Wilayah Pesisir, yang memuat perbandingan penelitian terkait jenis bencana, temuan utama, serta implikasinya terhadap perancangan sistem peringatan dini multi-bencana.

Tabel 4.1 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Karakteristik Multi-Bencana di Wilayah Pesisir

Penulis &	Lokasi Studi	Jenis	Temuan Utama	Implikasi Terhadap
-----------	--------------	-------	--------------	--------------------

Tahun		Bencana	Penelitian	Perancangan <i>SMART-EWS</i>
Pemetaan Risiko Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Selatan Jawa Supriyono & Yudha (2019)	Pesisir Selatan Pulau Jawa	Gempa bumi dan tsunami	Wilayah pesisir selatan Jawa berada pada zona subduksi aktif yang berpotensi memicu gempa megathrust dan tsunami dengan waktu tiba yang relatif singkat	Sistem peringatan dini harus memiliki latensi sangat rendah dan mampu memproses data secara cepat sebelum gelombang tsunami mencapai daratan
Indeks Risiko Bencana Indonesia BNPB (2023)	Nasional (Indonesia)	Multi-bencana	Wilayah pesisir dikategorikan sebagai daerah berisiko tinggi akibat kombinasi ancaman geologis dan hidrometeorologis	Diperlukan sistem peringatan dini yang mampu mendeteksi dan mengelola lebih dari satu jenis bencana secara terintegrasi
Impact of Extreme Rainfall and Land Use Change on Coastal Flooding Marfai et al. (2020)	Pesisir Jawa	Banjir bandang pesisir	Curah hujan ekstrem dan perubahan tata guna lahan meningkatkan kejadian banjir bandang di wilayah muara dan pesisir	Sistem EWS perlu mengintegrasikan sensor hidrometeorologi untuk mendeteksi potensi banjir secara dini

Berdasarkan Tabel 4.1 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Karakteristik Multi-Bencana di Wilayah Pesisir, karakteristik bencana di wilayah pesisir bersifat multi-hazard, meliputi gempa bumi, tsunami, dan banjir bandang. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa risiko bencana di wilayah pesisir tidak hanya ditentukan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil akumulasi berbagai ancaman yang dapat terjadi secara berurutan maupun simultan (BNPB, 2023). Selain itu, temuan Ibrena and Tenda (2023) menegaskan bahwa meskipun tingkat pengetahuan masyarakat relatif baik, respons terhadap peringatan bencana masih belum optimal. Oleh karena itu, sistem peringatan dini yang dirancang untuk wilayah Pesisir Malang Selatan perlu bersifat terintegrasi, otomatis, dan mampu memberikan peringatan secara real-time untuk mendukung kesiapsiagaan dan keselamatan masyarakat.

4.2 Analisis Kebutuhan Sitem Peringatan dini Multi-Bencana

Sistem peringatan dini pada wilayah rawan multi-bencana dituntut untuk mampu merespons ancaman secara cepat dan akurat, terutama pada kondisi bencana dengan waktu kritis yang sangat terbatas. Pada sistem peringatan dini konvensional, proses pengolahan data umumnya masih terpusat pada komputasi awan (*cloud-centric*), sehingga data dari sensor harus dikirim ke pusat data terlebih dahulu sebelum keputusan peringatan dihasilkan. Model ini berpotensi menimbulkan latensi yang tinggi dan ketergantungan terhadap konektivitas jaringan yang stabil, yang kurang ideal untuk wilayah pesisir dengan keterbatasan infrastruktur.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan pengolahan data dan diseminasi peringatan dapat mengurangi efektivitas sistem peringatan dini, khususnya pada kejadian gempa bumi, tsunami, dan banjir bandang yang membutuhkan respons dalam hitungan detik hingga menit. Oleh karena itu, diperlukan sistem peringatan dini yang memiliki latensi rendah, kemampuan pemrosesan lokal, serta mekanisme diseminasi peringatan yang cepat dan andal (Hassan et al., 2019).

Untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem peringatan dini yang sesuai dengan karakteristik wilayah pesisir Malang Selatan, dilakukan analisis terhadap sejumlah penelitian terdahulu yang membahas kebutuhan teknis dan operasional sistem peringatan dini. Ringkasan hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 4.2 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Kebutuhan Sistem Peringatan Dini, yang membandingkan fokus penelitian, keterbatasan sistem yang ada, serta rekomendasi solusi yang diusulkan oleh masing-masing penelitian.

Tabel 4.2 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Kebutuhan Sistem Peringatan Dini

Judul Penelitian	Fokus Penelitian	Keterbatasan Sistem yang Diidentifikasi	Kebutuhan Sistem yang Direkomendasikan
Towards Edge Computing Based Disaster Management System Hassan et al. (2019)	Sistem peringatan dini berbasis <i>cloud</i>	Ketergantungan pada pusat data menyebabkan latensi tinggi dan risiko kegagalan sistem saat koneksi terganggu	Pemrosesan data dilakukan di edge untuk mengurangi latensi dan meningkatkan keandalan
Edge Computing: Vision and Challenges Shi et al. (2016)	Komputasi edge untuk aplikasi kritis	Infrastruktur edge belum dimanfaatkan secara optimal pada sistem peringatan dini	Integrasi edge computing untuk analisis data real-time di dekat sumber data
Multi-Hazard Early Warning Systems: A Checklist	Sistem EWS global multi-bencana	Diseminasi peringatan sering terlambat dan tidak	Sistem peringatan multi-channel yang inklusif dan mudah dipahami

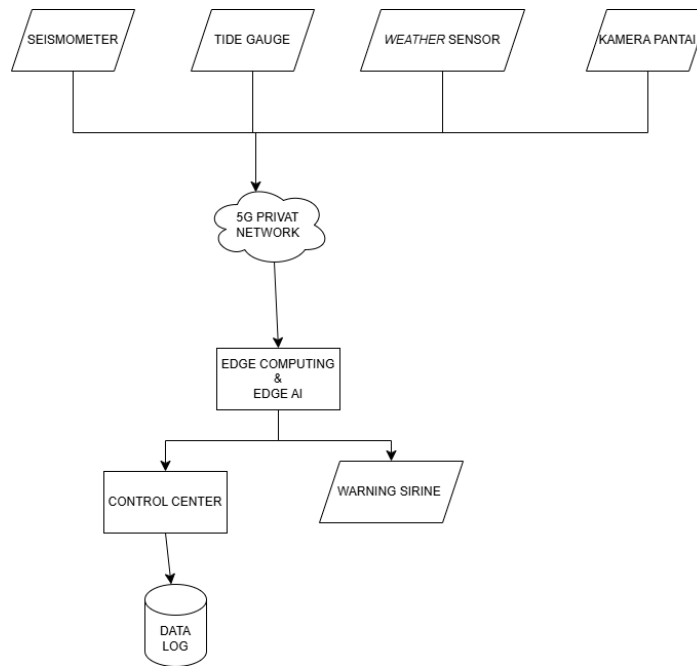
UNDRR (2020)		menjangkau seluruh masyarakat	
Wireless Access for Ultra-Reliable Low-Latency Communication Popovski et al. (2018)	Komunikasi <i>URLLC</i> untuk aplikasi kritis	Jaringan konvensional tidak menjamin latensi rendah dan keandalan tinggi	Penggunaan jaringan dengan latensi sangat rendah untuk aplikasi keselamatan

Berdasarkan Tabel 4.2 Analisis Penelitian Terdahulu Terkait Kebutuhan Sistem Peringatan Dini, dapat disimpulkan bahwa sistem peringatan dini yang efektif untuk wilayah rawan multi-bencana harus memenuhi beberapa kebutuhan utama, yaitu latensi rendah, kemampuan pemrosesan data secara lokal, serta keandalan sistem dalam kondisi darurat. Penelitian-penelitian tersebut secara konsisten menyoroti kelemahan pendekatan *cloud-centric* yang berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan dan penyampaian peringatan kepada masyarakat.

Selain itu, kebutuhan akan sistem peringatan dini multi-bencana juga menuntut adanya mekanisme diseminasi peringatan yang mampu menjangkau masyarakat secara luas dan inklusif. Rekomendasi UNDRR (2020) menekankan pentingnya penggunaan berbagai kanal peringatan untuk memastikan informasi dapat diterima oleh seluruh lapisan masyarakat. Temuan-temuan ini menjadi dasar dalam perancangan *SMART-EWS*, yang mengintegrasikan pemrosesan data berbasis edge dan jaringan komunikasi latensi rendah guna memenuhi kebutuhan sistem peringatan dini di wilayah Pesisir Malang Selatan.

4.3 Hasil Perancangan Arsitektur Sistem *SMART-EWS*

Untuk menjawab kebutuhan sistem peringatan dini yang cepat, andal, dan adaptif terhadap karakteristik wilayah pesisir, penelitian ini merancang arsitektur sistem *SMART-EWS* yang terdiri dari beberapa lapisan integrasi. Arsitektur ini dirancang berdasarkan prinsip multi-hazard early warning system serta pemanfaatan teknologi komunikasi latensi rendah dan pemrosesan data terdistribusi. Rancangan arsitektur *SMART-EWS* ditunjukkan pada Gambar 4.1 Rancangan Arsitektur Sistem *SMART-EWS* Berbasis *5G Private Network* dan *Edge AI*, yang menggambarkan alur data mulai dari sensor hingga diseminasi peringatan kepada masyarakat.



Gambar 4.1 Rancangan Arsitektur Sistem *SMART-EWS* Berbasis *5G Private Network* dan *Edge AI*

Rancangan arsitektur sistem *SMART-EWS* yang terdiri dari beberapa lapisan integrasi. Arsitektur ini dirancang untuk menjawab kebutuhan sistem peringatan dini yang cepat, andal, dan adaptif terhadap kondisi wilayah pesisir. Lapisan pertama adalah lapisan sensor lingkungan yang berfungsi sebagai sumber data utama. Sensor yang digunakan meliputi seismometer untuk mendeteksi getaran gempa, sensor tinggi muka air laut (tide gauge) untuk memantau perubahan muka air secara tiba-tiba, serta sensor cuaca untuk mendeteksi hujan lebat dan angin kencang. Sensor tersebut akan diletakkan pada titik yang strategis di sepanjang pesisir dan wilayah hulu sungai (WMO, 2020; BNPB, 2023).

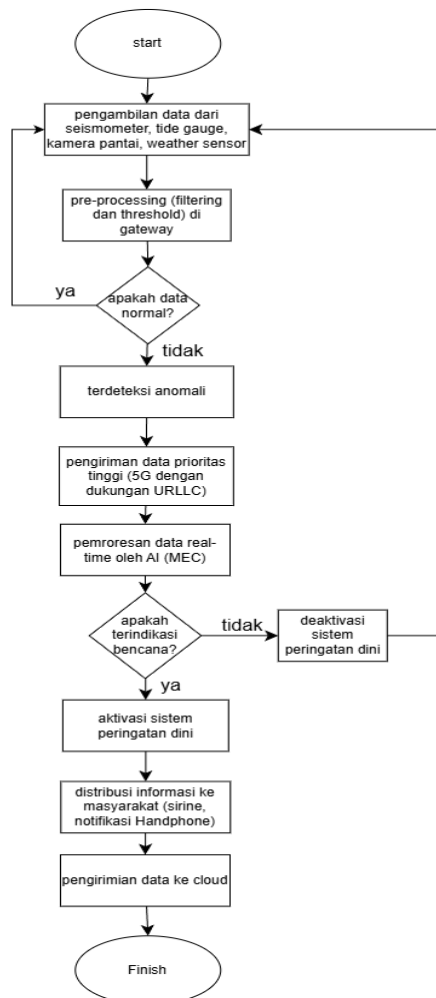
Lapisan kedua adalah jaringan komunikasi berbasis *5G Private Network*. Jaringan ini berfungsi sebagai media transmisi data antar sensor, *node edge*, dan pusat kendali. Penggunaan jaringan privat memungkinkan sistem memiliki latensi rendah, tingkat keandalan tinggi serta komunikasi terjamin dibandingkan jaringan publik. Hal ini sangat penting untuk aplikasi keselamatan yang bersifat *time-critical*, seperti sistem peringatan dini bencana yang membutuhkan komunikasi data secara *real-time* dan konsisten.

Lapisan ketiga merupakan lapisan *Edge Computing* dan *Edge AI*. pada lapisan ini, data sensor yang diterima dianalisis secara lokal menggunakan algoritma kecerdasan buatan untuk mendeteksi anomali dan pola bahaya. Pemrosesan di sisi edge memungkinkan sistem menghasilkan keputusan awal tanpa harus menunggu instruksi dari pusat data dan secara signifikan

menurunkan latensi pengambilan keputusan dibandingkan pendekatan *cloud-centric* (Shi et al., 2016; Hassan et al., 2019).

Lapisan keempat adalah pusat kendali (control center) yang berfungsi sebagai sarana pemantauan dan visualisasi data secara terintegrasi. Pusat kendali juga berperan dalam koordinasi dengan instansi terkait, seperti Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), serta penyimpanan data historis pada basis data (data log) untuk keperluan analisis lanjutan dan evaluasi sistem. Lapisan terakhir merupakan lapisan diseminasi peringatan, yang menyampaikan informasi peringatan dini kepada masyarakat melalui berbagai kanal, seperti sirine peringatan, pesan singkat, aplikasi mobile, dan media informasi lainnya. Pendekatan multi-channel ini bertujuan untuk memastikan peringatan dapat diterima secara cepat dan merata oleh masyarakat pesisir (UNDRR, 2020).

4.4 Mekanisme Kerja SMART-EWS dalam Skenario Bencana Nyata



Gambar 4.2 Rancangan *flowchart* Sistem SMART-EWS Berbasis 5G Private Network dan Edge AI

SMART-EWS dirancang untuk beroperasi dalam mode pemantauan secara normal dan mode darurat. Sistem ini memanfaatkan integrasi sensor yang ada di lingkungan pesisir, komunikasi berdaya rendah, jaringan 5G dengan dukungan *Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC)*, *edge computing*, serta *Artificial Intelligence (AI)*.

Pada tahap awal, sensor seperti seismograf dan *tide gauge* melakukan pengambilan data kondisi lingkungan secara kontinu. Data yang diperoleh dari sensor mengalami *pre-processing* yang meliputi proses penyaringan sinyal (*filtering*) dan pemeriksaan ambang batas (*threshold checking*) di sisi *gateway* atau *edge device* untuk mengurangi noise dan mendeteksi indikasi anomali sebelum dikirim ke tahap pemrosesan lanjutan.

Apabila data masih berada dalam ambang batas normal, sistem mengoperasikan mode monitoring secara berkala. Saat terdeteksi anomali yang berpotensi menjadi bencana teridentifikasi oleh sensor, sistem secara otomatis beralih ke mode darurat dengan mengaktifkan jaringan 5G *URLLC*. Nencioni et al. (2021) menyatakan bahwa MEC di jaringan 5G meningkatkan efisiensi jaringan sehingga data sensor dapat ditransmisikan dengan latensi rendah dan keandalan tinggi dan kemampuan real-time yang diperlukan untuk aplikasi kritis. Data prioritas tinggi ini kemudian diproses pada *edge computing* node yang berada dekat dengan sumber data untuk meminimalkan *end-to-end latency* dibandingkan dengan pemrosesan di *cloud* pusat.

Di sisi *edge*, model AI melakukan klasifikasi kondisi untuk menentukan apakah anomali merupakan bencana atau bukan secara otomatis. *AI-enabled anomaly detection* dapat dilakukan secara *real-time* langsung pada node *edge*, sehingga latensi dan bandwidth dapat ditekan dibandingkan dengan pengiriman penuh ke *cloud* (Ahmad & Cide, 2025; Manduva, 2025). Ketika keputusan menunjukkan adanya bencana, *SMART-EWS* mengaktifkan peringatan dini dan mendistribusikannya ke masyarakat melalui berbagai kanal seperti sirine dan notifikasi digital pada *handphone*. Seluruh data hasil klasifikasi, keputusan sistem, dan jejak kejadian akan diarsipkan ke *cloud* untuk evaluasi lanjutan dan peningkatan model AI.

4.5 Strategi Implementasi 5G Private Network pada Wilayah Pesisir Terpencil

Penerapan *SMART-EWS* di wilayah pesisir terpencil memerlukan pendekatan jaringan yang responsif terhadap keterbatasan infrastruktur fisik. Pemanfaatan *5G Private Network* memberikan dukungan bandwidth, fleksibilitas dan kontrol penuh terhadap pengalokasian sumber daya jaringan,

termasuk dukungan layanan *URLLC* yang memungkinkan pengiriman data dengan latensi rendah pada kondisi darurat (Rastoceanu et al., 2025). Selain itu, penerapan *5G Private Network* memungkinkan sistem peringatan dini untuk beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan komersial publik yang berpotensi padat atau tidak stabil, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi mission-critical sistem peringatan dini bencana.

Dalam konteks operasional sistem, layanan *URLLC* dalam jaringan 5G memungkinkan pengiriman data secara real-time dengan latensi yang sangat rendah pada kondisi *mission-critical* (Ying et al., 2023). Namun, penggunaan *URLLC* secara terus-menerus dapat meningkatkan konsumsi energi, sehingga pendekatan *event-driven* yang hanya mengaktifkan *URLLC* ketika terdeteksi anomali menjadi lebih efisien (Iqbal et al., 2025). Selain itu, integrasi edge computing dalam 5G meningkatkan performa sistem IoT melalui pemrosesan data sensor secara lokal, sehingga mampu menekan latensi dan efisiensi komputasi data sensor (Elstia & Albahlul, 2025).

4.6 Relevansi SMART-EWS terhadap Konsep Society 5.0

Konsep society 5.0 menempatkan manusia sebagai pusat dari pemanfaatan teknologi cerdas untuk meningkatkan kualitas hidup dan keselamatan masyarakat. *SMART-EWS* mendukung prinsip ini melalui kemampuan pengambilan keputusan otomatis dan respons cepat dalam menghadapi bencana, memanfaatkan sinergi antara jaringan 5G *URLLC*, edge computing dan AI untuk menghasilkan sistem yang adaptif dan berpihak pada kebutuhan manusia.

Selain itu, *SMART-EWS* tidak hanya berfungsi sebagai sistem peringatan dini, tetapi juga sebagai platform pengelolaan data kebencanaan yang dapat digunakan untuk perencanaan mitigasi jangka panjang. Dengan demikian, sistem ini berkontribusi dalam membangun masyarakat yang lebih tangguh terhadap bencana dan selaras dengan visi Society 5.0 yang mengedepankan sinergi antara teknologi dan kebutuhan manusia.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dan perancangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa wilayah Pesisir Malang Selatan memiliki karakteristik risiko multi-bencana dengan keterbatasan waktu respons dan infrastruktur pendukung, sehingga memerlukan sistem peringatan dini yang cepat, andal, dan mampu beroperasi secara mandiri. Arsitektur *SMART-EWS* yang diusulkan dalam penelitian ini mengintegrasikan sensor lingkungan, jaringan *5G Private Network*, serta pemrosesan data berbasis *Edge AI* untuk menjawab kebutuhan tersebut.

Penerapan jaringan *5G private* dengan dukungan layanan *URLLC* memungkinkan pengiriman data berlatensi rendah dan berkeandalan tinggi pada kondisi darurat, sementara pemrosesan di sisi *edge* mampu meminimalkan ketergantungan terhadap *cloud* dan mempercepat pengambilan keputusan. Selain itu, penerapan mekanisme komunikasi *event-driven* terbukti relevan untuk meningkatkan efisiensi energi dan sumber daya jaringan dengan mengaktifkan mode komunikasi kritis hanya ketika terdeteksi anomali atau potensi bencana.

Secara konseptual, *SMART-EWS* tidak hanya berfungsi sebagai sistem peringatan dini, tetapi juga sebagai fondasi infrastruktur kebencanaan cerdas yang mendukung pengelolaan data dan peningkatan kesiapsiagaan masyarakat. Dengan demikian, arsitektur yang diusulkan selaras dengan visi *Society 5.0*, di mana teknologi cerdas dimanfaatkan untuk melindungi keselamatan manusia dan membangun masyarakat pesisir yang lebih tangguh terhadap bencana di masa depan.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga artikel ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Rizky Ardiansyah S.Kom., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, masukan, dan motivasi selama proses penyusunan gagasan ini.
2. Segenap dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dasar mengenai telekomunikasi dan jaringan.
3. Panitia PILAR XIII UKM KIM Universitas Mahasaraswati Denpasar yang telah menyediakan wadah kompetisi untuk menyalurkan inovasi mahasiswa menuju era *Society 5.0*.
4. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moral dan materiil.
5. Rekan-rekan satu tim yang telah bekerja keras dan berkolaborasi dalam menyelesaikan tulisan ini.

Semoga gagasan *SMART-EWS* ini dapat memberikan sumbangsih pemikiran bagi kemajuan teknologi mitigasi bencana di Indonesia.

Daftar Pustaka

Ahmad, M. and Cide, D. (2025) 'AI-driven anomaly detection framework for industrial IoT using edge-enabled wireless sensor networks', *Wireless Sensor Networks and Internet of Things Journal*. Available at: <https://ecejournals.in/index.php/WSNIOT/article/view/307> (Accessed: 2 January 2026).

- BNPB (2023) *Indeks Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Elstia, A. and Albahlul, S. (2025) 'Impact of 5G technology on IoT networks performance: An analytical study on smart cities', *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences*, 4(4), pp. 188–196.
- Hassan, N., Gillani, S., Ahmed, E., Imran, M. and Guizani, M. (2019) 'Towards edge computing based disaster management system', *IEEE Access*, 7, pp. 34180–34191.
- Hassan, N., Yau, K.L.A. and Wu, C. (2019) 'Edge computing in 5G: A review', *IEEE Access*, 7, pp. 127276–127289.
- Ibrena, R. and Tenda, M. (2023) 'Community preparedness toward tsunami disaster in coastal areas of Indonesia', *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, pp. 1–10.
- Iqbal, A., Khurshaid, T., Nauman, A. and Rhee, S.-B. (2025) 'Energy-aware ultra-reliable low-latency communication for healthcare IoT in beyond 5G and 6G networks', *Sensors*, 25(11), 3474.
- Manduva, S. (2025) 'AI-powered real-time anomaly detection in edge computing systems for smart cities', *International Journal of Engineering and Computer Science*. Available at: <https://ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/4819> (Accessed: 2 January 2026).
- Marfai, M.A., Cahyadi, A. and Hadmoko, D.S. (2020) 'Impact of extreme rainfall and land use change on coastal flooding in Java', *Natural Hazards*, 102(3), pp. 1237–1256.
- Nencioni, G., Garroppo, R.G. and Olimid, R.F. (2021) '5G multi-access edge computing: A survey on security, dependability and performance', *Computer Networks*, 194, 108150.
- Popovski, P., Trillingsgaard, K.F., Simeone, O. and Durisi, G. (2018) 'Wireless access for ultra-reliable low-latency communication: Principles and building blocks', *IEEE Network*, 32(2), pp. 16–23.
- Pradana, I.H., Irawan, L.Y., Setiawan, D., Yuliano, F.S. and Mufid, H.A. (2020) 'Analisis daerah tergenang banjir di Desa Sitiarjo, Kabupaten Malang menggunakan data SAR (Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1', *Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 5(1), pp. 59–60.
- Rastoceanu, A. *et al.* (2025) 'Mission-critical services in 5G and beyond: Architecture and challenges', *Sensors*, 25(16), 5156.

- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y. and Xu, L. (2016) 'Edge computing: Vision and challenges', *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), pp. 637–646.
- Supriyono and Yudha, L. (2019) 'Pemetaan risiko bencana tsunami di wilayah pesisir selatan Jawa', *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, 5(2), pp. 45–56.
- Tenda, E., Alfonsius, E., Lumembang, M. and Ketaren, E. (2023) 'Early warning system untuk potensi bencana longsor di Kota Manado berbasis Internet of Things', *TIMES: Technology Informatics & Computer System*, 12(2), pp. 64–65.
- UNDRR (2020) *Multi-Hazard Early Warning Systems: A Checklist*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- WMO (2020) *Multi-hazard Early Warning Systems*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Ying, D., Shajahan, M.A., Khair, M.A. and Sandu, A.K. (2023) 'Ultra-reliable low-latency communication (URLLC) in 5G networks: Enabling mission-critical applications', *Engineering International*, 11(1), pp. 43–58.