

## PENDEKATAN AI DAN DATA SAINS DALAM BENCANA GEO-HIDROMETEOROLOGI DI SUMATERA UTARA

<sup>1,2</sup>Marzuki Sinambela✉, <sup>1</sup>Yustina Sri Suharini

<sup>1</sup>Institute Teknologi Indonesia, Tangerang Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia

Email: [sinambela.m@gmail.com](mailto:sinambela.m@gmail.com)

### ABSTRACT

Challenges in the era of society 5.0 in disaster mitigation and management in Indonesia encourage the importance of innovation and adaptation to new technologies in dealing with geo-hydrometeorological disasters in North Sumatra, Indonesia. North Sumatra is one of the provinces in Indonesia located in the northwestern part of Sumatra Island, and is an area that has the potential for Geo-Hydrometeorological disasters, whether it comes from earthquakes, floods, strong winds, drought due to climate change, landslides and others. In this research, disaster management is needed to provide the widest possible information to the community related to mitigation, preparedness, emergency response, and recovery. The purpose of this research is to provide an understanding of geo-hydrometeorological disasters to the people of North Sumatra, Indonesia with AI and Data Science approaches, namely Prediction and Early Warning, risk and vulnerability analysis, monitoring, real-time response, data and information management, and education and public awareness. In general, the development of informatics engineering in geo-hydrometeorology disaster based on AI and Data Science has a very good impact, both from the code of ethics and ethics of Professional Engineers, Professional and Safety, Occupational Health and Safety and the Environment. AI and Data Science approaches in engineering practice in the community encourage the handling of geo-hydrometeorological disasters in North Sumatra has great potential to improve the effectiveness of disaster mitigation, response and recovery. Data analysis with AI and data science approaches helps in making policies that are more targeted and effective in disaster risk mitigation. Data Science can be used to analyse disaster impacts and assist in effective recovery planning. It requires data availability, collecting data post-disaster can be difficult, but it is essential for impact analysis and model improvement.

**Keyword:** AI, Data Science, Geo-Hydrometeorology, Disaster.

### ABSTRAK

Tantangan di era society 5.0 dalam mitigasi dan manajemen bencana mendorong pentingnya inovasi dan adaptasi terhadap teknologi baru dalam menghadapi bencana geo-hidrometeorologi di Sumatera Utara, Indonesia. Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di bagian barat laut Pulau Sumatera, dan merupakan wilayah yang berpotensi terhadap bencana Geo-Hidrometeorologi, baik itu yang bersumber dari gempa bumi, banjir, angin kencang, kekeringan akibat perubahan iklim, longsor dan lain lain. Dalam penelitian ini, manajemen bencana sangat diperlukan untuk memberikan informasi seluas luasnya kepada masyarakat terkait dengan mitigasi, kesiapsiagaan, respon darurat, dan pemulihan. Tujuan penelitian ini untuk memberikan pemahaman terkait bencana geo-hidrometeorologi kepada masyarakat Sumatera Utara, Indonesia dengan pendekatan AI dan Data Science yaitu Prediksi dan Peringatan Dini, analisis risiko dan kerentanan, pemantaau, respon real-time, manajemen data dan informasi, dan edukasi dan kesadaran publik. Secara umum, Pengembangan keinsinyuran informatika dalam kebencanaan geo-hidromet berbasis AI dan Data Science sangat berdampak baik, baik dari kode etik dan etika Profesi Insinyur, Profesional dan Keselamatan, Kesehatan dan KEamanan Kerja dan Lingkungan. Pendekatan AI dan Data Science dalam praktik ke insinyuran di masyarakat mendorong penanganan bencana geo-hidrometeorologi di Sumatera Utara memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas mitigasi, respon, dan pemulihan bencana. Analisis data dengan pendekatan AI dan data science membantu dalam pembuatan kebijakan yang lebih tepat sasaran dan efektif dalam mitigasi risiko bencana. Data Science dapat digunakan untuk menganalisis dampak bencana dan membantu dalam perencanaan pemulihan yang efektif. Untuk itu diperlukan ketersediaan data, mengumpulkan data pasca-bencana dapat menjadi sulit, namun sangat penting untuk analisis dampak dan perbaikan model.

**Kata Kunci:** AI, Data Science, Geo-Hidrometeorologi, Bencana.

## **PENDAHULUAN**

Secara umum, Indonesia sering menghadapi berbagai bencana geo-hidrometeorologi karena letak geografisnya yang berada di antara tiga lempeng tektonik besar, serta iklim tropis yang berpengaruh terhadap kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini mendorong perlunya manajemen bencana dalam menanggulangi dan mengurangi risiko dari bencana geo-hidrometeorologi yang terjadi di Indonesia. Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di bagian barat laut Pulau Sumatera, dan merupakan wilayah yang berpotensi terhadap bencana Geo-Hidrometeorologi (Sinambela, 2020c), baik itu yang bersumber dari gempa bumi, banjir, angin kencang, kekeringan akibat perubahan iklim, longsor dan lain lain. Dalam penelitian ini, manajemen bencana sangat diperlukan untuk memberikan informasi seluas luasnya kepada masyarakat terkait dengan mitigasi, kesiapsiagaan, respon darurat, dan pemulihan. Dalam buku yang di tulis oleh (Sinambela, 2020b), mitigasi dan manajemen bencana, Indonesia harus memiliki system peringatan dini bencana geo-hidrometeorologi, belajar dari kejadian gempa bumi, tsunami dan bencana hidrometeorologi di wilayah Indoensia, khususnya di Sumatera Utara, perlu penguatan informasi berbasis AI dan Data Science dalam pengembangan inovasi. Manajemen bencana yang efektif membutuhkan kerjasama antara pemerintah, organisasi non-pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Dengan memanfaatkan teknologi AI dan data science, Indonesia dapat meningkatkan kesiapsiagaan dan respon terhadap bencana, mengurangi risiko dan kerugian, serta memastikan pemulihan yang cepat dan berkelanjutan. Tantangan terbesar dalam era society 5.0 dalam bencana geo-hidrometeorologi adalah seorang profesi insinyur harus mampu beradaptasi dengan teknologi yang berkembang, dan mampu melakukan pengolahan terhadap Ketersediaan dan Kualitas Data yaitu Model prediksi membutuhkan data yang akurat dan terkini. Infrastruktur Teknologi dalam Ketersediaan infrastruktur teknologi yang cukup untuk mengumpulkan, menyimpan, dan memproses data Sumber Daya Manusia terkait Kebutuhan akan tenaga ahli yang terlatih dalam data science dan artificial intelligence (AI). Kolaborasi dan Koordinasi Dalam implementasi teknologi ini, pemerintah, akademisi, dan sektor swasta harus bekerja sama.

Dalam penelitian studi kasus industri bencana geo-hidrometeorologi di Sumatera Utara, perlu dilakukan pendekatan AI dan Data Science sebagai

solusi yang signifikan dalam mitigasi dan penanganan bencana di Sumatera Utara, Indonesia, memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kecepatan respon terhadap berbagai ancaman bencana geo-hidrometeorologi. Pendekatan AI dan Data Science yang dilakukan dalam penelitian ini, terkait kasus kegempaan, trend suhu lokal dan curah hujan di wilayah Sumatera Utara. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi kebencanaan di Sumatera Utara dengan pendekatan AI dan Data Sains untuk memberikan pemahaman terkait bencana geo-hidrometeorologi kepada masyarakat Sumatera Utara, Indonesia yaitu Prediksi dan Peringatan Dini, analisis risiko dan kerentanan, pemantaau, respon real-time, manajemen data dan informasi, dan edukasi dan kesadaran publik. Cakupan Penelitian ini Pemanfaatan Histories Data Meteorologi, Klimatologi, Gempabumi, dan pemanfaatan inovasi kebencanaan dengan model pendekatan AI dan Data Sains.

## **METODOLOGI**

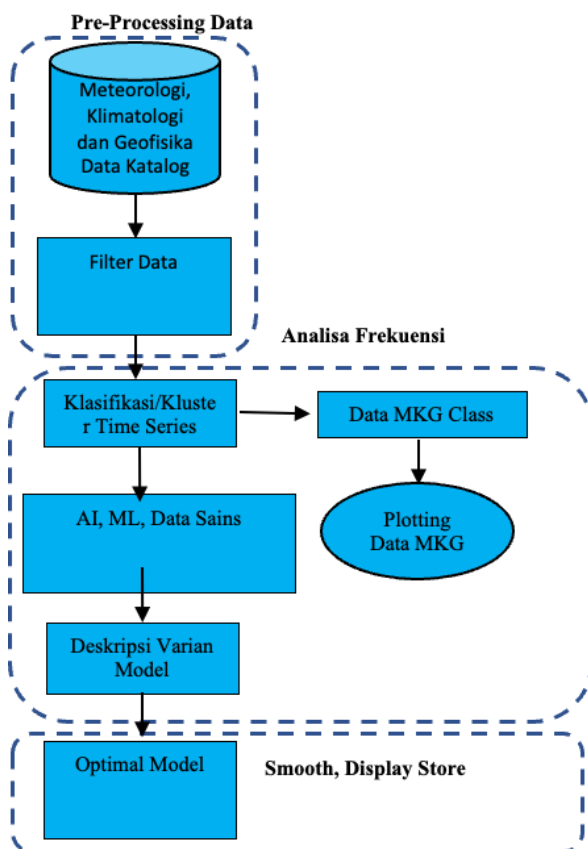
Tantangan di era society 5.0 dalam mitigasi dan manajemen bencana di Indonesia mendorong pentingnya inovasi dan adaptasi terhadap teknologi baru dalam menghadapi bencana geo-hidrometeorologi di Sumatera Utara, Indonesia. Inovasi dan adaptasi dapat dilakukan dengan pendekatan AI dan Data Science dalam memetakan dan identifikasi kejadian bencana di Sumatera Utara. Dalam penelitian ini pembahasan dalam pemetaan (clustering) bencana gempa bumi dilakukan dengan pendekatan AI yang dilakukan dengan menggunakan model pendekatan Machine Learning (ML) yaitu dengan K Means, trends temperature lokal, prediksi curah hujan. Dalam pendekatan penelitian ini, digunakan teori Data Science mencakup berbagai konsep, metodologi, dan prinsip yang mendasari pengumpulan, pengolahan, analisis, dan interpretasi data untuk menghasilkan wawasan yang berharga. Berikut adalah beberapa teori dan konsep kunci dalam Data Science yang relevan untuk penanganan bencana geo-hidrometeorologi, Teori Probabilitas dan Statistika, Teori Pembelajaran Mesin (Machine Learning) (Chen et al., 2023; Finseth, 2018; Guo et al., 2021; Lather et al., 2019; Le Goff et al., 2017; Lecun et al., 2015; Marzuki Sinambela, 2020; Müller & Guido, 2015; Panda, n.d.; Pedregosa et al., 2011; Saybani et al., 2015; Sinambela et al., 2020, 2021; Tarigan et al., 2018; Ula et al., 2018; Zhu et al., 2019), Probabilitas Dasar dengan Konsep probabilitas dasar digunakan untuk memodelkan ketidakpastian

dalam data dan kejadian bencana. Misalnya, probabilitas terjadinya banjir berdasarkan data historis curah hujan. Distribusi Probabilitas dengan Distribusi seperti normal, eksponensial, dan Poisson digunakan untuk memodelkan berbagai fenomena alam. Inferensi Statistik dengan Teknik inferensi statistik, termasuk estimasi parameter dan pengujian hipotesis, digunakan untuk membuat kesimpulan dari sampel data mengenai populasi yang lebih luas. Supervised Learning yaitu Model seperti regresi linier, regresi logistik, decision trees, dan neural networks digunakan untuk memprediksi variabel target berdasarkan fitur input. Misalnya, memprediksi kemungkinan terjadinya longsor berdasarkan curah hujan dan kelembaban tanah. Unsupervised Learning yaitu Teknik seperti clustering dan principal component analysis (PCA) digunakan untuk menemukan pola dan struktur dalam data tanpa variabel target. Misalnya, mengelompokkan wilayah berdasarkan kerentanan terhadap bencana. Reinforcement Learning yaitu Metode ini digunakan untuk membuat keputusan berurutan, seperti optimasi rute evakuasi atau distribusi bantuan selama bencana.

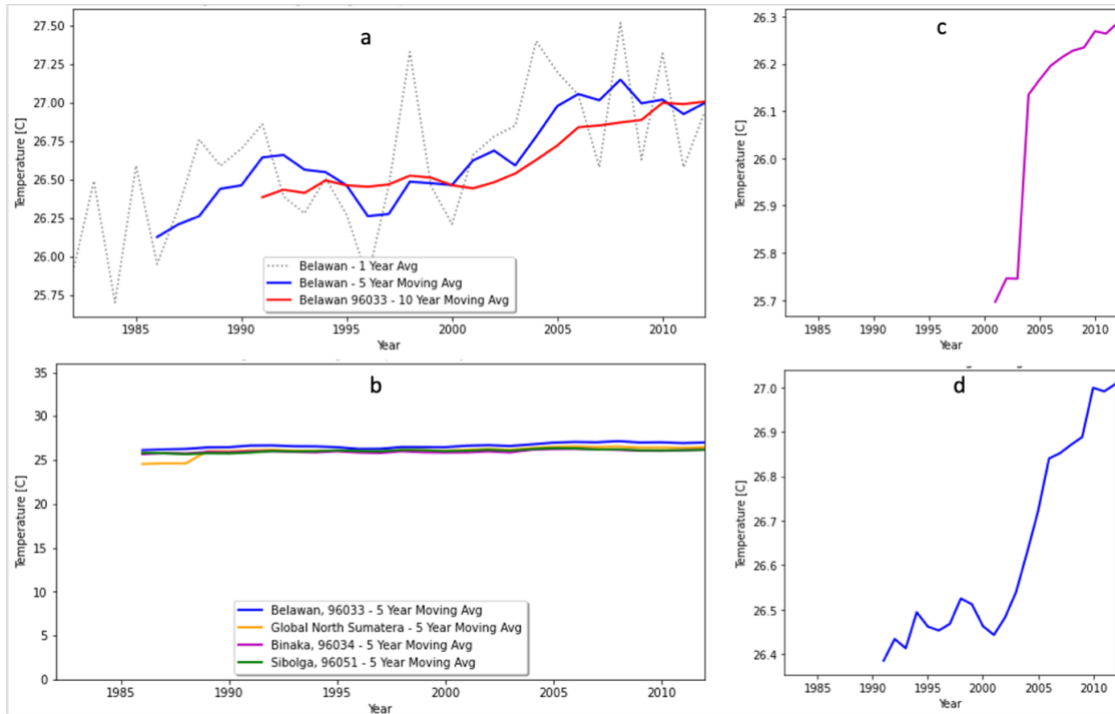
Dalam gambar 1, pendekatan AI dan Data Sains di gambarkan secara umum. Dalam penelitian ini salah satu pendekatan AI dengan menggunakan model Machine Learning, yaitu K-means clustering. K-Means Clustering adalah pembelajaran tanpa pengawasan, yang berarti digunakan ketika kita memiliki data yang tidak berlabel (Ahmad & Irsalinda, 2020). Dimensi berbasis PCA utama dengan varian terbesar (Adelfio et al., 2010). Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana kedua metode yang banyak digunakan ini saling terkait. Ini berarti bahwa reduksi dimensi PCA secara otomatis akan melakukan pengelompokan data sesuai dengan fungsi objektif K-means. Sebuah alasan penting untuk melakukan reduksi data dengan PCA. Kemudian, data deret waktu dari 23 Januari - 31 Mei 2021 diproses dan dihitung menggunakan pendekatan cluster. Langkah terakhir adalah mengoptimasi nilai K dan mengeluarkan plot dari hasil perhitungan kluster seismik Samosir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan suhu global telah menjadi salah satu isu lingkungan dan bencana geo hidrometeorologi yang paling mendesak di era modern. Penelitian menunjukkan bahwa suhu rata-rata global telah meningkat secara signifikan sejak akhir abad ke-19. Dalam bencana hidro meteorologi, Pemanasan global telah membawa dampak yang signifikan di berbagai daerah di seluruh dunia, termasuk di Sumatera Utara, Indonesia. Dampak peningkatan suhu rata-rata tahunan mengakibatkan perubahan pola curah hujan. Perubahan ini dapat menyebabkan periode kekeringan yang lebih panjang serta intensitas hujan yang lebih tinggi dalam waktu singkat, meningkatkan risiko banjir dan tanah longsor. Penelitian trend suhu dalam hal ini menggunakan data suhu di tiga lokasi stasiun atau UPT BMKG di Sumatera Utara, yaitu Stasiun Meteorologi Maritim, Belawan, Stasiun Meteorologi Binaka, Stasiun Meteorologi Sibolga. Tiga lokasi ini terletak di pesisir pantai Timur dan Barat Sumatera Utara.



Gambar 1. Diagram Pendekatan AI dan Data Sains dalam Bencana Geo-Hidrometeorologi

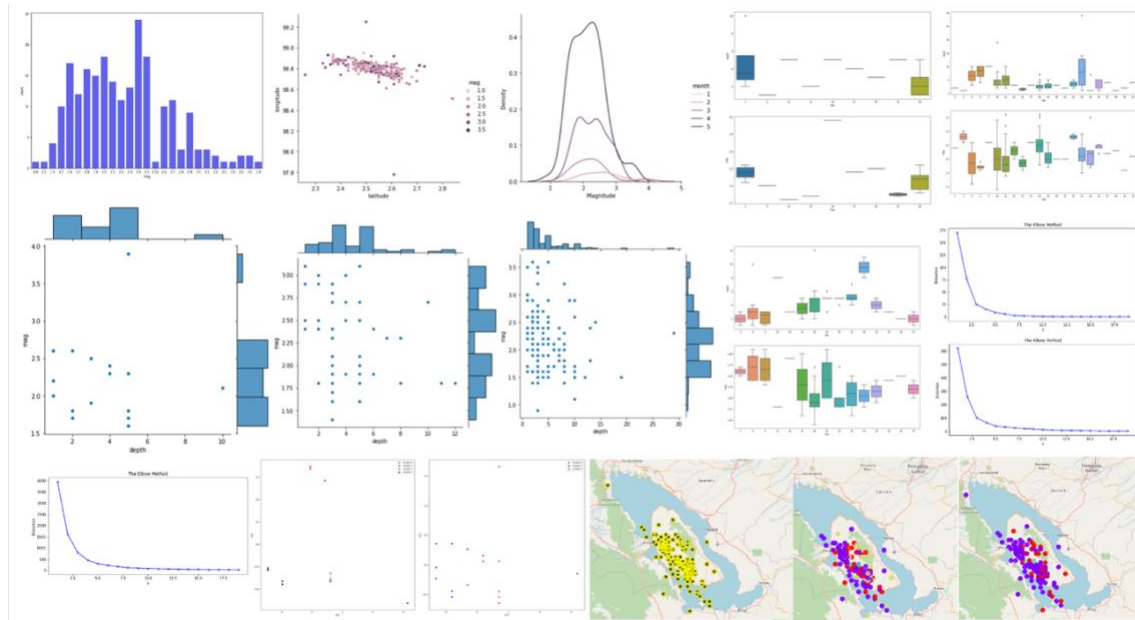


**Gambar 2.** Trend Suhu; a. Perbandingan Rata-rata Bergerak untuk Stasiun Belawan, b. Suhu Rata-rata Berdasarkan Lokasi, c. Suhu Rata-rata Global dalam 10 Tahun, d. Suhu Rata-rata Stasiun Belawan dalam 10 Tahun

Berdasarkan gambar 2, perubahan suhu dalam 10 tahun mengalami peningkatan, hal ini merupakan dampak dari perubahan iklim. Data trend analisa menunjukkan normal suhu di wilayah Sumatera Utara berkisar 250 C – 300 C. Peningkatan suhu di Stasiun Belawan, menggambarkan terjadi kenaikan setiap tahun, yang dapat berdampak pada bencana hidrometeorologi baik banjir Rob dan kekeringan.

Bencana geo-hidrometeorologi lain yang berpotensi di Sumatera Utara adalah gempabumi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, gempabumi di Sumatera Utara semakin tahun semakin meningkat untuk kejadian dengan magnitudo skala kecil, sedang dan besar (Darnila et al., 2021; Sinambela et al., 2021). Pemahaman kegempaan dapat di analisa dan di petakan dengan pendekatan AI yaitu model dalam Machine Learning. Dalam hal ini dampak korban dan rencana pembangunan wilayah di Sumatera Utara dapat dijadikan bahan perencanaan dengan seismisitas, klasifikasi dan kluster gempa bumi yang di petakan. Dalam kasus ini, penelitian dilakukan di wilayah Toba, Sumatera Utara. Danau Toba di Sumatera Utara tidak

hanya merupakan salah satu danau vulkanik terbesar dan terdalam di dunia, tetapi juga telah diakui sebagai bagian dari jaringan Global Geoparks oleh UNESCO. Secara tektonik Danau Toba terletak di dekat zona subduksi Sumatra, di mana Lempeng Indo-Australia bergerak ke bawah Lempeng Eurasia. Interaksi antara kedua lempeng ini menyebabkan aktivitas tektonik yang signifikan di wilayah tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya, (BMKG, 2019; Marzuki Sinambela, 2020; Sinambela, 2020a, 2020c),, tercatat wilayah toba memiliki aktivitas kegempaan yang cukup aktif. Dengan pendekatan model Machine Learning, dalam hal ini dapat diidentifikasi potensi gempabumi dan aktivitas kegempaan di wilayah toba, Cluster dalam penelitian ini terutama terdistribusi di sekitar Samosir dan Sumatra. Sumber-sumbernya memiliki kedalaman yang dangkal. Namun, ukuran rata-ratanya tinggi dan intensitasnya besar. Singkatnya, efek pengelompokan gempa dan magnitudo sangat ideal. Hal ini berimplikasi pada studi hukum seismik dan distribusi gempa.



Gambar 3. Analisa Kluster dan Seismistas dengan Model Pendekatan Machine Learning (K-Means)

Hasil klasifikasi kegempaan darat Samosir pada gambar 4, menunjukkan bahwa dominasi kegempaan darat di Sumatera Utara sangat berbeda menurut distribusi frekuensi ukurannya untuk periode Januari hingga 23 Mei 2021. Gempabumi dangkal yang berasosiasi dengan sesar lokal dan disebabkan oleh intrusi fluida ke dalam zona seismogenik aktivitas sesar lokal mendominasi sebagian besar sumber gempabumi periode 23 Januari hingga 31 Mei 2021. Gempa bumi yang terjadi di Samosir belum dapat diprediksi. Namun, analisis data seismik terus dipelajari. Makalah ini menerapkan dua metode pengelompokan yang umum digunakan, yaitu K-Means dan PCA. Kami membandingkan penggunaan kedua algoritma tersebut dalam studi distribusi gempa bumi. Pemasangan dan visualisasi sabuk seismik akan dipresentasikan. Kemudian, gempa bumi dikelompokkan berdasarkan kedalaman fokus dan magnitudo seismiknya sehingga dapat diklasifikasikan. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan algoritma pengelompokan untuk analisis data seri gempa bumi sangat mungkin dilakukan. Algoritma PCA berbasis densitas jauh lebih unggul daripada algoritma K-means untuk studi kesesuaian sabuk gempa. Saat ini, banyak prediksi gempa bumi yang bergantung pada penambahan data gempa bumi yang ada dan model bangunan. Oleh karena itu, penerapan algoritma pengelompokan pada studi distribusi gempa bumi juga praktis. Pengenalan deret waktu ke dalam studi dapat memperluas studi distribusi seismik dari permukaan yang disimulasikan ke skala spatio-temporal. Pada saat yang sama, visualisasi

spasial-temporal diharapkan dapat berkontribusi pada eksplorasi lebih lanjut. Distribusi seismisitas di bagian selatan Samosir sangat dipengaruhi oleh kepadatan sensor miniatur yang telah dipasang di bagian utara pulau. Hasil dari investigasi sebelumnya memiliki implikasi penting bagi deteksi seismik di Samosir. Aktivitas seismik sekarang dapat diidentifikasi tidak hanya di daerah lokal Sumatera Utara, tetapi juga di Samosir.

Dari hasil penelitian ini, tantangan masyarakat dalam memahami kebencanaan dibidang bencana geo-hidrometeorologi baik itu trend suhu, kegempaan yang sering terjadi di wilayah Sumatera Utara dapat diidentifikasi dan analisis dengan pendekatan AI dan Data Science. Penelitian ini juga menggambarkan profesionalisme insinyur dalam memetakan data data meteorologi, klimatologi dan geofisika untuk mitigasi manajemen bencana dapat di diseminasi ke masyarakat dalam mengurangi risiko bencana dan dampak perencanaan pembangunan dan aktivitas masyarakat Sumatera Utara. Pengembangan dan penerapan K3 di bidang Informatika, terkait studi kasus kebencanaan geo-hidrometeorologi berbasi AI dan Data Science disesuaikan dengan Transformasi industri kebencanaan ke arah digitalisasi. Perkembangan informatika berbasis AI, Big Data, IoT dan Data Science sangat pesat untuk memudahkan informasi khususnya dibidang manajemen kebencanaan Geo-hidrometeorologi baik dalam bentuk social media dll. Pekerjaan insinyur dalam pengolahan komputasi data yang besar di depan komputer dengan komputasi data

geo-hidrometeorologi bisa dilakukan berjam-jam di ruangan dengan Penyejuk Udara dan lampu (yang terkadang) digelapkan.

## KESIMPULAN

Pendekatan AI dan Data Science dalam penanganan bencana geo-hidrometeorologi di Sumatera Utara memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas mitigasi, respon, dan pemulihan bencana. Namun, untuk memaksimalkan manfaatnya, diperlukan upaya kolaboratif untuk mengatasi tantangan yang ada, termasuk peningkatan kualitas data, infrastruktur teknologi, pelatihan model AI, serta koordinasi antarlembaga. Dengan demikian, teknologi ini dapat menjadi alat yang sangat berharga dalam mengurangi dampak bencana dan meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap bencana alam. Konsep Pengembangan insinyur informatika dibidang kebencanaan geo-hidrometeorologi berbasis AI dan Data Science sangat berdampak baik pada kode etik dan etika profesi dalam pengelolaan data, validasi data dalam memetakan, klasifikasi dan kluster data dalam diseminasi bencana geo-hidrometeorologi. Pengembangan teknologi dan inovasi dalam era society 5.0 dalam menghadapi kebencanaan di Sumatera Utara, Indonesia akan memberikan kemudahan dan pemahaman terkait bencana geo-hidrometeorologi dengan pendekatan AI dan Data Science yaitu Prediksi dan Peringatan Dini, analisis risiko dan kerentanan, pemantauan, respon real-time, manajemen data dan informasi, dan edukasi dan kesadaran publik. Beberapa hasil yang dapat diambil dalam penelitian ini;

- Analisis data dengan pendekatan AI dan data science membantu dalam pembuatan kebijakan yang lebih tepat sasaran dan efektif dalam mitigasi risiko bencana.
- AI dapat membantu dalam optimasi alokasi sumber daya dan distribusi bantuan selama dan setelah bencana, untuk itu diperlukan Kecepatan respon dari sistem AI sangat penting, terutama dalam situasi darurat yang memerlukan keputusan cepat.
- Model prediktif membantu dalam merencanakan strategi mitigasi jangka panjang yang lebih komprehensif khususnya dalam potensi kebencanaan di Sumatera Utara, Indonesia.
- Data Science dapat digunakan untuk menganalisis dampak bencana dan membantu dalam perencanaan pemulihan yang efektif. Untuk itu diperlukan ketersediaan data, mengumpulkan data pasca-

bencana dapat menjadi sulit, namun sangat penting untuk analisis dampak dan perbaikan model.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Indonesia (ITI), BMKG, STMKG dan para ilmuwan lainnya yang telah menyediakan katalog data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adelfio, G., Chiodi, M., Alessandro, A. D., & Luzio, D. (2010). *Functional Principal Components direction to cluster earthquake waveforms Some analysis for waveforms data*. 12, 1–3.
- Ahmad, A., & Irsalinda, N. (2020). *Cluster Analysis of Earthquake 's Data Clustering in Indonesia using Fuzzy K-means Clustering*. 3(April), 3–7.
- BMKG. (2019). *Katalog Gempa Bumi Signifikan*.
- Chen, L., Han, B., Wang, X., Zhao, J., Yang, W., & Yang, Z. (2023). Machine Learning Methods in Weather and Climate Applications: A Survey. *Applied Sciences*, 13(21), 12019. <https://doi.org/10.3390/app132112019>
- Darnila, E., Tarigan, K., Sunardi, Nafiri Larosa, F. G., & Sinambela, M. (2021). Cluster analysis and seismicity partitioning for northern sumatera using machine learning approach. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(2), 370–380.
- Finseth, P. (2018). *Evaluating Machine Learning Methods for City Bike Demand Prediction in Oslo Lasse Drevland*. June.
- Guo, G., Cui, X., & Du, B. (2021). Random-forest machine learning approach for high-speed railway track slab deformation identification using track-side vibration monitoring. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11114756>
- Lather, A. S., Malhotra, R., Saloni, P., Singh, P., & Mittal, S. (2019). Prediction of employee performance using machine learning techniques. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3373477.3373696>
- Le Goff, M., Tourneret, J.-Y., Wendt, H., Ortner, M., & Spigai, M. (2017). *Deep Learning for Cloud Detection*. 10 (6 .)-10 (6 .). <https://doi.org/10.1049/CP.2017.0139>
- Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Marzuki Sinambela. (2020). Karakterisasi Ambient Noise dan Klasifikasi Waveforms dengan Pendekatan Machine Learning pada Jaringan Seismik Sumatera Bagian Utara. In <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/29966>.

- Müller, A. C., & Guido, S. (2015). Introduction to Machine Learning with Python and Scikit-Learn. In *O'Reilly Media, Inc.*
- Panda, S. K. (n.d.). Artificial intelligence and machine learning in business management : concepts, challenges, and case studies. *2021*, 258.
- Pedregosa, F., Michel, V., Grisel OLIVIERGRISEL, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Vanderplas, J., Cournapeau, D., Varoquaux, G., Gramfort, A., Thirion, B., Grisel, O., Dubourg, V., Passos, A., Brucher, M., Perrot andÉdouardand, M., Duchesnay, A., & Duchesnay EDOUARDDUCHESNAY, Fré. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python Gaël Varoquaux Bertrand Thirion Vincent Dubourg Alexandre Passos PEDREGOSA, VAROQUAUX, GRAMFORT ET AL. Matthieu Perrot. *Journal of Machine Learning Research*, *12*, 2825–2830.
- Saybani, M. R., Shamshirband, S., Golzari Hormozi, S., Wah, T. Y., Aghabozorgi, S., Pourhoseingholi, M. A., & Olariu, T. (2015). Diagnosing Tuberculosis With a Novel Support Vector Machine-Based Artificial Immune Recognition System. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, *17*(4).  
[https://doi.org/10.5812/ircmj.17\(4\)2015.24557](https://doi.org/10.5812/ircmj.17(4)2015.24557)
- Sinambela, M. (2020a). Mengenal Sekolah Lapang Gempa: BMKG Sumatera Utara. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Sinambela, M. (2020b). Mitigasi Dan Manajemen Bencana. In *Angewandte Chemie International Edition*, *6*(11), 951–952.
- Sinambela, M. (2020c). Wajah Tektonik Sumatera Bagian Utara. In *Yayasan Kita Menulis*.
- Sinambela, M., Situmorang, M., Tarigan, K., Humaidi, S., & Sirait, M. (2021). Waveforms Classification of Northern Sumatera Earthquakes for New Mini Region Stations Using Support Vector Machine. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *11*(2), 489–494.  
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.2.12503>
- Sinambela, M., Tarigan, K., Humaidi, S., & Situmorang, M. (2020). Wavelet based machine learning approach for spectral seismic signal analysis: A case study North Tapanuli earthquake. *AIP Conference Proceedings*, *2221*(April 2016).  
<https://doi.org/10.1063/5.0003129>
- Tarigan, K., Sinambela, M., Panjaitan, M., Simangunsong, P., & Siburian, H. K. (2018). Machine Learning for Waveform Spectral Analysis on Nuclear Explosion Signal and Performance of Broadband Vertical Component. *Journal of Physics: Conference Series*, *1120*(1).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012083>
- Ula, M., Darnila, E., Siagian, P., Siagian, L., Peristiwanto, & Sinambela, M. (2018). Machine learning on waveform spectral analysis of nuclear explosion from broadband seismic station in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *420*, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012047>
- Zhu, L., Zhang, W., Kou, J., & Liu, Y. (2019). Machine learning methods for turbulence modeling in subsonic flows around airfoils. *Physics of Fluids*, *31*(1).  
<https://doi.org/10.1063/1.5061693>