



Bencana *natural hazard-triggered technological accidents* pada kota industri rawan bencana

ANDRO RAMADA^{1*}

¹ Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia; Jakarta Pusat, Jakarta, 10430, Indonesia

*Korespondensi: andro.ramada@gmail.com

Diterima: 24 Desember 2023

Direvisi akhir: 5 Februari 2024

Disetujui: 21 Februari 2024

ABSTRAK

Latar Belakang: Bencana *natural hazard-triggered technological accidents* (*natech*), yang terbentuk dari interseksi antara bencana alam yang menyebabkan kecelakaan teknologi, telah menjadi sorotan terkait pengelolaan bencana dan mitigasi risikonya. Pemahaman yang mendalam tentang strategi dan praktik manajemen risiko *natech* menjadi sangat penting. Penelitian ini menggali dan mensintesis temuan dari literatur *eksisting* dengan fokus khusus pada dua studi kasus: satu dari Jepang dan satu lagi dari Indonesia, untuk mengidentifikasi praktik terbaik, tantangan, dan rekomendasi untuk peningkatan strategi manajemen risiko *natech*. **Metode:** Melalui metode *systematic literature review* (SLR), penelitian ini mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber literatur, termasuk artikel jurnal, laporan pemerintah, dan dokumentasi terkait bencana *natech*. **Temuan:** Analisis ini menghasilkan temuan berharga mengenai faktor-faktor kunci yang mempengaruhi efektivitas respons dan mitigasi bencana *natech*, seperti perencanaan dan koordinasi yang efektif, keterlibatan komunitas, dan penerapan teknologi dan inovasi terkini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi manajemen risiko yang efektif memerlukan pendekatan yang terintegrasi yang menggabungkan aspek teknis, organisasional, dan sosial. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya adaptasi dan fleksibilitas dalam strategi dan praktik manajemen risiko untuk mengatasi kompleksitas dan ketidakpastian yang terkait dengan bencana *natech*. **Kesimpulan:** Berdasarkan sintesis literatur, penelitian ini juga menyajikan rekomendasi konkret untuk peningkatan kebijakan, praktik, dan penelitian lebih lanjut dalam bidang manajemen risiko *natech*.

KATA KUNCI: *natech*; manajemen risiko bencana; mitigasi bencana; strategi manajemen risiko; *systematic literature review*.

ABSTRACT

Background: *Natural hazard-triggered technological accidents* (*natech*), formed from the intersection of natural disasters causing technological accidents, have garnered attention regarding disaster management and risk mitigation. A profound understanding of *natech* risk management strategies and practices becomes highly significant. This research explores and synthesizes findings from existing literature, with a specific focus on two case studies: one from Japan and another from Indonesia, to identify best practices, challenges, and recommendations for enhancing *natech* risk management strategies. **Methods:** Through the systematic literature review (SLR) method, this research identifies, evaluates, and integrates findings from various literature sources, including journal articles, government reports, and *natech* disaster-related documentation. **Finding:** This analysis yields valuable insights into key factors influencing the effectiveness of *natech* disaster response and mitigation, such as effective planning and coordination, community involvement, and the application of current technology and innovation. The research results indicate that effective risk management strategies require an integrated approach that combines technical, organizational, and social aspects. Additionally, the research also highlights the importance of adaptation and flexibility in risk management strategies and practices to address the complexity and uncertainty associated with *natech* disasters. **Conclusion:** Based on the literature synthesis, this research also presents concrete recommendations for enhancing policies, practices, and further research in the field of *natech* risk management.

Cara Pengutipan:

Ramada, A. (2024). Bencana *natural hazard-triggered technological accidents* pada kota industri rawan bencana. *JDMCR: Journal of Disaster Management and Community Resilience*, 1(1), 36-46. <https://doi.org/10.61511/jdmcr.v1i1.883>.

Copyright: © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



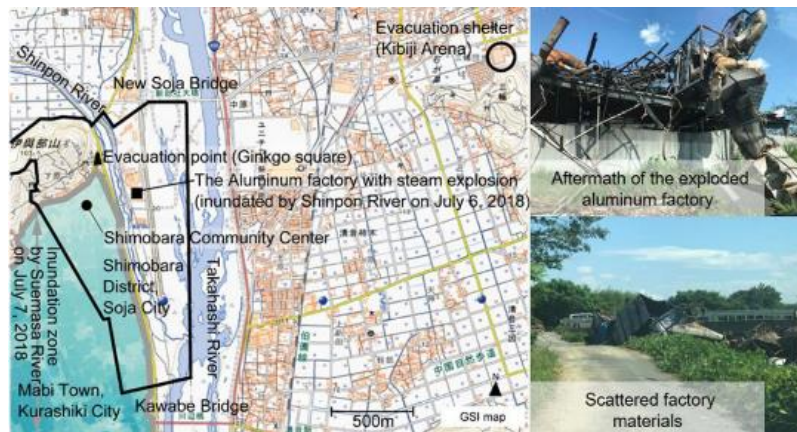
KEYWORDS: *natech; disaster risk management; disaster mitigation; risk management strategies; systematic literature review.*

1. Pendahuluan

Bencana *natech*, kombinasi antara bencana alam dan kecelakaan teknologi, telah menjadi fokus penelitian intensif dalam beberapa dekade terakhir (Cruz & Krausmann, 2009). Bencana ini menimbulkan tantangan unik dalam manajemen risiko dan respons bencana, mengharuskan adanya strategi khusus untuk mitigasi dan adaptasi. Dua kasus *natech* yang terjadi di Jepang dan Indonesia telah menjadi titik tolak penting dalam literatur, yang masing-masing menyoroti aspek-aspek kritis dari manajemen bencana *Natech* (Araki dkk., 2021). Studi kasus dari Jepang menekankan pentingnya pengalaman bencana sebelumnya dan peran organisasi pencegahan bencana komunitas dalam pengambilan keputusan evakuasi (Ohtsu dkk., 2023). Ini mencerminkan pentingnya pembelajaran dari pengalaman bencana dan adaptasi strategi manajemen bencana berdasarkan pembelajaran tersebut. Di sisi lain, kasus *Natech* di Indonesia menyoroti tantangan dalam kolaborasi dan komunikasi antar pemangku kepentingan, yang mencakup pemerintah, industri, dan komunitas (Lestari dkk., 2023). Hal ini menunjukkan kompleksitas dalam manajemen bencana *natech* dan pentingnya koordinasi dan komunikasi yang efektif antara berbagai entitas yang terlibat. Metode tinjauan literatur sistematis atau *systematic literature review* (*SLR*) digunakan dalam penelitian ini untuk mengkaji dan mensintesis pengetahuan yang ada mengenai kolaborasi pemangku kepentingan dalam bencana *natech*. *SLR* memungkinkan untuk pengumpulan dan analisis data yang objektif dan komprehensif dari berbagai sumber literatur, yang mencakup jurnal ilmiah, konferensi, dan laporan pemerintah (Kitchenham dkk., 2009).

Penelitian ini berlangsung pada dua wilayah, yaitu Kota Shinombara, Prefektur Okayama, Jepang dan Kota Cilegon, Provinsi Banten, Indonesia. Kota Shinombara berada di perbatasan pegunungan dan Sungai Takahashi yang lebarnya 500 m. Kota Mabi adalah satu-satunya distrik dengan kawasan permukiman di sebelah Distrik Shimobara. Pusat Komunitas Shimobara dikelilingi oleh kawasan permukiman, yang banyak di antaranya berada di kawasan genangan. Pabrik aluminium tempat terjadinya ledakan berjarak sekitar 300 m sebelah timur Pusat Komunitas Shimobara. Distrik Shimobara mengalami dua kali genangan. Genangan Sungai Shinpon menyebabkan ledakan uap di pabrik aluminium pada pukul 23.35 pada 6 Juli. Banjir tidak berdampak terhadap kawasan permukiman, tetapi ledakan yang diakibatkannya memicu kebakaran di empat lokasi dan melukai warga. Kota Cilegon sendiri berada 65 km dari Gunung anak Krakatau yang meletus pada malam Sabtu, 22 Desember 2018 dan tsunami yang terjadi dikaitkan dengan letusan tersebut. Studi yang dilakukan oleh Takabatake (2019) adalah penelitian yang terfokus pada daerah yang terendam parah akibat tsunami. Selain daerah yang terendam banjir besar, penelitian yang dilakukan menjelaskan fakta bahwa gelombang tsunami mencapai salah satu kawasan industri kimia dan baja terbesar. Cilegon terletak di tepi barat Pulau Jawa dan dikenal sebagai salah satu kawasan industri berat paling terkenal dan signifikan di Indonesia (Lestari dkk., 2021). Di Cilegon, tinggi tsunami kurang lebih 30 cm dan gelombang tersebut tidak menyebabkan kejadian *natech*. Menurut pemberitaan media, beberapa fasilitas perusahaan kimia skala besar (PT Chandra Asri) dilanda gelombang, tetapi dampaknya kecil. Artikel-artikel media daring (misalnya, *Selatsunda.com*, *Detik Finance*, dan *Bantennews*) melaporkan bahwa pabrik-pabrik bersiap untuk ditutup secara otomatis jika terjadi keadaan darurat. Namun, *Kompas*—media terbesar di Indonesia—mengindikasikan adanya penyebaran informasi

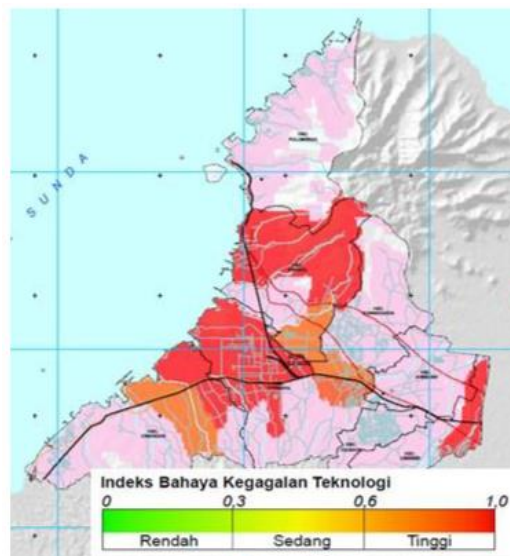
yang tidak akurat, dan terjadi kebingungan besar. Selanjutnya, lihat Gambar 1, 2, dan 3 berikut.



Gambar 1. Peta GSI dan zona ledakan pabrik yang dipacu oleh bencana



Gambar 2. Peta Kota Cilegon terhadap Gunung Krakatau



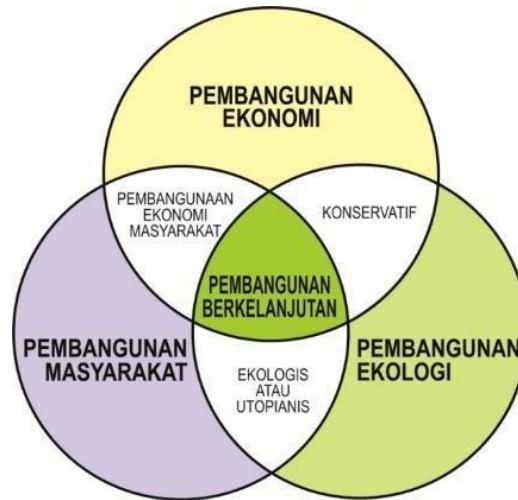
Gambar 3. Hazard indeks pabrik Kota Cilegon (BNPB, 2016)

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangunan berkelanjutan

Bencana *natech* merupakan fenomena bencana teknologi yang dipicu oleh bencana alam. Keberlanjutan dalam konteks manajemen risiko bencana *natech* mencakup serangkaian strategi dan praktik yang dirancang untuk meminimalkan dampak negatif

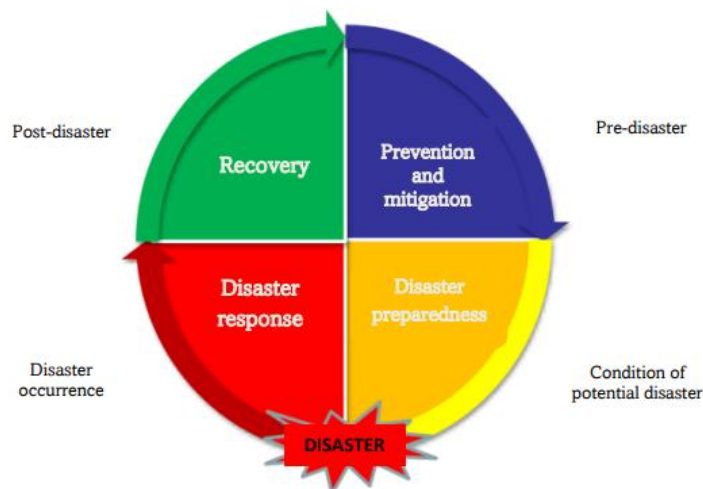
bencana *natech* terhadap manusia, lingkungan, dan ekonomi sambil mempromosikan ketahanan dan pemulihan yang cepat dan efektif (Gill & Ritchie, 2023). Prinsip keberlanjutan terdapat irisan dari ketiga dimensi seperti Gambar 4 berikut.



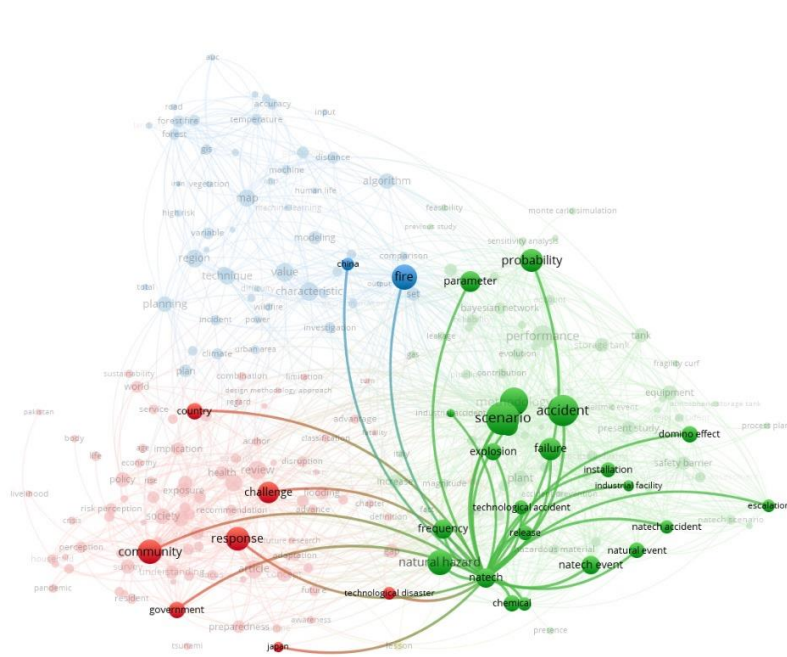
Gambar 4. Tiga pilar pembangunan berkelanjutan (Winarno, 2013)

2.2 Manajemen bencana

Manajemen bencana adalah suatu pendekatan terorganisir untuk mengatasi bencana, baik alam maupun manusia, dengan cara yang efisien dan efektif. Manajemen bencana melibatkan serangkaian aktivitas yang terorganisir dalam siklus manajemen bencana, yang terdiri dari empat fase utama. Yang pertama adalah mitigasi, yaitu melibatkan upaya untuk mengurangi risiko dan kerentanan terhadap bencana melalui berbagai strategi dan tindakan, seperti pembangunan infrastruktur yang tahan bencana dan perencanaan tata ruang yang baik (Krausmann & Necci, 2021). Berikutnya, kesiapsiagaan mencakup aktivitas yang meningkatkan kesiapan individu dan komunitas dalam menghadapi bencana, seperti pelatihan, simulasi, dan pengembangan rencana evakuasi (Alexander, 2021). Respons melibatkan tindakan-tindakan yang diambil selama dan segera setelah bencana untuk mengurangi dampak dan memfasilitasi pemulihan, seperti operasi pencarian dan penyelamatan, dan distribusi bantuan (Leveson, 2011). Pemulihan melibatkan upaya untuk mengembalikan kondisi normal dan membangun kembali komunitas pasca-bencana, termasuk rekonstruksi fisik dan pemulihan ekonomi (Silva dkk., 2022). Adapun siklus manajemen bencana dapat dilihat Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Siklus manajemen bencana (BNPB 2020)



Gambar 7. Hubungan antarkata kunci bibliometrik

Berdasarkan *screening* dengan bantuan Vos Viewer, ditemukan adanya empat kluster utama. Analisis dan sintesis data dilakukan untuk mengidentifikasi tema-tema utama, temuan, dan tren dalam literatur. Proses ini melibatkan evaluasi kritis terhadap kualitas dan relevansi literatur, serta identifikasi area-area yang memerlukan penelitian lebih lanjut (Boell dkk., 2015).

4. Hasil dan Pembahasan

Dari literatur, terlihat bahwa pengalaman bencana sebelumnya memiliki peran penting dalam membentuk respons dan strategi manajemen bencana (Araki dkk., 2021). Pengalaman ini tidak hanya penting untuk individu dan komunitas, tetapi juga untuk organisasi dan institusi yang terlibat dalam manajemen bencana. Pengalaman bencana sebelumnya dapat menjadi sumber pembelajaran yang berharga, yang dapat digunakan untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan resiliensi terhadap bencana pada masa depan (Alexander, 2021). Organisasi pencegahan bencana komunitas memiliki peran yang sangat penting dalam manajemen bencana *natech*. Organisasi ini sering kali menjadi ujung tombak dalam respons bencana dan memiliki pengetahuan lokal yang dapat sangat berguna dalam manajemen bencana (Iwata dkk., 2020). Kolaborasi dengan organisasi ini dapat meningkatkan efektivitas respons bencana dan membantu dalam pengembangan strategi manajemen bencana yang lebih adaptif dan resilien (Binder dkk., 2020). Kolaborasi dan komunikasi antarpemangku kepentingan teridentifikasi sebagai aspek kritis dalam manajemen bencana *natech*. Efektivitas respons bencana dan strategi manajemen bencana sangat bergantung pada kualitas kolaborasi dan komunikasi antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, industri, dan komunitas (Lestari et al., 2023). Komunikasi yang efektif dapat memfasilitasi koordinasi dan kolaborasi yang lebih baik, yang penting untuk respons bencana yang cepat dan efisien (Suarez-Paba & Cruz, 2022). Literatur juga menyoroti berbagai tantangan dalam manajemen bencana *natech*. Salah satu tantangan utama adalah kompleksitas dan ketidakpastian yang terkait dengan bencana *natech*. Bencana ini melibatkan interaksi antara bencana alam dan sistem teknologi, yang dapat menimbulkan risiko dan dampak yang sulit diprediksi (Krausmann & Necci, 2021). Selain itu, ada juga tantangan dalam koordinasi dan komunikasi antar pemangku

kepentingan, serta dalam pengembangan dan implementasi strategi manajemen bencana yang efektif (Olivar dkk., 2020). Berdasarkan analisis literatur, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk meningkatkan kolaborasi pemangku kepentingan dalam manajemen bencana *natech*. Pertama, penting untuk meningkatkan mekanisme komunikasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan. Hal ini dapat mencakup pengembangan platform atau forum untuk berbagi informasi dan koordinasi aktivitas (Proctor dkk., 2020). Kedua, pembelajaran dari pengalaman bencana sebelumnya harus difasilitasi dan didorong. Hal ini dapat mencakup dokumentasi dan analisis sistematis dari pengalaman bencana dan pembelajaran dari pengalaman tersebut (Nishino & Takagi, 2020). Adapun beberapa perbedaan dalam penanganan bencana *natech* di Jepang dan Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan penanganan bencana *natech* antara Jepang dan Indonesia

	Jepang	Indonesia
Kesiapan dan respons terhadap bencana	Jepang memiliki sistem respons bencana yang lebih matang dan terorganisir dengan baik. Mereka memiliki protokol dan infrastruktur yang telah mapan untuk menghadapi bencana <i>natech</i> , seperti yang terlihat dalam penanganan bencana banjir dan kebakaran yang dipicu oleh banjir (Araki dkk., 2021)	Indonesia masih dalam proses pengembangan dan peningkatan kapasitas dalam manajemen risiko <i>natech</i> . Misalnya, dalam studi kasus Cilegon, Indonesia, terdapat kompleksitas dalam penanganan risiko <i>natech</i> yang mencakup aspek sosial, teknis, dan tata kelola (Lestari dkk., 2021).
Penelitian dan pengembangan (R & D)	Terdapat banyak penelitian dan analisis mendalam mengenai bencana <i>natech</i> , yang mencerminkan tingkat kesadaran dan pemahaman yang tinggi terhadap risiko dan dampak <i>natech</i> .	Masih ada kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan kapasitas dalam aspek-aspek tertentu dari manajemen risiko <i>natech</i> .
Keterlibatan komunitas	Ada fokus yang kuat pada keterlibatan komunitas dan pemangku kepentingan lainnya dalam manajemen risiko <i>natech</i> , seperti yang terlihat dalam studi kasus yang melibatkan banjir dan kebakaran (Araki dkk., 2021)	Menunjukkan pentingnya keterlibatan komunitas, tetapi mungkin belum seoptimal dan seintensif seperti yang terlihat dalam praktik-praktik di Jepang
Regulasi dan kebijakan	Kebijakan dan regulasi terkait <i>natech</i> tampaknya lebih mapan dan terintegrasi dalam sistem manajemen bencana secara keseluruhan.	Ada ruang untuk peningkatan dalam pengembangan dan implementasi kebijakan dan regulasi yang lebih komprehensif dan efektif terkait <i>natech</i> .
Analisis risiko dan evaluasi	Pendekatan analisis risiko dan evaluasi dalam manajemen <i>natech</i> tampaknya lebih sistematis dan komprehensif.	Mungkin masih ada kebutuhan untuk pendekatan yang lebih sistematis dan terstruktur dalam analisis risiko dan evaluasi terkait <i>natech</i> .

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah menggali dan menganalisis berbagai aspek penting dalam manajemen risiko dan mitigasi bencana *natech* melalui SLR. Berdasarkan analisis literatur yang ada, beberapa kesimpulan kunci dapat diambil untuk meningkatkan strategi dan praktik dalam manajemen bencana *natech*. Pertama, kolaborasi antarpemangku kepentingan adalah elemen kunci dalam manajemen bencana *natech* yang efektif. Kolaborasi ini mencakup berbagai entitas seperti pemerintah, industri, komunitas, dan organisasi penelitian. Melalui kolaborasi yang lebih erat, berbagai pemangku kepentingan dapat berbagi pengetahuan, sumber daya, dan pengalaman untuk mengembangkan dan menerapkan strategi mitigasi dan respons bencana yang lebih efektif (Olivar dkk., 2020; Suarez-Paba & Cruz, 2022). Kedua, pengalaman dan pembelajaran dari bencana sebelumnya adalah sumber yang sangat berharga. Mereka menyediakan pelajaran praktis dan insight yang dapat digunakan untuk meningkatkan kesiapsiagaan, perencanaan, dan respons terhadap bencana *natech* pada masa depan. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mendokumentasikan, menganalisis, dan menyebarkan pembelajaran dari bencana sebelumnya secara sistematis (Araki dkk., 2021). Ketiga, komunikasi efektif adalah aspek penting lainnya dalam manajemen bencana *natech*. Komunikasi yang baik antarpemangku kepentingan, serta dengan publik adalah esensial untuk koordinasi, pengambilan keputusan, dan tindakan yang efektif selama semua fase manajemen bencana (Lestari dkk., 2021). Keempat, ada kebutuhan untuk penelitian dan inovasi berkelanjutan dalam manajemen bencana *natech*. Penelitian ini harus berfokus pada mengidentifikasi dan mengatasi tantangan dan ketidakpastian yang terkait dengan bencana *natech*, serta mengembangkan solusi dan teknologi baru untuk mitigasi dan respons bencana (Krausmann & Necci, 2021). Kelima, penelitian ini juga menekankan pentingnya pendekatan yang adaptif dan fleksibel dalam manajemen bencana *natech*. Mengingat kompleksitas dan dinamika bencana *natech*, strategi dan praktik manajemen bencana harus dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi, risiko, dan kebutuhan (Nishino & Takagi, 2020). Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman dan peningkatan praktik manajemen bencana *natech* dengan memberikan wawasan dan rekomendasi berdasarkan analisis literatur yang komprehensif. Melalui penelitian ini, kita dapat lebih memahami dan mengatasi tantangan yang dihadapi oleh berbagai pemangku kepentingan dalam mengelola risiko dan dampak dari bencana *natech*.

Kontribusi Penulis

Penulis berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menggunakan pendanaan eksternal.

Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

Pernyataan *Informed Consent*

Tidak berlaku.

Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun. selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Daftar Pustaka

- Akbar, M., Bhat, M. S., & Khan, A. A. (2023). Multi-hazard susceptibility mapping for disaster risk reduction in Kargil-Ladakh Region of Trans-Himalayan India. *Environmental Earth Sciences*, 82(2). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10729-7>.
- Alexander, D. (2021). Cascading disasters: Multiple risk reduction and resilience. In *Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience: New Frameworks for Building Resilience to Disasters*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61278-8_8.
- Araki, Y., Hokugo, A., Pinheiro, A. T. K., Ohtsu, N., & Cruz, A. M. (2021). Explosion at an aluminum factory caused by the July 2018 Japan floods: Investigation of damages and evacuation activities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104352>.
- Binder, S. B., Ritchie, L. A., Bender, R., Thiel, A., Baker, C. K., Badillo, E., Goodfellow, S., Kulp, B., & Weir, P. (2020). Limbo: the unintended consequences of home buyout programmes on peripheral communities. *Environmental Hazards*, 19(5), 488–507. <https://doi.org/10.1080/17477891.2020.1714537>.
- Boell, S. K., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). On being 'Systematic' in Literature Reviews in IS. *Journal of Information Technology*, 30(2), 161–173. <https://doi.org/10.1057/jit.2014.26>.
- Cruz, A. M. & Krausmann, E., 2009. Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(1), 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.08.007>.
- Gill, D. A., & Ritchie, L. A. (2023). Energy development and sociocultural inequality among First Nation Peoples. In *Handbook on Inequality and the Environment*.
- Iwata, M., Kamura, Y., Honoki, H., Kobayashi, K., Ishiki, M., Yagi, K., Fukushima, Y., Takano, A., Kato, H., Murakami, S., Higuchi, K., Kobashi, C., Fukuda, K., Koshimizu, Y., & Tobe, K. (2020). Family history of diabetes in both parents is strongly associated with impaired residual β -cell function in Japanese type 2 diabetes patients. *Journal of Diabetes Investigation*, 11(3), 564–572. <https://doi.org/10.1111/jdi.13176>.
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>.
- Krausmann, E. & Necci, A. (2021). Thinking the unthinkable: A perspective on Natech risks and Black Swans. *Safety Science*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105255>.
- Lestari, F., Jibiki, Y., Pelupessy, D., Imamura, F., Zulys, A., Kadir, A., & Paramitasari, D. (2021).

- Exploratory study for strengthening education sectors for responding to complexities due to NATECH (natural-hazard triggered technological disasters) disasters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 630(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/630/1/012022>.
- Lestari, F., Setyowati, D. L., Muzanni, A., Kadir, A., Zainal, I., Adolf Liku, J. E., Zulfikar, A. K., Sari, I. P., Mulya, W., Yuliana, L., Pradipta, E., & Cruz, A. M. (2023). Industrial and Environmental Disaster Risk Assessment for Hazardous Materials in Balikpapan City, East Kalimantan, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/su15129430>.
- Leveson, N. G. (2011). Applying systems thinking to analyze and learn from events. *Safety Science*, 49(1), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.021>.
- Nakhal Akel, A. J., Hovstad, J. S., Ruth, M. S., Parmeggiani, S., Patriarca, R., & Paltrinieri, N. (2022). A Machine Learning Approach to Analyze Natural Hazards Accidents Scenarios. *Chemical Engineering Transactions*, 91, 397–402. <https://doi.org/10.3303/CET2291067>.
- Nishino, T., & Takagi, Y. (2020). Numerical analysis of tsunami-triggered oil spill fires from petrochemical industrial complexes in Osaka Bay, Japan, for thermal radiation hazard assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101352>.
- Ohtsu, N., Hokugo, A., Cruz, A. M., Sato, Y., Araki, Y., & Park, H. (2023). Evacuation of vulnerable people during a Natech: a case study of a flood and factory explosion in Japan. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 14(1), 53–67. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-04-2021-0043>.
- Olivar, O. J. R., Mayorga, S. Z., Giraldo, F. M., Sánchez-Silva, M., Pinelli, J.-P., & Salzano, E. (2020). The effects of extreme winds on atmospheric storage tanks. *Reliability Engineering and System Safety*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106686>.
- Proctor, C. R., Lee, J., Yu, D., Shah, A. D., & Whelton, A. J. (2020). Wildfire caused widespread drinking water distribution network contamination. *AWWA Water Science*, 2(4). <https://doi.org/10.1002/aws2.1183>.
- Silva, K., Janta, P., & Chollacoop, N. (2022). Points of consideration on climate adaptation of solar power plants in thailand: How climate change affects site selection, construction and operation. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010171>.
- Suarez-Paba, M. C., & Cruz, A. M. (2022). A paradigm shift in Natech risk management: Development of a rating system framework for evaluating the performance of industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104615>.
- Takabatake, T., Shibayama, T., Esteban, M., Achiari, H., Nurisman, N., Gelfi, M., ... Kyaw, T. O. (2019). Field survey and evacuation behaviour during the 2018 Sunda Strait tsunami. *Coastal Engineering Journal*, 61(4), 423–443. <https://doi.org/10.1080/21664250.2019.1647963>.

Biografi Pengarang

ANDRO RAMADA, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: andro.ramada@gmail.com
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -