

ANALISIS KONSEKUENSI LEDAKAN DAN KEBOCORAN PADA TANGKI BERISI METANOL MENGGUNAKAN PEMODELAN SOFTWARE ALOHA PADA PT KRN

Anis Rohmana Malik ¹⁾, Andre Saputra Pata'dungan ²⁾

^{1,2)} Prodi Rekayasa Keselamatan, Fakultas Rekayasa dan Teknologi Industri, Institut Teknologi Kalimantan
Email: anisrohmanamalik@gmail.com

Abstrak. Industri kelapa sawit merupakan sektor strategis di Indonesia dengan peningkatan produksi dan konsumsi minyak goreng yang signifikan. Peningkatan kapasitas produksi diikuti oleh meningkatnya kompleksitas proses, termasuk penggunaan metanol pada produksi biodiesel. Metanol disimpan dalam tangki skala besar yang berpotensi menimbulkan risiko kebocoran, kebakaran, dan ledakan yang membahayakan pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi *threat zone* akibat kegagalan tangki penyimpanan metanol di PT KRN serta menyusun rekomendasi mitigasi untuk mendukung perencanaan tanggap darurat. Metode yang digunakan adalah pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak ALOHA berdasarkan data spesifikasi tangki, jumlah metanol, dan kondisi lingkungan, dengan mensimulasikan skenario kebocoran, kebakaran genangan, dan BLEVE. Hasil menunjukkan sebaran awan uap beracun hingga radius 1 km, radiasi panas kebakaran mencapai 56 m, dan dampak BLEVE hingga 2,25 km. Pemodelan ini efektif sebagai dasar pemetaan zona bahaya dan penyempurnaan *Emergency Response Plan*.

Kata Kunci: ALOHA, Ledakan, Metanol, Tangki Penyimpanan, *Threat Zone*

PENDAHULUAN

Pada tahun 2023, Badan Pangan Indonesia (Bapanas) mencatat bahwa rata - rata konsumsi minyak goreng per kapita di Indonesia mencapai 9,56 Kg/Tahun, dimana ada peningkatan sebesar 0,9% dari tahun 2022, diketahui bahwa total kebutuhan terhadap minyak goreng pada rumah tangga nasional mencapai 2,66 juta ton/tahun meningkat 2% (*year over year*). Menurut (Sulaiman et al., 2024), terdapat peningkatan signifikan pada produksi minyak kelapa sawit. Pada tahun 1980 produksi minyak sawit berjumlah 0,72 ton menjadi sekitar 7 juta ton di tahun 2000, dan meningkat menjadi 49 juta ton pada tahun 2020. Pada beberapa negara di kawasan Asia selatan seperti India, Pakistan, Bangladesh dan sebagian negara Afrika dan Asia, minyak sawit dijadikan sumber utama minyak nabati (PAPSI Monitor, 2021).

Pabrik pengolahan minyak kelapa sawit merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian negara Indonesia, tak hanya di Indonesia, minyak sawit juga masuk dalam jajaran empat besar sumber minyak nabati dunia. Dengan bertambahnya penduduk maka keperluan bahan makanan berupa minyak goreng pastinya meningkatkan kapasitas produksi yang berujung pada risiko dari operasional dan kompleksitas proses produksi dalam pabrik ini juga mengalami peningkatan

yang signifikan. Indonesia menjadi produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia (PAPSI-Monitor, 2021), dengan perkebunan yang tersebar di berbagai daerah seperti Riau, Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Sumatera Utara dan Sumatera selatan yang memiliki luas perkebunan kelapa sawit lebih dari 1.200 Hektar (BPS, 2025).

Pengolahan minyak kelapa sawit dimulai dari proses budidaya kelapa sawit yang akan menghasilkan *Fresh Fruit Bunch* (FFB), setelah itu diproses untuk menghasilkan 2 bagian utama yaitu *Crude Palm Oil* (CPO) dimana berasal dari 1 daging sawit dan *palm kernel* berasal dari biji sawit. *Palm kernel* selanjutnya masuk ke *kernel crushing plant* guna dihancurkan, diperas dan menghasilkan *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) sebagai minyak mentah serta *Palm Kernel Expeller* (PKE) yang akan diolah menjadi bahan pangan ternak. Minyak mentah berupa CPO dan CPKO selanjutnya masuk ke tahap penyulingan (*refinery*) dimana terdapat proses *degumming* dan *bleaching*, yaitu proses penghilangan getah dan pemutihan menggunakan bahan kimia berupa asam fosfat dan *bleaching earth*, lalu minyak masuk ke tahap *deodorizing* dimana minyak dipanaskan pada suhu 255 – 265°C untuk menetralkan aroma tidak sedap, hasil dari proses ini adalah *Refined Bleached Deodorized*

Palm Oil (RBDPO) dan *Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil* (RBDPKO), selain itu juga menghasilkan produk tambahan berupa *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) dan *Palm Kernel Fatty Acid Distillate* (PKFAD) (BPDP, 2025).

Minyak yang telah dimurnikan ini kemudian dapat melalui tahap fraksinasi, yaitu proses pemisahan berdasarkan titik leleh dengan metode pendinginan dan penyaringan. Proses ini menghasilkan fraksi cair (*olein*) dan fraksi padat (*stearin*) yang digunakan untuk berbagai keperluan, seperti minyak goreng, margarin, dan produk industri lainnya. Selain itu, sebagian minyak dimurnikan juga digunakan dalam produksi biodiesel. Dalam tahap ini, minyak direaksikan dengan metanol menggunakan katalis dalam reaktor, lalu dipisahkan menjadi *metil ester* (biodiesel), gliserin, dan limbah lainnya melalui alat pemisah (*separator*). Seluruh proses ini mencerminkan integrasi vertikal dari hulu hingga hilir dalam industri kelapa sawit yang efisien dan berkelanjutan (BPDP, 2025).

Pada proses biodiesel ini membutuhkan metanol untuk memurnikan minyak dengan cara direaksikan, dimana hasil dari produk biodiesel adalah *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Metanol disimpan pada tangki penyimpanan, pada perusahaan ini terdapat 6 di mana 4 tangki berisi metanol sejumlah 3000 metrik ton yang terletak di *tank farm*, dimana banyak risiko yang timbul dari penyimpanan metanol ini bukan hanya bagi pekerja tetapi juga bagi masyarakat sekitar maupun lingkungan sekitar, jika terjadinya kebocoran pada tangki penyimpanan ini. Menurut (Softwan & Nugroho, 2024) petir memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan tidak langsung, salah satunya memicu kebakaran uap yang mudah terbakar di sekitar area tangki seperti pada *floating roof*. Secara khusus sambaran petir dapat menyebabkan kebakaran di 2 bagian sambungan atap dan sambungan las. Pada titik sambaran, bisa menyebabkan lelehan material dan erosi karena panas yang sangat tinggi dari sambaran petir.

Beberapa insiden kegagalan tangki biasanya berakibat pada kebakaran uap yang mudah terbakar, terkadang tangki pecah pada bagian sambungan samping atau kegagalan cangkang ke dasar. Kegagalan pada tangki penyimpanan bahan kimia terkadang dapat disebabkan oleh sejumlah penyebab termasuk

kesalahan manusia, perawatan yang buruk, penyalaan uap, penurunan diferensial, sambaran petir, badai hingga cuaca ekstrim (Mgonja & Mgonja, 2017). Kebakaran dan ledakan dari kegagalan tangki semacam ini juga bisa memicu fenomena sekunder seperti *thermal radiation*, *over pressure wave*, dan *fragmentation* sehingga menjadi ancaman serius bagi manusia dan lingkungan (Salamanowics & Lopatka, 2013). PT KRN memiliki 6 tangki di mana 4 tangki berisi metanol dengan kapasitas 3000 metrik ton disimpan pada 1 area *bundwall* di area *tank farm*. Sebagai langkah pencegahan kecelakaan akibat kebocoran tangki penyimpanan bahan kimia, perbaikan dilakukan dengan prosedur khusus, seperti memindahkan bahan bakar dari tangki bocor, menguras *stock*, mengisolasi tangki dari tangki lain, melakukan pengecekan gas serta pembersihan sebelum pekerjaan diserahkan ke pihak yang berkompeten dalam memperbaiki tangki.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan pemodelan menggunakan software ALOHA (*Areal Location of Hazardous Atmosphere*), untuk memprediksi area beresiko (*Threat Zone*) jika terjadi ledakan, kebakaran, dan penyebaran awan uap pada tangki berisi metanol. Pada PT KRN sendiri belum pernah dilakukan pemetaan sebaran dampak akibat potensi kebakaran dan ledakan dari bahan kimia metanol yang bisa memicu kerugian, baik kerugian jiwa maupun kerugian materiil. Adapun penelitian serupa dilakukan di perusahaan lain, dengan cakupan bahasan pemetaan menggunakan ALOHA fokus pada potensi bahan kimia H₂S, hexane, dan petroleum (Surendra et al., 2024; Sevim, 2022, Eltahan et al., 2024).

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mencari tahu seberapa luas sebaran *threat zone* dari skenario ledakan tangki penyimpanan metanol, mengetahui risiko yang ditimbulkan dari kebocoran hingga kebakaran tangki metanol serta memberikan rekomendasi terkait mitigasi perencanaan tanggap darurat. Selain itu, dari hasil pemetaan akan dilihat juga pula potensi *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* atau BLEVE yang merupakan suatu kebakaran dan ledakan akibat pecahnya tangki penyimpanan bahan kimia. BLEVE dapat menyebabkan ledakan dengan pengaruh yang besar dan dapat membentuk bola api besar atau fireball dalam hitungan detik (Herlambang et al., 2023).

METODE

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah melalui observasi awal dan pemahaman kondisi lingkungan kerja di area *tank farm* PT KRN yang berfungsi sebagai pusat penyimpanan metanol. Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori terkait risiko kebocoran metanol dan pemodelan sebaran dampak menggunakan perangkat lunak ALOHA. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan dan literatur, meliputi data tangki (jenis, kapasitas, dimensi, kondisi operasi), data meteorologi (kecepatan dan arah angin, suhu, kelembapan), serta data lokasi dan topografi (koordinat GPS, elevasi, jenis area). Data tersebut diolah menggunakan ALOHA untuk memodelkan sebaran thermal dan *threat zone*, kemudian divisualisasikan dengan MARPLOT. Pemodelan difokuskan pada satu titik kebocoran di sambungan las tangki pada ketinggian 1,3 meter sebagai lokasi paling rentan. Hasil simulasi digunakan sebagai dasar analisis dan perumusan rekomendasi mitigasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemodelan Konsekuensi Kebocoran dan Ledakan Metanol

Analisis konsekuensi dilakukan menggunakan perangkat lunak ALOHA (*Areal Location of Hazardous Atmospheres*) untuk memodelkan potensi dampak kebocoran dan kegagalan tangki penyimpanan metanol di PT KRN. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan data spesifikasi tangki, kondisi meteorologi, serta karakteristik lokasi dan topografi. ALOHA dipilih karena mampu memprediksi sebaran zona bahaya (*threat zone*) dari kejadian kebocoran bahan kimia, kebakaran, dan ledakan secara kuantitatif (Jones et al., 2013; Muradi, 2015 dalam Salsabila, 2021).

Skenario kebocoran diasumsikan terjadi pada sambungan las tangki, yang merupakan bagian paling rentan mengalami kegagalan akibat korosi, kelelahan material, dan pengaruh lingkungan (Mgonja & Mgonja, 2017). Tiga skenario utama dianalisis, yaitu *toxic area of vapor cloud*, *pool fire*, dan *boiling liquid expanding vapor explosion* (BLEVE).

Skenario *Toxic Area of Vapor Cloud* memproyeksikan bahwa tangki bocor menyebabkan bahan kimia keluar lalu

membentuk genangan dan menguap dan tidak terbakar. Kebocoran akan menghasilkan genangan cair dengan diameter 133 yards atau 121 meter, dimana akan terjadi penguapan dengan cepat dan membentuk awan uap berat yang bergerak menuju timur sesuai arah angin saat simulasi berlangsung. Berdasarkan parameter ERPG sebagai *Level of Concern*, ALOHA memodelkan awan uap ini sebagai *heavy gas* karena uap metanol yang lebih berat dalam kondisi genangan yang menguap. Skenario ini melaporkan laju pelepasan rata – rata 1,040 lb/menit dan total sekitar 38,550 lb dalam 1 jam.

Pada skenario *Pool Fire*, kebocoran metanol membentuk genangan yang kemudian tersulut sumber api sehingga menghasilkan kebakaran kolam. Hasil simulasi menunjukkan genangan berdiameter sekitar 36,5 meter dengan dampak utama berupa radiasi panas di sekitar area kebakaran. Cairan metanol yang keluar dari sumber kebocoran yang dimodelkan mencapai 2,350 pound per menit dan sekitar 132,216 *pound* dalam waktu 1 jam.

Skenario BLEVE menunjukkan dampak paling luas dibandingkan skenario lainnya. Kegagalan tangki bertekanan menghasilkan ledakan dan bola api besar yang memancarkan radiasi termal dengan zona ancaman berlapis (merah, oranye, dan kuning). Simulasi ALOHA memperlihatkan terbentuknya bola api berdiameter sekitar 836 *yard* dengan durasi 35 detik, yang berpotensi memicu kebakaran atau ledakan lanjutan pada fasilitas di sekitarnya.

Skenario Toxic Area of Vapor Cloud



Gambar 1. Pemetaan *Threat Zone Toxic Area of Vapor Cloud*

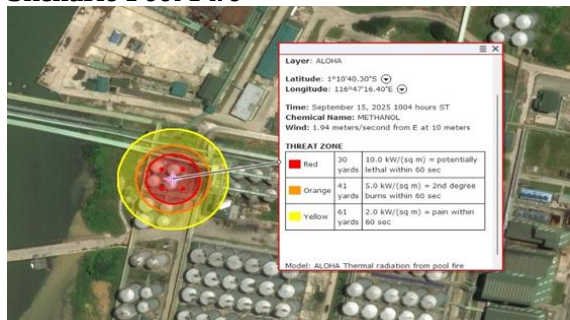
Hasil simulasi menunjukkan bahwa kebocoran metanol dapat membentuk awan uap beracun yang menyebar mengikuti arah dan kecepatan angin. Penentuan tingkat bahaya menggunakan parameter *Emergency Response Planning Guidelines* (ERPG) sebagai *Level of Concern* (LOC), yang umum digunakan dalam

analisis konsekuensi paparan bahan kimia berbahaya.

Zona merah (ERPG-3) teridentifikasi hingga jarak ± 112 meter dari sumber kebocoran, yang berpotensi menimbulkan risiko fatal atau ancaman jiwa. Zona oranye (ERPG-2) meluas hingga ± 400 meter dan dapat menyebabkan potensi efek serius yang dapat menghambat evakuasi, sedangkan zona kuning (ERPG-1) mencapai ± 1.073 meter dengan risiko iritasi ringan maupun gangguan sementara. Hasil ini sejalan dengan karakteristik metanol yang mudah menguap dan bersifat toksik pada konsentrasi tinggi (Adisti et al., 2023).

Temuan ini menunjukkan bahwa kebocoran metanol berpotensi menimbulkan dampak hingga lebih dari 1 km dari lokasi kejadian, terutama pada area *downwind*. Oleh karena itu, pengendalian kebocoran dan sistem peringatan dini menjadi aspek krusial dalam perencanaan tanggap darurat. Selain itu penting dilakukan langkah mitigasi seperti evakuasi terstruktur, penempatan *command post* di luar jangkauan *pluma* ($>1,5$ km), penggunaan APD lengkap bagi pekerja, serta komunikasi darurat kepada masyarakat dan karyawan sekitar (Herlambang et al., 2023).

Skenario Pool Fire



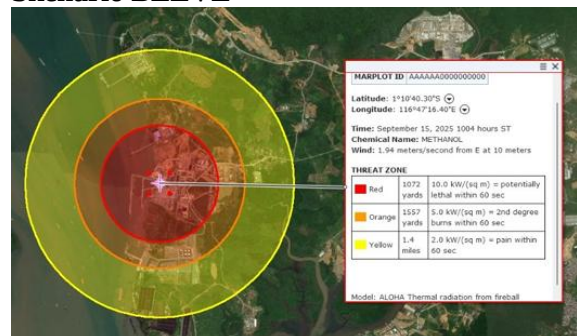
Gambar 2. Pemetaan Threat Zone Pool Fire

Pada skenario *pool fire*, kebocoran metanol membentuk genangan cairan yang kemudian terbakar akibat adanya sumber pemantik. ALOHA memodelkan radiasi panas yang dihasilkan dari kebakaran genangan tersebut sebagai *thermal radiation from pool fire*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa zona merah dengan intensitas radiasi panas >10 kW/m² mencapai jarak ± 27 meter, yang bersifat mematikan dalam waktu 60 detik apabila seseorang berada di dalamnya. Zona oranye (>5 kW/m²) meluas hingga ± 45 meter, yang berpotensi menyebabkan luka bakar derajat dua

dalam 60 detik. Sedangkan zona kuning (>2 kW/m²) mencapai ± 56 meter yang dapat menyebabkan rasa sakit pada kulit dalam waktu singkat.

Hasil ini sesuai dengan karakteristik *pool fire* pada bahan kimia mudah terbakar, di mana radiasi panas menjadi dampak utama yang mengancam keselamatan pekerja dan integritas fasilitas di sekitarnya (Herlambang et al., 2023). Meskipun jangkauan bahaya relatif terbatas dibandingkan skenario BLEVE, risiko *domino effect* terhadap tangki lain di area *tank farm* tetap tinggi apabila kebakaran tidak segera dikendalikan. Temuan ini juga konsisten dengan penelitian Sung et al. (2021) yang menunjukkan bahwa karakteristik dari termal dan radiasi *pool fire* dalam kuantitatif, menggunakan beberapa instrumen seperti termokopel dan *heat flux gauge*, dapat menimbulkan kerusakan signifikan pada struktur di sekitarnya. Pada model ALOHA memberikan estimasi konservatif yang sesuai pada penilaian risiko di industri.

Skenario BLEVE



Gambar 3. Pemetaan Threat BLEVE

Skenario BLEVE merupakan kondisi terburuk (*worst-case scenario*) yang dianalisis dalam penelitian ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kegagalan total tangki metanol dapat menghasilkan *fireball* dengan dampak radiasi panas yang sangat luas. Zona merah dengan intensitas radiasi >10 kW/m² mencapai radius ± 980 meter, berpotensi menimbulkan dampak fatal apabila seseorang terpapar selama 60 detik. Zona oranye >5 kW/m² meluas hingga $\pm 1,42$ km, dapat menyebabkan luka bakar derajat dua dalam waktu yang sama. Zona kuning >2 kW/m² mencapai $\pm 2,25$ km dari sumber kejadian, berpotensi menimbulkan rasa sakit serius akibat paparan panas dalam 60 detik.

Dampak BLEVE tidak hanya berpotensi menimbulkan korban jiwa dalam skala besar, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan fasilitas industri lain serta menjangkau area permukiman di sekitar kawasan industri. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik BLEVE, yang umumnya dipicu oleh pemanasan eksternal atau peningkatan tekanan internal hingga melampaui kekuatan struktur tangki (Mgonja & Mgonja, 2017).

Implikasi terhadap Keselamatan dan Perencanaan Tanggap Darurat

Berdasarkan hasil pemodelan, area penyimpanan metanol di PT KRN dapat dikategorikan sebagai *high hazard zone*. Luas *threat zone* sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia metanol, volume penyimpanan, serta kondisi meteorologi (Herlambang et al., 2023). Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan sistem proteksi aktif dan pasif, seperti detektor uap, *bund wall*, sistem pendingin tangki, serta inspeksi dan perawatan berkala.

Selain itu, hasil pemodelan ALOHA dapat dijadikan dasar ilmiah dalam penyusunan dan evaluasi *Emergency Response Plan* (ERP), khususnya untuk penentuan radius evakuasi, strategi pengendalian kebakaran, dan perlindungan pekerja serta masyarakat sekitar (Amaliah et al., 2022).

Rekomendasi

Berdasarkan hasil simulasi ALOHA, teridentifikasi tiga skenario utama kecelakaan pada tangki penyimpanan metanol, yaitu sebaran awan toksik hingga ± 1 km, *pool fire* dengan radius bahaya 27–56 m, serta skenario terburuk BLEVE dengan dampak radiasi termal lebih dari 2 km. Luasnya zona bahaya menunjukkan bahwa potensi kecelakaan tidak hanya berdampak pada area tank farm, tetapi juga berisiko terhadap lingkungan sekitar, sehingga perencanaan tanggap darurat yang komprehensif menjadi sangat penting.

Mitigasi risiko perlu difokuskan pada deteksi dini, proteksi aktif, pengendalian sumber bahaya, dan evakuasi terstruktur. Pengendalian bahan kimia berbahaya di tempat kerja telah diatur dalam Keputusan Menteri Tenaga Kerja RI No. Kep.187/MEN/1999, yang mewajibkan perusahaan memiliki sistem penanggulangan keadaan darurat. Oleh karena itu, pemasangan *gas dan vapor detector* yang

terintegrasi dengan sistem alarm dan *Emergency Shutdown System* (ESD) diperlukan untuk membatasi pelepasan metanol sebelum awan toksik menyebar luas.

Pada skenario *pool fire*, diperlukan pengendalian genangan melalui bund yang memadai serta penerapan sistem pemadam berbasis busa dan *water spray system* guna menekan radiasi panas dan mencegah eskalasi kebakaran. Sementara itu, untuk mengurangi risiko BLEVE, tangki perlu dilengkapi sistem pelepas tekanan dan pendinginan, serta penetapan zona evakuasi aman minimal 2,5 km dalam *Emergency Response Plan*.

Perencanaan evakuasi dan penentuan titik kumpul harus mempertimbangkan hasil simulasi dan mengacu pada Peraturan Menteri PUPR RI No. 14/PRT/M/2017, yang mengatur kemudahan akses dan keselamatan fasilitas pendukung. Dengan penerapan langkah-langkah tersebut, risiko kecelakaan dapat diminimalkan dan kesiapsiagaan pekerja maupun masyarakat sekitar dapat ditingkatkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemodelan ALOHA, potensi kebocoran dan ledakan tangki metanol di PT KRN menimbulkan risiko yang sangat signifikan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Terdapat tiga skenario bahaya utama yang teridentifikasi: sebaran uap beracun (*toxic vapor cloud*) dengan radius hingga 1.073 meter, kebakaran permukaan (*pool fire*) dengan radiasi panas berbahaya hingga 56 meter, serta ledakan hebat (BLEVE) yang memiliki jangkauan dampak paling luas mencapai lebih dari 2,25 km. Pemetaan ini menunjukkan bahwa eskalasi bahaya dapat melampaui batas area perusahaan, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan keselamatan.

Sebagai langkah mitigasi, direkomendasikan penguatan sistem tanggap darurat (*Emergency Response Plan*) melalui tindakan teknis dan prosedural yang komprehensif. Langkah utama mencakup pemasangan sistem deteksi kebocoran yang terhubung dengan *Emergency Shutdown* (ESD), peningkatan kapasitas tanggul pengaman (*bund*), serta penyediaan sistem pendingin dan *foam deluge* untuk mengendalikan risiko api dan ledakan. Selain itu, PT KRN perlu menetapkan zona evakuasi minimal 2,5 km dengan titik kumpul di luar radius 1,5 km, yang

didukung oleh jalur evakuasi permanen, pelatihan rutin bagi tenaga kerja, serta sosialisasi intensif kepada masyarakat sekitar sebagai dasar praktis perlindungan publik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisti, J. P., Suwirmen, S., & Idris, M. (2023). The Effect of Centella (Centella asiatica (L.) Urb.) Extract with Several Types of Solvents as a Biostimulant on the Growth of Pagoda Mustard (Brassica rapa var. narinosa L.). *Jurnal Biologi UNAND*, 11(1), 54–61. <https://doi.org/10.25077/jbioua.11.1.54-61.2023>
- Amaliah, R. U., Utami, L., & Hasibuan, M. A. D. (2022). ANALISIS IMPLEMENTASI EMERGENCY RESPONSE TEAM KEBAKARAN DI PT X BATAM. *Jurnal Kesehatan Ibnu Sina*, 3(2), 1-9
- BPD (Badan Pengelola Dana Perkebunan). 2025. Yuk, Kenali Apa Itu CPO dan Proses Pengolahannya! (Online). Diakses dari: <https://www.bpd.or.id>
- BPS. (2025). *Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribuan Hektar)*, 2024. (Online). Diakses dari: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMxIzI=/luas-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi.html>
- Eltahan, F. M., Toderas, M., Mansour, M. S., El-Ashtouky, E. S. Z., Abdou, M. A., & Shokry, F. (2024). Applying a Semi-Quantitative Risk Assessment on Petroleum Production Unit. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-024-57600-2>
- Herlambang, A., Novendra, R. A., Supriyadi, D., Saputra, A., Fachlevi, F., Ryacudu, T., Huwi, W., Agung, K. J., Lampung, K., & Artikel, R. (2023). Analisis Risiko Kuantitatif Akibat Terjadinya Kebocoran Tangki Penyimpanan Amonia Pabrik PUSRI IIB. *Technology, and Visual Culture*, 3(2), 2023.
- Jones, R., Lehr, W., Simecek-Beatty, D., Reynolds, R. M. (2013). *ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical Documentation*. U. S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. 96 pp.
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja No Kep.187/Men/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di Tempat Kerja
- Mgonja, C., & Mgonja, C. T. (2017). The Failure Investigation of Fuel Storage Tanks Weld Joints in Tanzania. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(4), 128–137.
- PAPSI-Monitor. (2021). Penciptaan Pendapatan (Income Generating) Pada Hilirisasi Minyak Sawit di Negara Importir. *Palm Agribusiness Strategic Policy Institute*, 11(03), 294–298.
- Peraturan Menteri PUPR RI No. 14/PRT/M/2017 tentang Persyaratan Kemudian Kemudahan Gedung
- Salsabila, A. R. (2021). *Analisis Konsekuensi Kebakaran dan Ledakan Menggunakan Perangkat Lunak Aloha Pada Area Bongkar Muat Jo. Bumikalog Stasiun Sungai Lagoa Jakarta Tahun 2020* [Skripsi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta] Jakarta. Repository UPNVJ. <https://repository.upnvj.ac.id/10088/2/AWAL.pdf>
- Salamonowicz, Z. & Lopatka M. M. (2013). Emergency Scenarios During Accidents Involving LPG. BLEVE Explosion Mechanism. *BiTP*, 30 (2), 31-9
- Sevim, A. (2022). *Risk Assessment Evaluation of Hexane Storage Tank in a Sunflower Oil Plant by Using Areal Location of Hazardous Atmosphere (ALOHA)*. Middle East Technical University. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/101164>
- Sofwan, A. & Nugroho, A. H. (2024). Perancangan Lightning Mast Protection (LMP) Area Berbahaya Menggunakan Metode Rolling Sphere pada Tangki Penyimpanan Petrokima di Cilegon. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 34(3), 89-98
- Sulaiman, A. A., Djufry, F., Syamsuri, P., Setiyanto, A., Bahrin, A. H., Hendrawati, D., & Ridha, M. F. (2024). *Sawit Indonesia Dalam Dinamika Pasar Dunia*. Jakarta: Pertanian Press
- Sung, K., Chen, J., Bundy, M., Fernandez, M., & Hamins, A. (2021). *The thermal character of a 1 m: Metanol Pool Fire*.

(Online). Diakses dari:
<https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2083r1>
Surendra, D. A., Imantaka, C. A., Putri, S. M.,
& Sriana, T. (2024). Optimasi
Pengendalian Bahaya H₂S di Sumur

Produksi dengan Menggunakan Metode
Aloha pada Central Processing Plant PT.
XYZ. *Seminar Nasional Teknologi Energi
dan Mineral (SNTEM)*, 4, 1276-1285