

Inovasi Teknologi dalam Mendukung Penerapan Regulasi Manajemen Keselamatan Proses dan Pengelolaan Lingkungan

Marwaji¹, Marningot Tua Natalis Situmorang², Kholil³

Universitas Sahid, Indonesia
marwajiaji8@gmail.com

Submitted: 12nd Feb 2025 | **Edited:** 09th April 2025 | **Issued:** 01st May 2025

Cited on: Marwaji, M., Situmorang, M. T. N., & Kholil, K. (2025). Inovasi Teknologi dalam Mendukung Penerapan Regulasi Manajemen Keselamatan Proses dan Pengelolaan Lingkungan. *AKADEMIK: Jurnal Mahasiswa Ekonomi & Bisnis*, 5(2), 759-769.

ABSTRACT

Technological advances have a crucial role in supporting the implementation of process safety regulations and environmental management in the industrial sector. Technologies such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Big Data have contributed significantly to improving work safety and reducing negative impacts on the environment. With this technology, monitoring can be done in real-time, predictive analysis becomes more accurate, and decision making takes place more quickly and efficiently. However, its implementation in Indonesia still faces various challenges, including high investment costs, limited infrastructure, and a lack of skilled workers in this field. In addition, although regulations regarding process safety and environmental management in Indonesia are quite clear, the main challenge lies in consistency in implementation and enforcement. This article examines the role of technological innovation in supporting regulations, the obstacles faced in its implementation, and provides recommendations for optimizing the use of technology in creating a safer and more sustainable industrial environment.

Keywords: Industry, Process Safety, Digital Technology

PENDAHULUAN

Keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan merupakan aspek krusial dalam setiap sektor industri, terutama pada industri yang memiliki risiko tinggi, seperti industri kimia, minyak dan gas, serta manufaktur. Untuk memastikan standar keselamatan terpenuhi, pemerintah dan lembaga pengawas telah menetapkan regulasi ketat guna mencegah kecelakaan yang dapat membahayakan pekerja, masyarakat, dan lingkungan.

Di Indonesia, beberapa regulasi yang mengatur keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan antara lain:

1. Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, yang menjadi dasar hukum utama dalam perlindungan tenaga kerja.

2. Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 mengenai Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), yang mewajibkan pengusaha untuk menerapkan sistem manajemen keselamatan di tempat kerja.
3. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 5 Tahun 2018 tentang Pedoman Keselamatan dan Kesehatan Kerja, yang memberikan panduan teknis dalam penerapan prosedur keselamatan di berbagai sektor industri.
4. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 mengenai Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang mengatur kewajiban perusahaan dalam mengelola dampak lingkungan akibat kegiatan industri.

Meskipun regulasi ini telah diterapkan untuk meningkatkan keselamatan kerja, tantangan dalam implementasinya masih signifikan. Data dari Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia menunjukkan bahwa angka kecelakaan dan kematian akibat kecelakaan kerja di sektor industri masih tinggi. Pada tahun 2022, tercatat 9.200 kasus kecelakaan kerja di sektor industri, dengan sektor manufaktur mencatat angka tertinggi, yakni 3.500 kasus. Lebih mengkhawatirkan lagi, sekitar 350 kecelakaan berujung pada kematian, dengan sektor konstruksi serta industri kimia, minyak, dan gas menjadi yang paling berisiko tinggi.

Sebagian besar kecelakaan ini disebabkan oleh kelalaian dalam prosedur keselamatan, kegagalan peralatan, serta kurangnya pelatihan yang memadai. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun regulasi telah tersedia, tantangan dalam pengawasan dan penerapan prosedur keselamatan masih menjadi hambatan utama dalam mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan pekerja.

Untuk mengatasi tantangan ini, inovasi teknologi menjadi solusi yang dapat meningkatkan efektivitas penerapan regulasi keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan. Teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan big data dapat membantu perusahaan dalam melakukan pemantauan operasional secara real-time, mendeteksi potensi bahaya, serta mengurangi risiko kecelakaan. Pemanfaatan teknologi ini menjadi langkah penting dalam meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan serta menekan angka kecelakaan dan kematian di tempat kerja.

Inovasi Teknologi dalam Keselamatan Proses

1. Internet of Things (IoT)

Teknologi IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berbagi data, sehingga mendukung pemantauan kondisi operasional secara real-time. Sensor yang dipasang pada peralatan industri dapat mengumpulkan informasi mengenai suhu, tekanan, serta potensi kebocoran. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan yang berisiko terhadap keselamatan. Selain itu, IoT juga mendukung penerapan pemeliharaan prediktif guna mencegah kerusakan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan.

2. Kecerdasan Buatan (AI) dan Pembelajaran Mesin

AI dan pembelajaran mesin dimanfaatkan untuk menganalisis data dalam jumlah besar yang diperoleh dari berbagai sensor dan sistem. Melalui algoritma yang kompleks, AI mampu mengenali pola yang sulit terdeteksi oleh manusia serta memprediksi kemungkinan kegagalan sistem. Dengan demikian, perusahaan dapat mengambil langkah pencegahan sebelum terjadi kecelakaan.

3. Sistem Pemantauan Berbasis Sensor

Teknologi sensor canggih yang terintegrasi dalam sistem pemantauan industri memungkinkan deteksi dini terhadap kebocoran gas, kebakaran, atau ketidakseimbangan tekanan. Kemampuan ini memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi potensi bahaya lebih cepat dan memberikan waktu yang cukup guna menerapkan langkah mitigasi sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Inovasi Teknologi dalam Pengelolaan Lingkungan

1. Pemantauan Kualitas Udara dan Emisi

Sensor udara memungkinkan pemantauan kualitas udara secara real-time, yang sangat penting bagi industri yang menghasilkan emisi gas berbahaya. Sistem ini dapat mendeteksi emisi gas seperti karbon dioksida (CO₂), metana, dan zat pencemar lainnya yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Data yang dihasilkan memungkinkan perusahaan untuk mengambil tindakan guna mengurangi emisi dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku.

2. Teknologi Pengolahan Air dan Limbah

Inovasi dalam teknologi pengolahan air dan limbah memungkinkan proses pemisahan serta pengolahan limbah yang lebih efisien, sehingga meminimalkan

dampak terhadap lingkungan dan masyarakat. Pemilihan metode pengolahan air limbah industri didasarkan pada karakteristiknya, seperti pH, COD, BOD, dan TSS. Salah satu metode yang efektif adalah proses biologis. Selain itu, pendekatan arsitektur hijau seperti *Constructed Wetland*, *Biofilter*, dan *Grit Chamber* juga dapat diterapkan dalam pengolahan limbah. Dengan teknologi seperti *reverse osmosis* dan biofiltrasi, perusahaan dapat mengurangi penggunaan sumber daya alam serta menekan polusi yang dihasilkan.

3. Big Data dan Analisis Lingkungan

Big Data memungkinkan pengolahan dan analisis data dalam jumlah besar yang diperoleh dari berbagai sumber, termasuk sensor lingkungan dan satelit. Teknologi ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat, optimalisasi sistem manajemen lalu lintas, serta perencanaan penggunaan alat berat seperti crane secara lebih efisien. Namun, penerapan Big Data di instansi pemerintahan Indonesia masih menghadapi tantangan, seperti kurangnya dukungan dari pimpinan, isu keamanan dan privasi data, tata kelola yang belum optimal, serta keterbatasan tenaga ahli di bidang analitik Big Data.

LANDASAN TEORI

Keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan dalam industri didasarkan pada teori manajemen risiko dan prinsip keberlanjutan. Menurut Ardhina, et al., 2023 dalam teori domino, kecelakaan kerja terjadi akibat serangkaian faktor yang dapat dicegah dengan pendekatan sistematis, termasuk penerapan regulasi yang ketat dan teknologi keselamatan. Selain itu, teori *Swiss Cheese Model* yang dikembangkan oleh (Efgivia, 2020) menekankan bahwa kecelakaan terjadi akibat celah dalam berbagai lapisan pertahanan, seperti kebijakan keselamatan, sistem manajemen, dan praktik operasional.

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, teori *Triple Bottom Line* (Harris & White, 2016) menyatakan bahwa keberlanjutan industri harus mempertimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Teknologi inovatif seperti IoT, AI, dan Big Data dapat berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan dan lingkungan (Jones & Lee, 2018).

Dengan demikian, penerapan teknologi dalam keselamatan industri dan pengelolaan lingkungan sejalan dengan teori sistem terbuka yang dikemukakan oleh

Hendra, (2023), di mana industri harus beradaptasi dengan perubahan eksternal dan internal guna mencapai keseimbangan serta meningkatkan keselamatan kerja dan perlindungan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kualitatif yang mengumpulkan data dan informasi dari berbagai sumber literatur, seperti dokumen, buku, majalah, dan catatan sejarah. Metode yang digunakan adalah studi kepustakaan dengan teknik analisis deskriptif untuk menguraikan fenomena yang terjadi baik di masa lalu maupun saat ini. Fokus utama dari artikel ini adalah membahas inovasi teknologi dalam mendukung implementasi regulasi manajemen keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan.

Beberapa referensi utama yang digunakan dalam penelitian ini untuk memberikan wawasan serta dasar teori mengenai keselamatan proses, teknologi inovatif, dan regulasi yang berlaku di Indonesia meliputi:

Regulasi Keselamatan Proses dan Pengelolaan Lingkungan di Indonesia

1. Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, yang menjadi dasar hukum utama dalam perlindungan tenaga kerja di Indonesia.
2. Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), yang mewajibkan perusahaan menerapkan sistem manajemen keselamatan secara terstruktur.
3. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 5 Tahun 2018 tentang Pedoman Keselamatan dan Kesehatan Kerja, yang memberikan panduan teknis terkait implementasi keselamatan kerja di berbagai sektor industri.
4. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang mengatur kewajiban perusahaan dalam mengelola dampak lingkungan akibat aktivitas industri.

Inovasi Teknologi dalam Keselamatan Proses

1. Internet of Things (IoT): Teknologi IoT memungkinkan pemantauan kondisi operasional secara real-time melalui sensor yang mendeteksi potensi bahaya, seperti getaran, suhu, dan kelembaban. Data yang dikumpulkan digunakan untuk analisis prediktif guna mencegah kegagalan peralatan dan mengurangi risiko kecelakaan. (Liu & Xu, 2020)

2. Kecerdasan Buatan (AI): AI diterapkan dalam analisis data untuk mendeteksi pola risiko, memungkinkan perusahaan mengambil langkah pencegahan terhadap kecelakaan atau kegagalan proses. (Siti et al., 2023)
3. Big Data: Teknologi ini digunakan untuk menganalisis pola kecelakaan, mengoptimalkan operasional, dan meningkatkan keselamatan dengan memberikan wawasan terkait faktor risiko. (Gading et al., 2025)
4. Automasi dan Robotik: Penggunaan teknologi otomatisasi dan robotik dalam tugas berisiko tinggi, seperti penanganan bahan berbahaya, bertujuan untuk mengurangi keterlibatan pekerja dalam lingkungan kerja yang berbahaya. (Jones & Lee, 2018)

Pengelolaan Lingkungan dalam Industri

1. Pengelolaan Limbah Industri: Teknologi pengolahan limbah berbahaya (B3) yang lebih ramah lingkungan diterapkan untuk mengurangi dampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan. (Williams, 2017)
2. Pengendalian Emisi dan Energi Bersih: Inovasi teknologi diterapkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendorong penggunaan energi bersih guna meminimalkan dampak lingkungan. (Jones, 2018)

Tantangan dalam Penerapan Regulasi dan Teknologi

1. Hambatan Adopsi Teknologi: Faktor seperti biaya tinggi, keterbatasan infrastruktur, dan resistensi terhadap perubahan menjadi kendala dalam implementasi teknologi baru. (Mashita et al., 2024)
2. Kendala Integrasi Sistem: Masalah kompatibilitas dengan sistem operasional yang telah ada sering menjadi tantangan dalam penerapan teknologi baru. (Williams & Harris, 2020)

Studi Kasus:

1. Industri Minyak dan Gas: Implementasi IoT dan AI telah membantu perusahaan dalam memantau kondisi operasional secara real-time dan mengurangi risiko kecelakaan. (Smith et al., 2019)
2. Industri Kimia: Otomatisasi dan robotik dimanfaatkan untuk mengurangi paparan pekerja terhadap bahan kimia berbahaya. (Brown et al., 2020)

Melalui pemanfaatan teknologi canggih, implementasi regulasi keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan dapat lebih efektif, sehingga mampu menekan angka kecelakaan kerja serta dampak negatif terhadap lingkungan.

HASIL PENELITIAN

Peran Teknologi dalam Meningkatkan Keselamatan Proses

Penerapan teknologi dalam keselamatan proses telah terbukti berkontribusi secara signifikan dalam mengurangi risiko kecelakaan dan insiden berbahaya di sektor industri. Berdasarkan hasil analisis literatur, teknologi seperti Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) berperan dalam meningkatkan pengawasan dan kontrol operasional secara real-time.

Sebagai contoh, IoT memungkinkan pemantauan kondisi mesin dan peralatan secara berkelanjutan, sehingga potensi masalah teknis atau kegagalan dapat terdeteksi sebelum berkembang menjadi kecelakaan serius. Teknologi ini menyediakan data langsung yang dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini kepada operator atau tim keselamatan, memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan lebih cepat (Liu & Xu, 2020). Demikian pula, penerapan AI dalam analisis prediktif memungkinkan sistem untuk mengenali pola yang berhubungan dengan kecelakaan atau potensi kegagalan proses dengan mengolah data historis serta real-time, sehingga dapat memberikan peringatan sebelum insiden terjadi (Smith et al., 2019).

Meskipun teknologi ini membawa banyak manfaat, tantangan utama dalam implementasinya adalah tingginya biaya serta kesiapan infrastruktur di sektor industri Indonesia. Banyak perusahaan kecil dan menengah mengalami kendala dalam mengalokasikan sumber daya untuk mengadopsi teknologi ini, meskipun penerapannya dapat meningkatkan keselamatan secara signifikan.

Inovasi Teknologi untuk Pengelolaan Lingkungan

Teknologi juga memainkan peran penting dalam mendukung pengelolaan lingkungan di sektor industri. Pemanfaatan teknologi pengendalian emisi dan energi bersih memiliki potensi besar dalam mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan industri, terutama di sektor yang menghasilkan limbah berbahaya atau polusi udara dalam jumlah besar.

Menurut Jones (2018), penerapan teknologi sensor untuk pemantauan emisi serta sistem pengolahan limbah yang lebih canggih dapat membantu mengurangi pencemaran dari aktivitas industri. Selain itu, penggunaan sumber energi terbarukan, seperti panel surya dan teknologi energi bersih lainnya, berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang dapat merusak lingkungan.

Namun, salah satu tantangan utama dalam pengelolaan lingkungan adalah pengolahan limbah bahan berbahaya (B3), yang memerlukan teknologi canggih dan investasi yang tidak sedikit. Beberapa industri di Indonesia masih menghadapi kendala dalam mematuhi regulasi pengelolaan limbah, sehingga kolaborasi antara perusahaan, pemerintah, dan masyarakat sangat diperlukan untuk menciptakan sistem pengelolaan limbah B3 yang lebih efektif dan berkelanjutan (Ersi, 2025).

Regulasi Keselamatan Proses dan Pengelolaan Lingkungan di Indonesia

Regulasi di Indonesia memiliki peran krusial dalam memastikan keselamatan kerja dan pengelolaan lingkungan yang optimal. Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja serta Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 mengenai Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) menjadi landasan hukum bagi perusahaan dalam menerapkan sistem keselamatan kerja yang terstruktur.

Namun, meskipun regulasi telah ditetapkan, tantangan utama yang dihadapi adalah inkonsistensi dalam penegakan hukum serta kurangnya sosialisasi dan pelatihan bagi pekerja serta pengelola industri. Sebagai contoh, meskipun Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup telah mengatur standar yang jelas, banyak industri yang belum sepenuhnya mematuhi prosedur yang ditetapkan, terutama di sektor-sektor dengan risiko tinggi seperti manufaktur kimia dan pertambangan.

Penerapan teknologi dalam pemantauan dan kepatuhan terhadap regulasi dapat membantu mempercepat proses pelaporan dan pengawasan. Sistem berbasis big data dan teknologi sensor memungkinkan pemantauan parameter keselamatan secara lebih akurat, namun tantangan dalam adopsi teknologi ini masih dihadapi oleh banyak perusahaan kecil dan menengah.

Tantangan Implementasi Teknologi dalam Industri

Salah satu kendala utama dalam penerapan teknologi inovatif di industri Indonesia adalah tingginya biaya serta keterbatasan infrastruktur. Teknologi seperti IoT, AI, dan

sensor canggih membutuhkan investasi awal yang besar, sehingga perusahaan besar dengan anggaran yang memadai lebih mampu mengadopsinya dibandingkan dengan perusahaan kecil dan menengah.

Selain itu, keterbatasan tenaga kerja yang memiliki keahlian dalam mengoperasikan dan memelihara teknologi ini menjadi tantangan lain yang perlu diatasi. Kurangnya pelatihan dan pemahaman terhadap teknologi baru dapat menghambat efektivitas implementasi, sehingga manfaat yang diharapkan dalam meningkatkan keselamatan dan pengelolaan lingkungan belum dapat dimaksimalkan. Oleh karena itu, investasi dalam pelatihan tenaga kerja serta dukungan kebijakan yang mendorong adopsi teknologi menjadi langkah penting dalam menghadapi tantangan ini.

Rekomendasi untuk Meningkatkan Implementasi Teknologi dan Regulasi

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, beberapa langkah dapat diambil untuk mengoptimalkan penerapan teknologi dalam meningkatkan keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan di Indonesia:

1. **Penguatan Pelatihan dan Kesadaran:** Untuk mengatasi keterbatasan keterampilan dan pemahaman, diperlukan program pelatihan yang lebih komprehensif bagi pekerja dan pengelola industri mengenai teknologi terbaru serta regulasi yang berlaku.
2. **Pemberian Insentif bagi Adopsi Teknologi:** Pemerintah dapat mendukung perusahaan, khususnya skala kecil dan menengah, dengan memberikan insentif atau subsidi guna mendorong penerapan teknologi yang mendukung keselamatan dan kelestarian lingkungan.
3. **Peningkatan Penegakan Regulasi:** Diperlukan upaya yang lebih ketat dalam penegakan regulasi serta pengawasan yang lebih konsisten agar perusahaan mematuhi standar keselamatan dan pengelolaan lingkungan yang telah ditetapkan.

KESIMPULAN

Inovasi teknologi memiliki peran krusial dalam mendukung implementasi regulasi manajemen keselamatan proses dan pengelolaan lingkungan di sektor industri. Teknologi seperti Internet of Things (IoT), Kecerdasan Buatan (AI), dan Big Data berkontribusi secara signifikan dalam mengurangi risiko kecelakaan industri serta meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan. Dengan teknologi ini, perusahaan

dapat memantau kondisi mesin, proses produksi, dan lingkungan secara real-time, memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan sebelum terjadi insiden atau kerusakan besar.

Namun, meskipun teknologi menawarkan banyak manfaat, penerapannya di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, seperti tingginya biaya investasi, keterbatasan infrastruktur, serta kurangnya tenaga kerja yang terampil dalam mengoperasikan teknologi baru. Selain itu, meskipun regulasi keselamatan kerja dan pengelolaan lingkungan telah tersedia, tantangan utama terletak pada kurang efektifnya penegakan hukum serta minimnya sosialisasi dan pelatihan bagi para pemangku kepentingan.

Untuk mengatasi hambatan tersebut, diperlukan peningkatan program pelatihan dan pengembangan keterampilan bagi pekerja dan pengelola industri dalam memanfaatkan teknologi yang tersedia. Pemerintah juga dapat memberikan insentif atau dukungan finansial bagi perusahaan kecil dan menengah agar mereka lebih mudah mengadopsi teknologi keselamatan dan pengelolaan lingkungan. Selain itu, pengawasan yang lebih ketat serta penerapan regulasi yang lebih konsisten perlu dilakukan untuk memastikan kepatuhan industri terhadap standar keselamatan dan lingkungan.

Secara keseluruhan, meskipun tantangan dalam penerapan teknologi di sektor industri masih ada, potensi untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan berkelanjutan sangat besar. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat sangat diperlukan guna mendorong pengembangan serta implementasi teknologi yang mendukung regulasi keselamatan dan pengelolaan lingkungan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhina, Sitti, & Fuad. (2023). *Implementasi blue economy di Indonesia dengan memanfaatkan teknologi big data*. Retrieved from <http://journal-old.unhas.ac.id/index.php/SENSISTEK/article/view/31735>
- Brown, T., Green, P., & Johnson, R. (2020). Case study: Implementing IoT for industrial safety in the chemical industry. *Safety Science Review*, 25(1), 34-42.
- Efgivia. (2020). *Educate Jurnal teknologi pendidikan*, 5. Retrieved from <https://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/EDUCATE/article/view/3381>
- Ersi. (2025). *Jurnal Ilmiah Ekonomi Manajemen Bisnis Dan Akuntansi*, 2. Retrieved from : <https://ejurnal.kampusakademik.my.id/index.php/jemba/article/view/611>.
- Gading, Widya, Ezra, Indah, & Rusdi. (2025). *Jurnal Bisnis dan Komunikasi Digital*, 2. Retrieved from <https://journal.pubmedia.id/index.php/jbkd/article/view/3460>

- Harris, M., & White, D. (2016). Challenges in the adoption of safety technologies in industrial plants. *Journal of Industrial Safety Management*, 12(1), 55-67.
- Hendra. (2023). *Jurnal Ilmiah Binary STMIK Bina Nusantara Jaya Lubuklinggau*, 5. Retrieved from <http://e-journal.stmik-bnj.ac.id/index.php/jb/article/view/109>.
- Jones, S., & Lee, H. (2018). Environmental management in heavy industries: Best practices. *Environmental Safety Journal*, 38(3), 202-215.
- Liu, Y., & Xu, S. (2020). Application of IoT and AI in industrial safety monitoring. *Industrial Safety Journal*, 32(4), 112-124.
- Mashita, Tesalonika, Wynne, & Eryc. (2024). *Jurnal Manajemen Dan Bisnis Ekonomi*, 2. Retrieved, <https://jurnal.itbsemarang.ac.id/index.php/JMBE/article/view/2385>.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). (2016). *Lembaran Negara Republik Indonesia*.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 5 Tahun 2018 tentang Pedoman Keselamatan dan Kesehatan Kerja. (2018). *Lembaran Negara Republik Indonesia*.
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). (2012). *Lembaran Negara Republik Indonesia*.
- Smith, R., Jones, M., & Brown, T. (2019). Big data analytics in industrial safety: Improving risk management. *International Journal of Safety Science*, 45(2), 98-111.
- Siti, Danang, & Joseph. (2023). *Transformasi proyek melalui keajaiban kecerdasan buatan: Mengeksplorasi potensi AI dalam project management*. Retrieved from <https://ejurnal.politeknikpratama.ac.id/index.php/jupiman/article/view/2477>
- Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. (1970). *Lembaran Negara Republik Indonesia*.
- Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2009). *Lembaran Negara Republik Indonesia*.
- Williams, P. (2017). Technologies for waste management in the chemical industry. *Journal of Environmental Engineering*, 40(7), 245-257.