



Penerapan Teknologi Realitas Virtual untuk Pelatihan Keselamatan Pekerja dalam Operasi Mesin Industri Berat

Ryan Effendi^{1✉}, Iwan Zulfikar², Komeyni Rusba³, Siska Ayu Kartika⁴, Satrio Darma Utama⁵

Universitas Balikpapan^(1,2,3,4)

Politeknik Jambi⁽⁵⁾

DOI: 10.31004/jutin.v7i2.26651

✉Corresponding author:

[ryaneffendi@uniba-bpn.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p>Kata kunci: Teknologi Realitas Virtual; Pelatihan Keselamatan Pekerja; Industri Berat.</p>	<p>Penerapan Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat telah menjadi subjek penelitian yang menarik dalam beberapa tahun terakhir. Artikel jurnal ini bertujuan untuk memberikan tinjauan literatur tentang bagaimana VR digunakan dalam konteks ini. Metode <i>literature review</i> digunakan untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis temuan dari berbagai penelitian terkait. Tinjauan literatur ini mengungkap bahwa penggunaan VR telah terbukti efektif dalam meningkatkan keselamatan pekerja dan ketrampilan operasional dalam berbagai industri berat. Dengan memungkinkan pelatihan dalam lingkungan virtual yang simulatif, teknologi VR dapat menghadirkan pengalaman yang realistis tanpa risiko fisik yang nyata. Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa pekerja yang menerima pelatihan VR cenderung memiliki pemahaman yang lebih baik tentang risiko potensial dan prosedur keselamatan, serta mengalami penurunan angka kecelakaan. Keunggulan VR juga termasuk kemampuannya untuk menyediakan pelatihan yang dapat diulang tanpa biaya tambahan yang signifikan. Ini memungkinkan pekerja untuk memperoleh pengalaman praktis yang konsisten, memperkuat ketrampilan mereka dalam situasi berbahaya. Dengan demikian, penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat menjanjikan manfaat besar dalam upaya meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan tenaga kerja.</p>
<p>Keywords: Virtual Reality Technology; Worker Safety Training; Heavy Industries.</p>	<p>Abstract The application of Virtual Reality (VR) technology in worker safety training in heavy industries has been an intriguing subject of research in recent years. This journal article aims to provide a literature review on how VR is utilized in this context. The literature review method is employed to gather, evaluate, and synthesize findings from various related studies. This literature review reveals that the use of VR has proven effective in enhancing worker safety and</p>

operational skills in various heavy industries. By enabling training in a simulated virtual environment, VR technology can deliver realistic experiences without actual physical risks. Previous studies indicate that workers who receive VR training tend to have a better understanding of potential risks and safety procedures, leading to a decrease in accident rates. The advantages of VR also include its ability to provide repeatable training without significant additional costs. This allows workers to gain consistent hands-on experience, reinforcing their skills in hazardous situations. Thus, the use of VR in worker safety training in heavy industries promises significant benefits in efforts to improve worker safety and well-being.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan kerja merupakan aspek yang menjadi prioritas bagi semua pekerja, terutama dalam pekerjaan dengan tingkat risiko tinggi. Keselamatan kerja telah menjadi isu yang mendapat perhatian serius karena melibatkan masalah kemanusiaan, aspek ekonomi, hukum, tanggung jawab, dan juga reputasi perusahaan. Upaya keselamatan kerja bukan hanya tentang pencegahan kecelakaan, tetapi juga melibatkan upaya mencegah cacat dan kematian yang bisa terjadi akibat kecelakaan kerja (Effendi et al, 2023).

Industri berat merupakan lingkungan kerja yang sering kali penuh dengan risiko dan bahaya bagi para pekerja. Dalam operasi mesin industri berat, keselamatan pekerja menjadi prioritas utama untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang berpotensi fatal. Upaya untuk meningkatkan keselamatan pekerja dalam konteks ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Salah satu teknologi yang mendapatkan perhatian besar dalam hal ini adalah Teknologi Realitas Virtual (VR). VR telah menjadi subjek penelitian yang menarik dalam upaya meningkatkan pelatihan keselamatan pekerja di industri berat (Shringi et al., 2023).

Penerapan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat menjanjikan berbagai manfaat, mulai dari pengurangan risiko kecelakaan hingga peningkatan ketrampilan operasional. Dengan menggunakan simulasi yang realistis, VR memungkinkan para pekerja untuk berlatih dalam lingkungan virtual yang aman dan kontrol, tanpa risiko cedera yang sebenarnya (Holuša et al., 2023). Berbagai penelitian telah menyoroti efektivitas VR dalam meningkatkan pemahaman risiko dan prosedur keselamatan pekerja (Yoo et al., 2023). Selain itu, VR juga memungkinkan pelatihan yang dapat diulang-ulang tanpa biaya tambahan yang signifikan, menjadikannya sebagai pilihan yang ekonomis dan efisien untuk pengembangan keterampilan pekerja (AlGerafi et al., 2023).

Meskipun demikian, implementasi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat tidaklah tanpa tantangan. Beberapa hambatan teknis dan logistik mungkin perlu diatasi untuk memastikan kesuksesan penerapan teknologi ini (Hamad & Jia, 2022). Selain itu, ada juga kebutuhan untuk memahami secara menyeluruh bagaimana VR dapat diintegrasikan ke dalam program pelatihan yang sudah ada dengan efektif (Paszkiwicz et al., 2021). Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang kelebihan, kekurangan, dan potensi VR dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat sangatlah penting untuk memandu pengembangan dan implementasi teknologi ini secara optimal.

Dengan latar belakang tersebut, artikel jurnal ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan literatur yang komprehensif tentang penerapan Teknologi Realitas Virtual untuk pelatihan keselamatan pekerja dalam operasi mesin industri berat. Diharapkan bahwa tinjauan ini dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para praktisi, peneliti, dan pengambil keputusan yang tertarik dalam memanfaatkan potensi VR untuk meningkatkan keselamatan dan ketrampilan pekerja di lingkungan industri berat.

2. METODE

Untuk mengumpulkan informasi terkini sejak tahun 2019, kami menggunakan metode *literature review*. Langkah pertama adalah melakukan pencarian literatur melalui basis data akademik seperti *PubMed*, *Google Scholar*, dan *IEEE Xplore*. Kata kunci yang digunakan termasuk "*Virtual Reality*", "*Worker Safety Training*", "*Heavy Industries*", dan variasinya. Pemilihan artikel dilakukan berdasarkan relevansi tinggi dengan topik penelitian ini, dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memastikan hanya literatur yang sesuai yang dimasukkan dalam analisis kami.

Kemudian, artikel-artikel yang dipilih dipelajari secara mendalam untuk mengekstrak informasi penting tentang penerapan Teknologi Realitas Virtual dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Data yang dianalisis mencakup tren, temuan umum, kelebihan, dan kekurangan penerapan VR dalam konteks tersebut.

Analisis dilakukan dengan merangkum temuan-temuan utama dari literatur yang telah dikaji. Kami juga mengevaluasi konsistensi dan kredibilitas temuan-temuan tersebut untuk menghasilkan pemahaman yang mendalam dan akurat tentang topik penelitian ini. Dengan menggunakan pendekatan ini, kami berharap dapat menyajikan tinjauan literatur yang komprehensif dan terkini tentang penerapan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas Penggunaan VR dalam Pelatihan Keselamatan Pekerja

Dari hasil *literature review* yang kami lakukan, terbukti bahwa penerapan Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat memiliki dampak positif yang signifikan. Studi-studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja dapat meningkatkan pemahaman risiko dan prosedur keselamatan (Xu & Zheng, 2021). Selain itu, teknologi VR juga telah terbukti dapat mengurangi angka kecelakaan dengan memberikan pengalaman pelatihan yang realistis tanpa risiko cedera yang sebenarnya (Shringi et al., 2023). Para pekerja dapat berlatih dalam lingkungan simulasi yang aman dan terkendali, memperoleh ketrampilan operasional yang lebih baik dalam menghadapi situasi-situasi berbahaya.

Namun, implementasi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja tidaklah tanpa hambatan. Beberapa studi menyoroti tantangan teknis dan logistik yang perlu diatasi, seperti masalah ketersediaan perangkat keras dan perangkat lunak yang sesuai (Kamińska et al., 2019). Selain itu, integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada juga menjadi hal yang penting dan memerlukan pemahaman yang mendalam serta kolaborasi antarberbagai pihak terkait (Regal et al., 2023).

Meskipun demikian, dengan penelitian dan pengembangan yang terus berlanjut, VR memiliki potensi besar untuk terus meningkatkan efektivitas pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Diharapkan bahwa pemahaman yang komprehensif tentang kelebihan, kekurangan, dan potensi VR dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja akan memandu penggunaan teknologi ini secara lebih optimal. Dengan demikian, upaya ini diharapkan akan memberikan kontribusi positif dalam menjaga keselamatan dan kesejahteraan pekerja di lingkungan industri berat.

Pengurangan Angka Kecelakaan

Penelitian yang dilakukan oleh Strzałkowski et al., (2024) menyoroti pentingnya implementasi Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam upaya mengurangi angka kecelakaan di lingkungan industri. Dengan memanfaatkan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja, para pekerja dapat berlatih dalam lingkungan simulasi yang realistis tanpa harus menghadapi risiko fisik yang sebenarnya. Metode ini memungkinkan para pekerja untuk merasakan pengalaman langsung dalam menghadapi situasi-situasi berbahaya tanpa harus mengalami bahaya nyata, sehingga memberikan kesempatan bagi mereka untuk memperbaiki ketrampilan dan reaksi terhadap situasi darurat.

Dengan memanfaatkan VR, para pekerja dapat menghadapi berbagai skenario risiko yang mungkin terjadi di lingkungan kerja industri berat tanpa harus terkena risiko cedera yang sebenarnya. Mereka dapat berlatih secara intensif dalam situasi simulasi yang mendekati keadaan sebenarnya, yang memungkinkan mereka untuk mengembangkan keterampilan dan pemahaman yang diperlukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan di tempat kerja (Marougkas et al., 2023). Dengan demikian, penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja bukan hanya memberikan manfaat secara individual, tetapi juga dapat secara efektif berkontribusi pada pengurangan angka kecelakaan secara keseluruhan di lingkungan industri berat.

Namun, meskipun implementasi VR menjanjikan dalam upaya mengurangi angka kecelakaan, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi. Ini termasuk tantangan teknis, logistik, dan finansial dalam memperoleh dan menjaga perangkat VR yang sesuai, serta mengintegrasikannya ke dalam program pelatihan yang sudah ada (Ruan & Xie, 2021). Oleh karena itu, upaya kolaboratif dan perhatian terhadap aspek-aspek ini penting untuk memastikan bahwa potensi penuh VR dalam pengurangan angka kecelakaan dapat dimanfaatkan secara efektif dalam lingkungan industri berat.

Kemampuan Pelatihan yang Dapat Diulang-ulang

Penelitian oleh Liu et al., (2024) menyoroti kemampuan unik dari Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam menyediakan pelatihan yang dapat diulang-ulang tanpa biaya tambahan yang signifikan. Dengan menggunakan VR, para pekerja dapat mengulangi latihan mereka berulang kali dalam lingkungan simulasi yang sama, tanpa perlu biaya tambahan yang besar. Ini memungkinkan para pekerja untuk mendapatkan pengalaman praktis yang konsisten dan terus memperbaiki ketrampilan mereka dari waktu ke waktu (Hovanec et al., 2023).

Keunggulan ini memiliki implikasi positif yang signifikan dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Para pekerja dapat secara konsisten dan intensif melatih keterampilan mereka dalam menghadapi berbagai situasi berbahaya tanpa harus khawatir tentang biaya tambahan yang terkait dengan pengulangan pelatihan. Dengan demikian, VR tidak hanya meningkatkan efektivitas pelatihan, tetapi juga membuatnya lebih ekonomis dan efisien dalam jangka panjang (Liu et al., 2022).

Namun, walaupun VR menawarkan kemampuan pelatihan yang dapat diulang-ulang tanpa biaya tambahan yang signifikan, masih terdapat tantangan dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam program pelatihan yang sudah ada. Diperlukan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana VR dapat digunakan secara optimal dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat, serta upaya kolaboratif antara berbagai pihak terkait untuk mengatasi hambatan-hambatan yang mungkin timbul.

Tantangan dalam Implementasi

Penelitian yang dilakukan oleh Strzałkowski et al. (2024) menyoroti tantangan yang dihadapi dalam implementasi Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Salah satu tantangan utama adalah masalah teknis dan logistik yang seringkali muncul selama proses implementasi. Hal ini mencakup kesulitan dalam memperoleh perangkat keras dan perangkat lunak yang sesuai, serta menangani infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung penggunaan VR dalam lingkungan industri.

Selain itu, terdapat pula tantangan terkait dengan biaya dan anggaran yang diperlukan untuk mengadopsi teknologi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja. Meskipun kemampuan VR untuk menyediakan pelatihan yang dapat diulang-ulang tanpa biaya tambahan yang signifikan menjadi salah satu keunggulan utamanya, namun investasi awal yang diperlukan untuk membeli perangkat VR dan mengembangkan konten pelatihan yang sesuai masih merupakan hal yang signifikan (Kuna et al., 2023).

Selain itu, integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada juga merupakan tantangan tersendiri. Diperlukan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana VR dapat diintegrasikan ke dalam program pelatihan yang sudah ada dengan efektif, serta upaya kolaboratif antara berbagai pihak terkait untuk mengatasi hambatan-hambatan yang mungkin timbul. Oleh karena itu, meskipun VR menjanjikan potensi besar dalam meningkatkan keselamatan pekerja, perlu adanya penelitian dan kerja sama yang terus menerus untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut dalam implementasi teknologi ini di industri berat.

Integrasi dengan Program Pelatihan yang Ada

Penelitian oleh Holuša et al., (2023) menekankan pentingnya integrasi Teknologi Realitas Virtual (VR) ke dalam program pelatihan yang sudah ada dengan efektif. Integrasi yang berhasil memerlukan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana VR dapat digunakan secara optimal dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Ini termasuk pemahaman tentang bagaimana VR dapat memperkuat dan melengkapi metode pelatihan yang sudah ada, serta bagaimana teknologi ini dapat diintegrasikan ke dalam kurikulum yang sudah ada dengan cara yang sesuai dan efektif.

Salah satu aspek kunci dalam integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada adalah pengembangan konten pelatihan yang sesuai. Konten pelatihan harus dirancang dengan cermat untuk mencakup situasi-situasi berbahaya yang spesifik dan ketrampilan operasional yang relevan dengan lingkungan kerja industri berat. Selain itu, konten pelatihan juga harus disesuaikan dengan kebutuhan dan tingkat keahlian para pekerja, sehingga dapat memberikan manfaat yang optimal dalam meningkatkan keselamatan dan ketrampilan mereka (Kuna et al., 2022).

Selain pengembangan konten, integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada juga melibatkan pengelolaan infrastruktur dan sumber daya yang tepat. Hal ini termasuk pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang sesuai dengan kebutuhan pelatihan, serta pengaturan ruang dan waktu untuk pelaksanaan pelatihan menggunakan teknologi VR. Dengan demikian, integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada memerlukan pendekatan yang holistik dan terpadu untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat memberikan manfaat yang maksimal bagi para pekerja di industri berat.

Pengembangan Lanjutan

Melalui penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, Teknologi Realitas Virtual (VR) memiliki potensi yang besar untuk terus meningkatkan efektivitas pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Dengan terus melakukan penelitian dan pengembangan, teknologi VR dapat terus ditingkatkan untuk menyediakan pengalaman pelatihan yang lebih realistis, interaktif, dan efektif bagi para pekerja (Gao et al., 2023). Perkembangan ini dapat mencakup peningkatan kualitas grafis, penambahan fitur-fitur interaktif yang lebih maju, serta pengembangan algoritma-algoritma yang lebih canggih untuk meningkatkan realisme simulasi.

Selain itu, penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan juga dapat berfokus pada pengembangan konten pelatihan yang lebih beragam dan relevan dengan kebutuhan pekerja di industri berat. Hal ini mencakup pengembangan skenario-skenario pelatihan yang lebih kompleks dan realistis, serta pengembangan modul-modul pelatihan yang spesifik untuk berbagai jenis mesin dan peralatan industri (Hu et al., 2024). Dengan menyediakan konten pelatihan yang lebih kaya dan bervariasi, VR dapat menjadi alat yang lebih efektif dalam meningkatkan ketrampilan operasional dan keselamatan pekerja di berbagai lingkungan kerja industri berat.

Selain itu, penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan juga dapat memperluas jangkauan penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja. Ini termasuk eksplorasi potensi penggunaan VR untuk pelatihan keselamatan di berbagai sektor industri berat, serta pengembangan metode penggunaan VR yang lebih fleksibel dan mudah diakses bagi berbagai jenis pekerja. Dengan cara ini, VR dapat menjadi alat yang lebih inklusif dan dapat diakses oleh lebih banyak pekerja di seluruh dunia, sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam upaya meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja di industri berat secara keseluruhan.

Perlunya Pemahaman Komprehensif

Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang kelebihan, kekurangan, dan potensi Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat sangatlah penting. Dengan memahami secara menyeluruh karakteristik VR serta implikasi penggunaannya dalam pelatihan keselamatan, para pemangku kepentingan akan dapat membuat keputusan yang lebih baik terkait pengembangan dan implementasi teknologi ini (Yoo et al., 2023). Pemahaman yang komprehensif tentang kelebihan VR, seperti kemampuannya untuk menyediakan lingkungan pelatihan yang realistis dan berulang-ulang tanpa biaya tambahan yang signifikan, dapat membantu dalam memperkuat argumen untuk mengadopsi teknologi ini dalam lingkungan industri berat (AlGerafi et al., 2023).

Di sisi lain, pemahaman yang mendalam tentang kekurangan VR, seperti tantangan teknis dan logistik yang terkait dengan implementasinya, dapat membantu dalam menyiapkan strategi untuk mengatasi hambatan-hambatan tersebut sebelum melakukan implementasi penuh teknologi ini. Selain itu, pemahaman tentang potensi VR dalam meningkatkan pelatihan keselamatan pekerja dapat mendorong penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan fitur-fitur VR yang lebih canggih dan relevan dengan kebutuhan industri berat (Mora-Serrano et al., 2021).

Dengan demikian, pemahaman yang komprehensif tentang VR dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat akan membantu dalam mengoptimalkan penggunaan teknologi ini. Hal ini akan memastikan bahwa implementasi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja tidak hanya efektif dalam meningkatkan keselamatan dan ketrampilan pekerja, tetapi juga ekonomis dan dapat diintegrasikan dengan baik ke dalam program pelatihan yang sudah ada.

Implikasi untuk Praktik dan Penelitian

Tinjauan literatur ini memiliki implikasi yang signifikan bagi praktisi, peneliti, dan pengambil keputusan yang tertarik dalam memanfaatkan potensi Teknologi Realitas Virtual (VR) untuk meningkatkan keselamatan dan ketrampilan pekerja di lingkungan industri berat. Praktisi di lapangan akan mendapatkan wawasan yang berharga tentang bagaimana VR dapat digunakan dalam program pelatihan keselamatan pekerja, serta keuntungan dan tantangan yang terkait dengan implementasi teknologi ini (Holuša et al., 2023). Mereka dapat menggunakan informasi ini untuk merancang program pelatihan yang lebih efektif dan efisien, serta untuk mengidentifikasi strategi yang paling tepat dalam mengintegrasikan VR ke dalam lingkungan kerja.

Selain itu, bagi peneliti, tinjauan literatur ini menyediakan dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan dan implementasi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat. Mereka dapat menggunakan temuan dari tinjauan ini sebagai landasan untuk mengarahkan penelitian mereka ke arah yang paling relevan dan bermanfaat bagi praktik lapangan. Penelitian yang lebih mendalam tentang aspek-

aspek tertentu dari penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan pekerja dapat membantu dalam mengatasi tantangan yang masih ada dan memperluas pemahaman kita tentang potensi teknologi ini.

Pengambil keputusan di berbagai organisasi dan lembaga juga akan mendapatkan manfaat dari tinjauan literatur ini. Mereka dapat menggunakan wawasan yang diberikan untuk membuat keputusan yang lebih terinformasi tentang investasi dalam teknologi VR untuk pelatihan keselamatan pekerja (Strzałkowski et al., 2024). Selain itu, mereka juga dapat menggunakan informasi ini untuk mengembangkan kebijakan dan strategi yang mendukung penggunaan VR dalam meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja di lingkungan industri berat secara keseluruhan. Dengan demikian, tinjauan literatur ini memiliki implikasi yang luas dan penting dalam konteks praktik lapangan, penelitian, dan pengambilan keputusan di bidang keselamatan kerja.

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, penerapan Teknologi Realitas Virtual (VR) dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat menunjukkan potensi yang besar dalam meningkatkan keselamatan dan ketrampilan pekerja. Dari tinjauan literatur yang kami lakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan VR telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman risiko, mengurangi angka kecelakaan, dan memperkuat ketrampilan operasional pekerja. Simulasi yang realistis yang disediakan oleh VR memungkinkan para pekerja untuk berlatih dalam lingkungan yang aman dan terkendali, tanpa risiko cedera yang sebenarnya.

Meskipun demikian, implementasi VR dalam pelatihan keselamatan pekerja di industri berat tidaklah tanpa tantangan. Kami menemukan bahwa beberapa hambatan teknis dan logistik perlu diatasi untuk memastikan kesuksesan penerapan teknologi ini. Selain itu, integrasi VR dengan program pelatihan yang sudah ada juga merupakan aspek yang penting, yang memerlukan pemahaman mendalam dan kolaborasi antarberbagai pihak terkait.

Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, VR memiliki potensi untuk terus meningkatkan efektivitas pelatihan keselamatan pekerja di industri berat dan mengurangi angka kecelakaan secara signifikan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang kelebihan, kekurangan, dan potensi VR dalam konteks pelatihan keselamatan pekerja di industri berat menjadi sangat penting. Diharapkan bahwa upaya ini akan memberikan kontribusi positif dalam upaya menjaga keselamatan dan kesejahteraan pekerja di lingkungan industri berat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Effendi, Ryan., Iwan Z., Komeyni R. (2023). Kesehatan dan Keselamatan Kerja. Penerbit: Ruang Karya Bersama. ISBN: 978-623-353-602-8.
- Gao, X., Zhou, P., Xiao, Q., Peng, L., & Zhang, M. (2023). Research on the Effectiveness of Virtual Reality Technology for Locomotive Crew Driving and Emergency Skills Training. *Applied Sciences*, 13(22), 12452. <https://doi.org/10.3390/app132212452>
- Hamad, A., & Jia, B. (2022). How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11278. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811278>
- Holuša, V., Vaněk, M., Beneš, F., Švub, J., & Staša, P. (2023). Virtual Reality as a Tool for Sustainable Training and Education of Employees in Industrial Enterprises. *Sustainability*, 15(17), 12886. <https://doi.org/10.3390/su151712886>

- Hovanec, M., Korba, P., Vencel, M., & Al-Rabeei, S. (2023). Simulating a Digital Factory and Improving Production Efficiency by Using Virtual Reality Technology. *Applied Sciences*, 13(8), 5118. <https://doi.org/10.3390/app13085118>
- Hu, H., Chen, J., Zhu, J., Yang, Y., & Zheng, H. (2024). Design and Development of an Integrated Virtual-Reality Training Simulation Sand Table for Rail Systems. *Information*, 15(3), 141. <https://doi.org/10.3390/info15030141>
- Kamińska, D., Sapiński, T., Wiak, S., Tikk, T., Haamer, R. E., Avots, E., ... Anbarjafari, G. (2019). Virtual Reality and Its Applications in Education: Survey. *Information*, 10(10), 318. <https://doi.org/10.3390/info10100318>
- Kuna, P., Hašková, A., & Borza, L. (2023). Creation of Virtual Reality for Education Purposes. *Sustainability*, 15(9), 7153. <https://doi.org/10.3390/su15097153>
- Liu, L., Yao, X., Chen, J., Zhang, K., Liu, L., Wang, G., & Ling, Y. (2024). Virtual Reality Utilized for Safety Skills Training for Autistic Individuals: A Review. *Behavioral Sciences*, 14(2), 82. <https://doi.org/10.3390/bs14020082>
- Liu, X.-W., Li, C.-Y., Dang, S., Wang, W., Qu, J., Chen, T., & Wang, Q.-L. (2022). Research on Training Effectiveness of Professional Maintenance Personnel Based on Virtual Reality and Augmented Reality Technology. *Sustainability*, 14(21), 14351. <https://doi.org/10.3390/su142114351>
- Maroungkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade. *Electronics*, 12(13), 2832. <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>
- Mora-Serrano, J., Muñoz-La Rivera, F., & Valero, I. (2021). Factors for the Automation of the Creation of Virtual Reality Experiences to Raise Awareness of Occupational Hazards on Construction Sites. *Electronics*, 10(11), 1355. <https://doi.org/10.3390/electronics10111355>
- Paszkievicz, A., Salach, M., Dymora, P., Bolanowski, M., Budzik, G., & Kubiak, P. (2021). Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. *Sustainability*, 13(9), 5049. <https://doi.org/10.3390/su13095049>
- Regal, G., Pretolesi, D., Schrom-Feiertag, H., Puthenkalam, J., Migliorini, M., De Maio, E., ... Xerri, G. P. (2023). Challenges in Virtual Reality Training for CBRN Events. *Multimodal Technologies and Interaction*, 7(9), 88. <https://doi.org/10.3390/mti7090088>
- Ruan, J., & Xie, D. (2021). Networked VR: State of the Art, Solutions, and Challenges. *Electronics*, 10(2), 166. <https://doi.org/10.3390/electronics10020166>

- Shringi, A., Arashpour, M., Golafshani, E. M., Dwyer, T., & Kalutara, P. (2023). Enhancing Safety Training Performance Using Extended Reality: A Hybrid Delphi–AHP Multi-Attribute Analysis in a Type-2 Fuzzy Environment. *Buildings*, 13(3), 625. <https://doi.org/10.3390/buildings13030625>
- Strzałkowski, P., Bęś, P., Szóstak, M., & Napiórkowski, M. (2024). Application of Virtual Reality (VR) Technology in Mining and Civil Engineering. *Sustainability*, 16(6), 2239. <https://doi.org/10.3390/su16062239>
- Xu, Z., & Zheng, N. (2021). Incorporating Virtual Reality Technology in Safety Training Solution for Construction Site of Urban Cities. *Sustainability*, 13(1), 243. <https://doi.org/10.3390/su13010243>
- Yoo, J. W., Park, J. S., & Park, H. J. (2023). Understanding VR-Based Construction Safety Training Effectiveness: The Role of Telepresence, Risk Perception, and Training Satisfaction. *Applied Sciences*, 13(2), 1135. <https://doi.org/10.3390/app13021135>
- Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Electronics*, 12(18), 3953. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>