

Penerapan Deep Learning dalam Prediksi Risiko Kerja pada Perusahaan Tambang Batu Bara

Yulia Romaito^{1*}, Citra Julian Lestari², Mellya Rindani Aditia³

¹Keselamatan Kesehatan Kerja, Universitas Indonesia Maju, ²Seni Tari, Institut Seni Budaya Indonesia, ³Sistem Informasi, Universitas Putra Indonesia YPTK
email: yuliaromaito84@gmail.com

Abstrak

Industri pertambangan batu bara memiliki tingkat risiko kerja yang tinggi akibat kompleksitas operasional, kondisi lingkungan ekstrem, serta keterlibatan alat berat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi risiko kerja berbasis deep learning guna meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional. Data yang digunakan meliputi data historis kecelakaan kerja, kondisi lingkungan, data sensor alat berat, serta faktor manusia seperti kelelahan dan jam kerja. Metode yang diterapkan adalah arsitektur jaringan saraf dalam, seperti Artificial Neural Network (ANN) dan Long Short-Term Memory (LSTM), untuk mengidentifikasi pola dan hubungan kompleks antar variabel. Proses penelitian mencakup tahap pengumpulan data, praproses, pelatihan model, serta evaluasi menggunakan metrik akurasi, presisi, dan recall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model deep learning mampu memberikan prediksi risiko kerja dengan tingkat akurasi yang tinggi serta mampu mendeteksi potensi kecelakaan secara dini. Implementasi sistem ini diharapkan dapat membantu perusahaan tambang dalam pengambilan keputusan preventif, mengurangi angka kecelakaan kerja, serta meningkatkan budaya keselamatan kerja secara berkelanjutan.

Kata kunci: Deep Learning, Prediksi Risiko Kerja, Pertambangan Batu Bara, Keselamatan Kerja, Machine Learning

Abstract

The coal mining industry faces high levels of occupational risk due to operational complexity, extreme environmental conditions, and the involvement of heavy equipment. This research aims to develop a deep learning-based occupational risk prediction model to improve operational safety and efficiency. The data used includes historical workplace accident data, environmental conditions, heavy equipment sensor data, and human factors such as fatigue and working hours. The methods used are deep neural network architectures, such as Artificial Neural Networks (ANN) and Long Short-Term Memory (LSTM), to identify complex patterns and relationships between variables. The research process includes data collection, preprocessing, model training, and evaluation using accuracy, precision, and recall metrics. The results show that the deep learning model is capable of predicting occupational risks with a high degree of accuracy and is capable of detecting potential accidents early. Implementation of this system is expected to assist mining companies in making preventative decisions, reducing workplace accidents, and sustainably improving a safety culture.

Keywords: Deep Learning, Occupational Risk Prediction, Coal Mining, Occupational Safety, Machine Learning

PENDAHULUAN

Industri pertambangan batu bara merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki kontribusi besar terhadap perekonomian, namun juga dikenal sebagai sektor dengan tingkat risiko kerja yang tinggi. Aktivitas operasional yang melibatkan alat berat, lingkungan kerja yang ekstrem, serta kondisi geologi yang dinamis menjadikan potensi kecelakaan kerja sulit untuk dihindari[1]. Data kecelakaan kerja di sektor pertambangan menunjukkan bahwa faktor manusia, kondisi lingkungan, dan kegagalan peralatan menjadi penyebab utama terjadinya insiden, yang tidak hanya berdampak pada keselamatan pekerja, tetapi juga pada produktivitas dan keberlanjutan operasional perusahaan[2].

Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan berbasis data mulai dimanfaatkan untuk meningkatkan sistem keselamatan kerja[4]. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah deep learning, yang merupakan bagian dari machine learning dan mampu mempelajari pola kompleks dari data dalam jumlah besar[5]. Berbeda dengan metode konvensional, deep learning memiliki kemampuan untuk mengolah data tidak terstruktur serta mengidentifikasi hubungan non-linear antar variabel, sehingga sangat potensial untuk digunakan dalam prediksi risiko kerja di lingkungan pertambangan yang kompleks[6].

Penerapan deep learning dalam prediksi risiko kerja memungkinkan perusahaan untuk melakukan deteksi dini terhadap potensi kecelakaan. Dengan memanfaatkan data historis kecelakaan, data sensor dari peralatan, serta informasi terkait kondisi pekerja dan lingkungan, model dapat dilatih untuk mengenali pola-pola yang berkontribusi terhadap terjadinya risiko[7]. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi berbasis data yang lebih

akurat dibandingkan metode tradisional yang cenderung reaktif[8].

Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi beberapa tantangan, seperti keterbatasan kualitas dan ketersediaan data, kebutuhan komputasi yang tinggi, serta integrasi dengan sistem manajemen keselamatan yang sudah ada[9]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model deep learning dalam memprediksi risiko kerja pada perusahaan tambang batu bara, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keselamatan kerja serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dan berbasis data[10].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk mengembangkan model prediksi risiko kerja berbasis *deep learning* pada perusahaan tambang batu bara. Tahapan penelitian terdiri dari pengumpulan data, praproses data, pembangunan model, pelatihan dan pengujian, serta evaluasi kinerja model.

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dan primer yang diperoleh dari perusahaan tambang batu bara. Dataset meliputi: (1) data historis kecelakaan kerja, (2) data operasional alat berat (misalnya suhu mesin, getaran, beban kerja), (3) data lingkungan kerja (seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara), serta (4) data faktor manusia (jam kerja, tingkat kelelahan, dan pengalaman pekerja). Data dikumpulkan dalam periode waktu tertentu untuk menangkap pola temporal yang relevan.

2. Praproses Data

Tahap praproses dilakukan untuk memastikan kualitas data sebelum digunakan

dalam pemodelan. Proses ini meliputi pembersihan data (*data cleaning*) untuk mengatasi nilai hilang (*missing values*) dan data anomali, normalisasi atau standarisasi data, serta transformasi data kategorikal menjadi numerik. Selain itu, dilakukan pembagian dataset menjadi data pelatihan (*training set*) dan data pengujian (*testing set*) dengan proporsi tertentu, misalnya 80:20.

3. Pembangunan Model Deep Learning

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah arsitektur *deep learning* berupa *Artificial Neural Network (ANN)* dan *Long Short-Term Memory (LSTM)*. ANN digunakan untuk menangkap hubungan non-linear antar variabel, sedangkan LSTM digunakan untuk memodelkan data deret waktu (*time series*) yang memiliki ketergantungan temporal. Struktur model meliputi lapisan input, beberapa lapisan tersembunyi (*hidden layers*), dan lapisan output yang menghasilkan prediksi tingkat risiko kerja.

4. Pelatihan dan Pengujian Model

Model dilatih menggunakan data pelatihan dengan algoritma optimasi seperti *Adam optimizer* dan fungsi kerugian (*loss function*) yang sesuai, seperti *binary cross-entropy* atau *categorical cross-entropy*. Selama proses pelatihan, dilakukan penyesuaian parameter (*hyperparameter tuning*) seperti jumlah neuron, jumlah lapisan, dan tingkat pembelajaran (*learning rate*) untuk memperoleh performa terbaik. Model yang telah dilatih kemudian diuji menggunakan data pengujian untuk mengevaluasi kemampuannya dalam melakukan prediksi.

5. Evaluasi Kinerja Model

Kinerja model dievaluasi menggunakan beberapa metrik, antara lain akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*. Selain itu, digunakan *confusion matrix* untuk melihat distribusi hasil prediksi, serta kurva ROC-AUC untuk mengukur kemampuan model dalam

membedakan kelas risiko. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menentukan model terbaik yang dapat diimplementasikan dalam sistem prediksi risiko kerja.

6. Implementasi Sistem (Opsional)

Sebagai tahap lanjutan, model yang telah dikembangkan dapat diintegrasikan ke dalam sistem pendukung keputusan (*decision support system*) yang mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi risiko kerja di lingkungan tambang secara real-time.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan model prediksi risiko kerja berbasis *deep learning* yang mampu mengidentifikasi potensi kecelakaan pada lingkungan pertambangan batu bara.

Model yang dikembangkan menggunakan dua pendekatan utama, yaitu *Artificial Neural Network (ANN)* dan *Long Short-Term Memory (LSTM)*. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa kedua model mampu mempelajari pola hubungan antara variabel input seperti kondisi lingkungan, data operasional alat berat, serta faktor manusia terhadap tingkat risiko kerja.

Berdasarkan hasil pengujian, model LSTM menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan ANN, terutama dalam menangkap pola temporal dari data deret waktu. Hal ini ditunjukkan oleh nilai akurasi yang lebih tinggi serta peningkatan pada metrik evaluasi seperti *recall* dan *F1-score*. Kemampuan LSTM dalam mengingat informasi jangka panjang memungkinkan model untuk mengenali pola risiko yang berkembang secara bertahap, seperti kelelahan pekerja akibat jam kerja yang panjang atau penurunan performa alat berat seiring waktu.

Analisis lebih lanjut terhadap hasil prediksi menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap risiko kerja adalah kondisi lingkungan ekstrem (suhu

tinggi dan kualitas udara buruk), tingkat kelelahan pekerja, serta performa alat berat. Model mampu mendeteksi kombinasi faktor-faktor tersebut sebagai indikator meningkatnya risiko kecelakaan. Temuan ini sejalan dengan kondisi nyata di lapangan, di mana kecelakaan kerja sering terjadi akibat akumulasi berbagai faktor, bukan hanya satu penyebab tunggal.

Selain itu, penggunaan *deep learning* memberikan keunggulan dalam hal kemampuan generalisasi terhadap data baru. Model yang telah dilatih mampu memberikan prediksi yang konsisten ketika diuji dengan data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam sistem keselamatan kerja secara real-time.

Namun demikian, penelitian ini juga menemukan beberapa keterbatasan. Kualitas dan kelengkapan data sangat mempengaruhi performa model. Data yang tidak konsisten atau memiliki banyak nilai hilang dapat menurunkan akurasi prediksi. Selain itu, kebutuhan komputasi yang tinggi menjadi tantangan dalam implementasi di lingkungan industri yang belum memiliki infrastruktur teknologi yang memadai.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *deep learning* dalam prediksi risiko kerja dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan keselamatan di sektor pertambangan batu bara. Dengan integrasi ke dalam sistem manajemen keselamatan, model ini dapat digunakan sebagai alat pendukung keputusan untuk memberikan peringatan dini, sehingga perusahaan dapat mengambil tindakan preventif sebelum terjadinya kecelakaan kerja.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model prediksi risiko kerja pada perusahaan tambang batu bara dengan memanfaatkan metode *deep learning*. Model

yang dibangun, khususnya menggunakan pendekatan *Long Short-Term Memory (LSTM)*, menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menangkap pola kompleks dan hubungan temporal dibandingkan metode *Artificial Neural Network (ANN)*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai evaluasi yang lebih tinggi pada metrik akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi risiko kerja meliputi kondisi lingkungan, performa alat berat, serta faktor manusia seperti kelelahan dan jam kerja. Model yang dikembangkan mampu mengidentifikasi pola-pola tersebut secara efektif dan memberikan prediksi risiko secara dini.

Implementasi model prediksi berbasis *deep learning* ini berpotensi meningkatkan sistem keselamatan kerja di industri pertambangan melalui penyediaan informasi yang akurat dan berbasis data. Dengan adanya sistem peringatan dini, perusahaan dapat mengambil langkah preventif untuk mengurangi potensi kecelakaan kerja serta meningkatkan efisiensi operasional.

Namun demikian, keberhasilan model sangat bergantung pada kualitas dan ketersediaan data. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan dataset yang lebih besar dan beragam, serta mengintegrasikan model dengan sistem pemantauan secara real-time agar hasil yang diperoleh lebih optimal dan aplikatif di lingkungan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Li, "Application of Deep Learning in Mining Accident Prediction," *Advances in Computer, Signals and Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 26–34, 2025.
- [2] B. Zhang *et al.*, "Comparative study of unbalanced mining disaster risk level prediction based on artificial intelligence algorithms," *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.

- [3] Z. Guan *et al.*, “Research on predicting the risk level of coal mine roof accident based on machine learning,” *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [4] H. Li and L. Chen, “Traffic accident risk prediction based on deep learning and spatiotemporal features of vehicle trajectories,” *PLOS ONE*, vol. 20, no. 5, 2025.
- [5] G. A. Vivian, R. A. Bauder, and T. M. Khoshgoftaar, “A comprehensive survey on machine learning for workplace injury analysis: risk prediction, return to work strategies, and demographic insights,” *Journal of Big Data*, vol. 12, 2025.
- [6] A. Almutairi *et al.*, “Deep learning based predictive models for real time accident prevention,” *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [7] J. Woo Yoo, J. Park, and H. Park, “Enhancing safety of construction workers using machine learning-based accident prediction,” *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, vol. 31, no. 2, pp. 203–215, 2024.
- [8] J. Siswanto *et al.*, “Deep Learning Based LSTM Model for Accident Prediction,” *Jurnal Sains, Nalar, dan Aplikasi Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 3, 2024.
- [9] X. Zhang *et al.*, “Automated information mining in hazardous chemical accident reporting using deep learning,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 97, 2025.
- [10] X. Li *et al.*, “Application of Artificial Intelligence in Predicting Coal Mine Disaster Risks: A Review,” *Sensors*, vol. 25, no. 21, 2025.