

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan batubara merupakan salah satu sektor dengan tingkat risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang tinggi. Aktivitas operasional yang berlangsung selama 24 jam, penggunaan alat berat berskala besar, serta kondisi lingkungan kerja yang ekstrem menuntut kesiapan fisik dan mental operator secara optimal. Salah satu alat berat yang memiliki peran vital dalam rantai produksi pertambangan adalah *dump truck*, yang berfungsi sebagai sarana utama pengangkutan material dari *front* penambangan ke lokasi penimbunan atau pengolahan.

Operator *dump truck* menghadapi beban kerja fisik dan kognitif yang tinggi akibat jam kerja panjang, sistem kerja shift terutama shift malam, monoton pekerjaan, paparan getaran dan kebisingan, serta tuntutan konsentrasi tinggi dalam durasi lama, yang secara signifikan meningkatkan risiko kecelakaan kerja (Bellanca dkk., 2021). Data kecelakaan menunjukkan bahwa operator *dump truck* merupakan kelompok dengan tingkat keterlibatan insiden yang tinggi di sektor pertambangan, baik di Indonesia maupun internasional, termasuk kecelakaan akibat terpeleset dan jatuh saat naik atau turun alat, yang berkontribusi besar terhadap cedera serius hingga fatal (Santos dkk., 2010; National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2025; Mine Safety and Health Administration [MSHA], 2024/2025). Di Indonesia, tingginya angka kecelakaan tambang, termasuk pada operasi *dump truck*, juga tercatat secara resmi oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2023) serta diperkuat oleh temuan Nugroho dkk. (2024) yang menyatakan bahwa 13 dari 17 insiden di pertambangan batubara pada tahun 2023 melibatkan operator *dump truck* dan menyebabkan kerusakan properti kerja. Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kecelakaan tersebut adalah *fatigue* atau kelelahan operator, yang terbukti menurunkan konsentrasi, memperlambat waktu reaksi, mengganggu pengambilan keputusan, serta meningkatkan risiko *human error* dan *microsleep* (Bauerle dkk., 2018; Bauerle dkk., 2022; Drews dkk., 2020; Williamson dkk., 2011; Dawson & McCulloch, 2005). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa tingkat kelelahan operator *dump truck* dan alat berat di sektor pertambangan berada pada kategori risiko tinggi hingga sangat tinggi, dengan sebagian besar operator mengalami kelelahan ringan hingga berat (Folkard & Tucker, 2003; Dawson dkk., 2012; Setyawati, 2010;

Sari dkk., 2020). Bahkan, *fatigue* dilaporkan sebagai penyebab dominan kecelakaan pada operasi *dump truck*, mencapai 60% dari total kejadian (Sudiyanto dkk., 2017). Temuan-temuan ini menegaskan bahwa kelelahan pada operator *dump truck* bukan sekadar masalah individual, melainkan merupakan risiko sistemik yang berdampak langsung terhadap keselamatan dan kinerja operasional pertambangan.

PT Pama Persada Nusantara (PAMA) merupakan salah satu kontraktor pertambangan batubara terbesar di dunia. PAMA memiliki 19 lokasi kerja (*site*) di Indonesia, diantaranya adalah Site Muara Tiga Besar Utama (MTBU), di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. PAMA Site MTBU memiliki 852 operator *dump truck* yang bekerja pada kondisi menantang. Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti *fatigue* pada operator *dump truck* (Adyatama dkk., 2019; Drews dkk., 2020; Mulyati dkk., 2020), namun penelitian ini menawarkan kebaruan dengan menggabungkan pengukuran subjektif menggunakan kuesioner *Swedish Occupational Fatigue Inventory* (SOFI) dan pengukuran objektif menggunakan *Smartwatch* Xiaomi Mi Band telah memenuhi standar internasional terkait cara mendeteksi waktu tidur (Goodeva, 2023). Kuesioner SOFI dipilih karena merupakan instrumen yang terstandarisasi dan telah teruji validitas dan reliabilitasnya dalam mengukur *fatigue* pada berbagai profesi (Suparmam dkk., 2022), termasuk operator alat berat (Safitri, 2023). Menurut penelitian Rofi'i dan Tejamaya (2022) kuesioner SOFI mempunyai tingkat validitas dan reliabilitas yang tinggi dibanding kuesioner lain. Penelitian ini juga menggunakan kuesioner *Work Ability Index* (WAI) untuk mengukur kemampuan kerja operator *dump truck* secara subjektif dan menganalisis hubungannya dengan *fatigue*. Menurut Yuliani, dkk. (2018) terdapat hubungan antara derajat kelelahan yang dinilai menggunakan kuesioner SOFI dengan kemampuan kerja seseorang. Peningkatan nilai SOFI akan menyebabkan penurunan nilai WAI dan begitu pula sebaliknya. Penggabungan ini penting karena sering terjadi ketidaksesuaian antara *fatigue* yang dirasakan secara sadar (subjektif) dengan perubahan fisiologis yang terukur, sehingga analisis korelasi komprehensif diperlukan.

Selain itu, penelitian ini mengembangkan model prediksi *fatigue* berbasis *machine learning* dengan memanfaatkan data dari SOFI dan *Smartwatch* untuk identifikasi dini dan pencegahan *fatigue* pada operator *dump truck*. Pendekatan *Machine Learning*, khususnya *Random Forest Regressor*, dipilih karena kemampuannya dalam menangani hubungan non-linier antar variabel dan mengidentifikasi peringkat variabel prediktor paling berpengaruh secara eksplisit. Hal ini menjadikan penelitian berbeda dari penelitian sebelumnya yang

umumnya hanya menggunakan metode statistik konvensional dalam menganalisis data kelelahan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran yang omprehensif tentang *fatigue* pada operator *dump truck* di PT PAMA Site MTBU dan mengembangkan strategi pencegahan dan penanganan *fatigue* yang efektif guna meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan pertambangan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bermaksud untuk mengidentifikasi, menganalisis dan memprediksi *fatigue* pada operator *dump truck* di PT PAMA Site MTBU dengan menggabungkan pendekatan subjektif dan objektif, yaitu melalui kuesioner SOFI serta pengukuran data tidur dan detak jantung menggunakan *Smartwatch*. Selain itu penelitian ini bermaksud menganalisis hubungan *fatigue* dengan kinerja operator *dump truck* melalui kuesioner WAI.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi tingkat *fatigue* subjektif (SOFI)
2. Mengidentifikasi tingkat kemampuan kerja (WAI) operator *dump truck*
3. Menganalisis hubungan timbal balik antara tingkat *fatigue* subjektif (SOFI) dan persepsi kemampuan kerja (WAI) sebagai validasi silang instrumen.
4. Menganalisis hubungan dan kesesuaian korelasi antara variabel subjektif (*Total SOFI Score* dan *Total WAI Score*) dengan data fisiologis objektif (*Smartwatch*).
5. Mengidentifikasi variabel prediktor paling berpengaruh dalam pemodelan *Machine Learning* sebagai dasar rekomendasi intervensi dini *fatigue* operator.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama di bidang K3.
2. Memberikan rekomendasi kepada PT Pama Persada Nusantara untuk meningkatkan program K3 dan mengurangi kecelakaan akibat *fatigue* pada operator *dump truck*.
3. Membantu PT Pama Persada Nusantara dalam mengidentifikasi operator *dump truck* yang berpotensi mengalami *fatigue* sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan secara dini.
4. Meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan *fatigue* pada operator *dump truck* untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan produktif.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1. Penelitian ini dilakukan di PT PAMA Site MTBU

2. Subjek penelitian adalah operator *dump truck* di PT PAMA Site MTBU
3. Metode pengumpulan data:
 - a. Pengukuran *fatigue* menggunakan kuesioner SOFI
 - b. Pengukuran kemampuan kerja menggunakan kuesioner WAI
 - c. Pengukuran data rekaman tidur dan detak jantung menggunakan *Smartwatch*.
4. Variabel yang diteliti:
 - a. Derajat *fatigue* berdasarkan kuesioner SOFI.
 - b. Derajat kinerja operator berdasarkan WAI.
 - c. Data rekaman tidur dan detak jantung yang diukur oleh *Smartwatch*.
5. Waktu penelitian: Penelitian dilakukan pada bulan Juni s/d Desember 2025.

1.5 Sistematika Penulisan Tesis

Sistematika penulisan tesis ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai alur pembahasan penelitian sehingga memudahkan pembaca dalam memahami isi tesis secara menyeluruh. Tesis ini terdiri atas lima bab yang saling berkaitan. Bab I merupakan Pendahuluan yang memuat latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II merupakan Tinjauan Pustaka yang berisi teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep *fatigue*, industri pertambangan, operator *dump truck*, profil PT Pama Persada Nusantara, metode analisis data, *machine learning*, serta penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi dasar pengembangan penelitian. Bab III merupakan metodologi penelitian yang menjelaskan jenis dan desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, populasi dan sampel, variabel penelitian, teknik pengumpulan data, instrumen penelitian, prosedur penelitian, serta metode analisis data yang digunakan, termasuk pengembangan model prediksi *fatigue* berbasis *machine learning* menggunakan data kuesioner SOFI, *Work Ability Index* (WAI), serta data tidur dan detak jantung yang diperoleh melalui *smartwatch*.

Bab IV merupakan hasil dan pembahasan yang menyajikan hasil analisis data penelitian, meliputi karakteristik responden, tingkat *fatigue* operator *dump truck*, hubungan antara data tidur dan detak jantung dengan *fatigue*, hubungan *fatigue* terhadap kemampuan kerja operator, hasil pengembangan dan evaluasi model prediksi *fatigue* berbasis *machine learning*, serta pembahasan hasil penelitian dengan mengacu pada teori dan penelitian terdahulu. Bab V merupakan penutup yang berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian serta saran yang

ditujukan bagi perusahaan, peneliti selanjutnya, dan pihak-pihak terkait sebagai upaya peningkatan pengelolaan *fatigue* dan keselamatan kerja operator *dump truck* di industri pertambangan batubara.

