

# **BAB I**

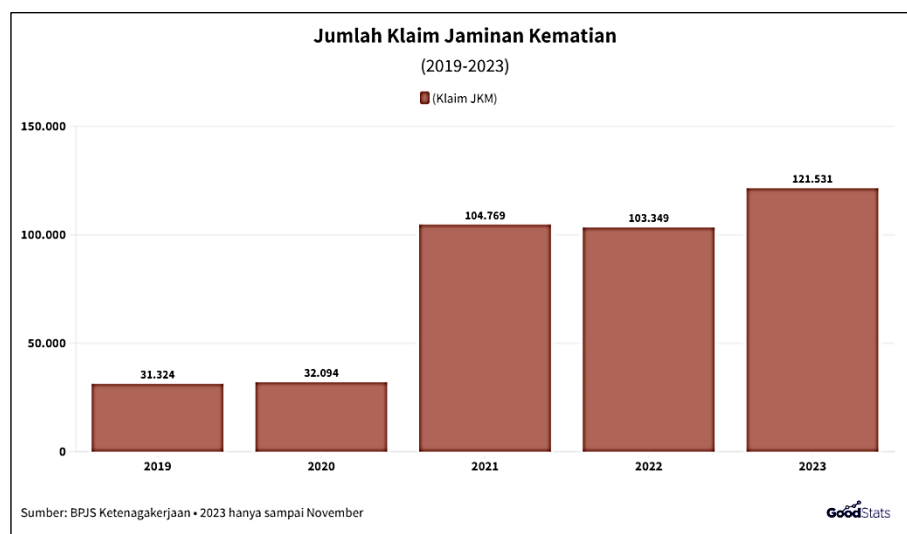
## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan elemen fundamental dalam operasional industri logistik dan pergudangan yang ditandai oleh aktivitas tinggi serta interaksi langsung antara pekerja dan alat berat. Dalam kondisi tersebut, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti helm dan rompi keselamatan menjadi perlindungan dasar untuk meminimalkan risiko cedera. Namun, tingkat kepatuhan penggunaan APD di lapangan masih belum optimal, terutama pada area kerja yang luas dan melibatkan banyak pekerja. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengawasan konvensional belum efektif dalam menjamin disiplin K3 secara konsisten. Secara nasional, permasalahan ini tercermin dari tingginya angka kecelakaan kerja di Indonesia yang berdasarkan Data Prioritas Ketenagakerjaan (DPI) tahun 2023, jumlah kasus kecelakaan kerja di Indonesia mencapai 370.747 kasus dengan 347.855 kasus pada sektor Penerima Upah (PU), 19.921 kasus pada sektor Bukan Penerima Upah (BPU), dan 2.971 kasus pada sektor Jasa Konstruksi. Provinsi dengan jumlah kasus tertinggi tercatat di wilayah industri padat, yaitu Jawa Barat sebanyak 66.029 kasus dan Jawa Timur sebanyak 56.603 kasus pada tahun 2023 mengindikasikan bahwa daerah dengan aktivitas manufaktur dan distribusi tinggi cenderung memiliki paparan risiko kerja yang lebih besar dibandingkan wilayah dengan tingkat industrialisasi yang lebih rendah.

Data dari BPJS Ketenagakerjaan menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2018 terdapat sekitar 147.000 kasus kecelakaan kerja di Indonesia, dengan 3,12%–3,18%

berakibat cacat permanen dan 1,75% menyebabkan kematian; artinya, setiap hari terjadi sekitar 40.273 insiden yang melibatkan pekerja ( $\pm 12$  pekerja mengalami kecacatan dan 7 orang meninggal per hari) Data dari BPJS Ketenagakerjaan 2018 mencatat sekitar 147.000 kasus kecelakaan kerja di Indonesia, dengan 3,12%–3,18% menyebabkan cacat permanen dan 1,75% berakibat kematian. Ini berarti ada sekitar 40.273 insiden per tahun, atau  $\pm 12$  pekerja cacat permanen dan 7 orang meninggal setiap hari (Maulana dan Fadillah, 2022). Yang menjadi perhatian utama adalah sekitar 80–85% kecelakaan kerja disebabkan tindakan tidak aman (*unsafe actions*), termasuk ketidakpatuhan penggunaan APD dan pengabaian prosedur K3 (Azizah dkk., 2025). Selain itu, tren klaim kecelakaan kerja menunjukkan peningkatan, dari 103.349 klaim pada tahun 2022 menjadi 121.531 klaim pada Januari–November 2023 (Saputra, 2024).



Gambar 1. 1 Jumlah Klaim Jaminan Kematian tahun 2019 – 2023

Sumber: Yonatan (2024)

Dokumen Komisi IX DPR RI mencatat fluktuasi angka fatalitas akibat kecelakaan kerja, yakni 4.007 orang meninggal pada 2020, turun menjadi 3.410 pada 2021, namun meningkat tajam menjadi 6.552 pada 2022 (Nola, 2023). Hal ini

menunjukkan bahwa kebijakan dan program K3 saat ini belum mampu menekan angka kecelakaan secara berkelanjutan. Berbagai studi menegaskan bahwa faktor perilaku manusia menjadi penyebab utama, di mana penelitian di Surabaya menunjukkan 57,4% kecelakaan disebabkan oleh tindakan tidak aman (Syah dan Mirwan, 2022). Kondisi serupa ditemukan di Gresik, kota dengan aktivitas produksi dan logistik tinggi. Data BPJS Ketenagakerjaan Cabang Gresik mencatat 2.028 klaim Jaminan Kecelakaan Kerja pada Januari–April 2025, dengan total santunan Rp7,3 miliar, mencakup: 1.185 kecelakaan di lingkungan kerja, 669 kecelakaan kendaraan, dan 174 kecelakaan area luar gedung tapi masih terkait pekerjaan (Anam, 2025). Temuan ini menegaskan perlunya pengawasan K3 yang lebih efektif, khususnya di industri dengan aktivitas padat (gudang dan kawasan logistik).

Berdasarkan penjelasan di atas, jika ditinjau lebih spesifik pada konteks industri, risiko kecelakaan kerja di sektor industri terlihat dominan pada area dengan aktivitas intens, bahkan pada sektor logistik dan pergudangan. Di Gresik, gudang menjadi lokasi representatif karena memiliki aktivitas bongkar muat cepat, penggunaan alat berat, dan mobilitas tinggi pekerja, sehingga potensi insiden cukup besar. Sistem pengawasan manual yang mengandalkan pengawas lapangan terbatas jangkauannya, rawan kelelahan, dan sulit memantau seluruh area secara simultan. Akibatnya, pelanggaran kecil seperti ketidaksesuaian penggunaan APD kerap luput dari pengawasan dan berulang hingga menjadi sumber utama insiden kerja (Rizky dan Nugraha, 2022).

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan penulis dengan Manajer K3 Gudang Beton KIG, diketahui pernah terjadi *near-miss* akibat pekerja tidak memakai rompi keselamatan (*safety vest*) di area bongkar muat, sehingga tidak

terlihat oleh operator alat berat. Hal ini menyebabkan pekerja cedera sekaligus menunjukkan keterbatasan pengawasan manual dalam memastikan kepatuhan APD serta mencegah potensi insiden. Dikarenakan data pelanggaran K3 pada PT Petrokopindo Cipta Selaras bersifat internal dan tidak dapat diakses langsung, penelitian ini melakukan pengumpulan data primer melalui observasi lapangan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kepatuhan pekerja terhadap penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) serta penerapan K3 secara aktual. Observasi dilakukan selama 5 hari berturut-turut, dengan 6 slot pengamatan per jam pada setiap hari, sehingga total terdapat 30 kali pengamatan yang mencakup berbagai kondisi kerja, aktivitas pekerja, dan situasi lingkungan di area gudang. Setiap slot pengamatan berdurasi sekitar satu jam dan dilakukan pada waktu berbeda untuk mendapatkan variasi kondisi lapangan yang representatif. Jumlah 30 kali pengamatan dipilih berdasarkan prinsip *Central Limit Theorem*, yang menyatakan bahwa ukuran sampel minimal 30 sudah cukup untuk menghasilkan data stabil dan representatif secara statistik (Acra, 2020).

Tabel 1. 1 Distribusi Pelanggaran Penggunaan APD Berdasarkan Observasi

| No    | Jenis Pelanggaran         | Frekuensi | Persentase |
|-------|---------------------------|-----------|------------|
| 1     | Tidak Pakai Helm          | 76        | 34%        |
| 2     | Tidak Pakai Masker        | 68        | 31%        |
| 3     | Tidak Pakai Rompi         | 72        | 33%        |
| 4     | Berada di Area Tanpa Izin | 5         | 2%         |
| Total |                           | 221       | 100%       |

Sumber: Data Primer (2025)

Hasil observasi menunjukkan terdapat 221 pelanggaran aktual terhadap ketentuan K3, dengan rata-rata 44 pelanggaran per hari atau 7 pelanggaran per slot pengamatan. Pelanggaran tertinggi adalah tidak menggunakan helm (76 kasus,

34%), diikuti tidak menggunakan rompi (72 kasus, 33%) dan tidak menggunakan masker (68 kasus, 31%), sedangkan pelanggaran area tanpa izin hanya 2%. Hasil ini mengindikasikan bahwa tingkat kepatuhan pekerja terhadap penggunaan APD masih rendah, sehingga diperlukan upaya peningkatan pengawasan dengan mengoptimalisasi sistem pengawasan untuk menekan angka pelanggaran di lapangan. Upaya tersebut menjadi langkah yang realistis dan strategis untuk menekan risiko agar pekerja tetap menggunakan APD. Meskipun prinsip dasar pengendalian risiko dalam K3 menempatkan eliminasi bahaya sebagai langkah paling efektif, pendekatan tersebut tidak sepenuhnya dapat diterapkan pada lingkungan kerja seperti gudang industri (NIOSH, 2021). Terlebih, kondisi gudang yang dinamis meliputi: cuaca kabur berdebu, objek yang menutupi pandangan, aktivitas manusia di sekitar alat berat dan mesin yang menimbulkan gangguan visual, serta pergerakan pekerja yang cepat menjadi tantangan bagi sistem pengawasan manual/konvensional. Mengingat aktivitas bongkar muat dan pengoperasian alat berat merupakan bagian esensial yang tidak dapat dihilangkan (NIOSH, 2021).

Sebagai solusi terhadap tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem peringatan dini pelanggaran K3 berbasis kamera pintar yang mampu mendeteksi ketidaksesuaian penggunaan APD secara otomatis dan *real time*. Sistem ini memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dikombinasikan dengan algoritma *You Only Look Once version 8* (YOLOv8) untuk mengenali objek seperti helm dan rompi secara cepat dan akurat. Pemrosesan dilakukan langsung di perangkat (*edge computing*),

sehingga sistem bekerja secara mandiri, kontinu, dan tanpa ketergantungan tinggi pada server pusat (Nguyen dkk., 2024).

Penggabungan antara *artificial intelligence*, pengawasan visual, dan peringatan dini dapat menjadi solusi preventif yang modern, efisien, serta adaptif terhadap kondisi lingkungan kerja industri yang diharapkan dapat menciptakan sistem *monitoring* K3 yang adaptif, efisien, dan skalabel. Dengan adanya sistem ini, pengawasan K3 dapat beralih dari cara manual menuju sistem otomatis yang bekerja secara berkelanjutan dan objektif. Pendekatan berbasis kamera pintar dan AI tidak hanya membantu dalam mendeteksi pelanggaran APD, tetapi juga mendorong terciptanya budaya keselamatan kerja (*safety culture*) yang lebih kuat di lingkungan industri. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem monitoring K3 yang lebih efektif, khususnya di Gudang Beton Kawasan Industri Gresik (KIG). Dengan begitu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar penerapan sistem pengawasan berbasis visual cerdas yang bersifat preventif, adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan operasional di sektor logistik dan pergudangan modern.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengawasan K3 berbasis kamera pintar yang mampu mendeteksi ketidaksesuaian penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) secara *real time* melalui integrasi CNN–YOLOv8, sebagai upaya optimalisasi

fungsi pengawasan dan pencegahan risiko kecelakaan kerja di lingkungan gudang industri?

2. Sejauh mana sistem yang dikembangkan mampu mempertahankan tingkat akurasi, presisi, dan kecepatan deteksi penggunaan APD pada berbagai kondisi lingkungan kerja yang dinamis?
3. Bagaimana hasil deteksi sistem dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan rekomendasi regulasi internal serta mekanisme sanksi K3 yang lebih terukur untuk meningkatkan kepatuhan penggunaan APD di area kerja gudang?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka didapat tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Merancang dan mengembangkan sistem pengawasan K3 berbasis kamera pintar dengan integrasi metode CNN-YOLOv8 yang mampu mendeteksi ketidaksesuaian penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) secara otomatis dan *real time* sebagai upaya optimalisasi pengawasan serta pencegahan risiko kecelakaan kerja di lingkungan gudang industri.
2. Mengevaluasi performa sistem deteksi terhadap penggunaan APD berdasarkan parameter akurasi, presisi, dan kecepatan deteksi pada berbagai kondisi lingkungan kerja yang dinamis.
3. Menganalisis hasil deteksi sistem untuk menghasilkan rekomendasi penyusunan regulasi internal dan mekanisme sanksi K3 yang lebih terukur dalam meningkatkan kepatuhan penggunaan APD di area kerja gudang.

#### 1.4 Batasan Penelitian

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian serta menjaga konsistensi pembahasan, maka ditetapkan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Deteksi sistem difokuskan pada dua kategori utama, yaitu Alat Pelindung Diri (APD) yang mencakup deteksi kepatuhan (positif) dan ketidakpatuhan (negatif) terhadap penggunaan helm, masker, dan rompi keselamatan; serta objek non-APD yang relevan dengan keselamatan kerja seperti *person*, *vehicle*, *machine*, dan *Safety Cone*.
2. Implementasi sistem dilakukan pada satu zona kerja dalam proyek berskala menengah ke bawah, dengan menggunakan satu kamera statis sebagai perangkat utama pengawasan. Pembatasan ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan ketersediaan sumber daya dan kompleksitas sistem kerja yang masih dapat dikendalikan secara visual.
3. Sistem dikembangkan menggunakan metode CNN-YOLOv8 pada perangkat laptop dengan kamera internal, tanpa integrasi tambahan seperti *Edge-IoT*, *cloud computing*, atau *project management system*.
4. Uji coba dilakukan pada kondisi siang hari, sehingga belum mencakup variasi ekstrem seperti kondisi malam, badai, atau tingkat gangguan visual yang tinggi.
5. Fitur peringatan dini terbatas pada notifikasi visual dan suara melalui *dashboard monitoring*, tanpa terhubung langsung dengan sistem kontrol mesin produksi.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek hukum atau perumusan kebijakan baru, namun tetap berpedoman pada regulasi K3 yang berlaku, meliputi UU No. 1

Tahun 1970, UU No. 13 Tahun 2003 jo. UU No. 11 Tahun 2020, PP No. 50 Tahun 2012, serta Permenaker No. 8 Tahun 2010 tentang Alat Pelindung Diri (APD).

### 1.5 Asumsi Penelitian

Penelitian ini disusun dengan beberapa asumsi dasar yang ditetapkan sebagai berikut:

1. Gudang Beton KIG memiliki tingkat aktivitas yang tinggi, melibatkan banyak pekerja, dan menggunakan peralatan berat, sehingga risiko kecelakaan kerja relatif tinggi apabila tidak ada kepatuhan terhadap prosedur K3.
2. Sebagian pekerja cenderung tidak konsisten dalam menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) meskipun sudah terdapat aturan dan sosialisasi dari perusahaan.
3. Pengawasan manual yang dilakukan petugas tidak mampu menjangkau seluruh area gudang secara efektif karena keterbatasan jumlah pengawas, luas area, serta tingginya intensitas aktivitas kerja.
4. Teknologi *Computer Vision* berbasis CNN–YOLOv8 memiliki kemampuan deteksi objek secara *real time* dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kelengkapan APD pekerja di lingkungan kerja industri.
5. Meskipun sistem dalam penelitian ini belum terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT), hasil pengembangan diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan lanjutan menuju sistem pengawasan K3 otomatis berbasis IoT yang bersifat *real time*, kontinu, dan objektif.

6. Objek *person* merepresentasikan pekerja untuk memantau kepatuhan APD tanpa mempertimbangkan potensi *human error*, *machinery* hanya mencakup mesin pemecah granula dan mesin *packing*, sedangkan *vehicle* mencakup wheel loader, forklift, dan truk tangki yang beroperasi di area penelitian.
7. Jarak maksimal kamera untuk pemantauan ditetapkan sekitar 20 meter guna memastikan deteksi pekerja berlangsung secara akurat. Penelitian ini menggunakan YOLOv8, karena pada saat pelaksanaan, versi terbaru YOLOv11 masih memiliki potensi *bug* dan latensi yang lebih tinggi dibandingkan versi 8.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3), baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

### **1.6.1 Manfaat Teoritis**

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang *Computer Vision* dan *Deep Learning*, khususnya dalam penerapan metode CNN-YOLOv8 untuk deteksi kepatuhan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di lingkungan kerja industri.
2. Menjadi referensi ilmiah dalam pengintegrasian teknologi kamera pintar dengan prinsip keselamatan dan kesehatan kerja (K3), sehingga memperkuat kajian interdisipliner antara teknologi informasi, ergonomi, dan manajemen risiko kerja.

3. Menyediakan landasan konseptual bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things* (IoT) maupun integrasinya dengan sistem manajemen K3 di tingkat perusahaan.

### **1.6.2 Manfaat Praktis**

1. Membantu perusahaan, khususnya pada sektor konstruksi hingga manufaktur, dalam meningkatkan efektivitas pengawasan kepatuhan penggunaan APD melalui sistem berbasis kamera pintar yang bekerja secara *real time*.
2. Memberikan alternatif solusi pengawasan yang lebih efisien dibandingkan metode manual, dengan potensi mengurangi *human error* dan mempercepat respons terhadap pelanggaran K3 di area kerja.
3. Menjadi dasar bagi pengembangan sistem monitoring K3 berbasis teknologi cerdas yang dapat diterapkan pada berbagai area berisiko tinggi, sehingga mendukung terciptanya budaya keselamatan kerja (*safety culture*) yang lebih kuat.

## **1.7 Sistematika Penelitian**

Sistematika penelitian adalah susunan atau kerangka penulisan yang berfungsi sebagai pedoman dalam menyusun laporan penelitian agar pembahasan lebih terstruktur, runtut, dan mudah dipahami. Dengan adanya sistematika penelitian, pembaca dapat mengikuti alur berpikir peneliti mulai dari latar belakang hingga kesimpulan yang dihasilkan.

## **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi uraian mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi penelitian, serta

sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan alasan dilakukannya penelitian serta arah yang ingin dicapai.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas teori-teori yang relevan sebagai landasan penelitian, hasil penelitian terdahulu, serta kerangka pemikiran yang digunakan untuk mendukung analisis. Bab ini juga mencakup kajian mengenai K3, teknologi pendukung (CNN, YOLOv8, deteksi objek, *early warning system*) yang menjadi yang menjadi dasar teori penelitian.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan pendekatan, metode, serta tahapan penelitian yang dilakukan. Bab ini mencakup rancangan sistem, teknik pengumpulan data, spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, serta prosedur pengujian sistem.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas hasil pengembangan dan implementasi sistem pengawasan K3 berbasis kamera pintar menggunakan metode CNN–YOLOv8 di gudang beton KIG. Pembahasan difokuskan pada analisis data, pengolahan dan pengembangan *machine learning*, integrasi sistem, serta evaluasi tingkat kepatuhan pekerja terhadap penggunaan APD.

## **BAB V PENUTUP**

Merangkum hasil penelitian dalam bentuk kesimpulan dan memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**