

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi, keselamatan kerja merupakan aspek yang sangat penting. Kecanggihan suatu proses otomatisasi atau efektivitas dari suatu mesin merupakan perkembangan yang penting dalam setiap revolusi industri, namun perkembangan industri juga perlu mengembangkan aspek keselamatan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya insiden kecelakaan dalam pekerjaan yang dapat menyebabkan celaka atau cedera terhadap para pekerja. *International Labour Organization* (ILO) memiliki estimasi 3 juta jiwa meninggal dan 395 juta cedera tidak fatal akibat kecelakaan yang menyangkut pekerjaan di dunia[1]. Area Asia-Pasifik berkontribusi sebesar 63% dari total angka tersebut karena jumlah pekerja yang besar. Di Indonesia, angka kasus kecelakaan kerja oleh Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS) sebanyak 114.235 di tahun 2019 dan meningkat menjadi 117.161 pada tahun 2020 [2]. Dari angka tersebut, kurang lebih 12 pekerja setiap harinya di Indonesia mengalami cacat permanen. Jumlah kecelakaan dalam pekerjaan terbesar terjadi di sektor manufaktur dan konstruksi yang memiliki 63.6%, sektor transportasi 9.3%, pertambangan 2.6%, dan bidang lainnya sebesar 20.7%[3].

Faktor yang mempengaruhi tingginya angka kecelakaan dalam bidang manufaktur dan konstruksi dapat dibagi menjadi dua, yakni faktor manusia dan faktor lingkungan. Faktor manusia timbul dari kelalaian manusia, contohnya tidak menggunakan Alat Pelindung Diri (APD), dan melakukan *unsafe action* di area pekerjaan. Sementara itu, faktor lingkungan muncul akibat area pekerjaan yang tidak aman seperti lantai licin, tidak adanya pengaman pada mesin, atau mesin yang terbuka[4].

Upaya seperti menerapkan *Sustainable Development Goals* (SDG) merupakan salah satu inisiatif yang dibuat oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk

meningkatkan kesejahteraan manusia di dunia [5]. Salah satu tujuan SDG yang penting dalam konteks industri adalah poin ke-8 yang mengutamakan perkembangan industri yang *sustainable* dan aman bagi para pekerjanya [5], [6]. Pekerjaan yang tidak aman tidak layak karena pekerja merupakan sebuah sumber daya yang memiliki hak sebagai manusia untuk melakukan pekerjaannya tanpa menerima risiko keselamatan ataupun kesehatannya. Oleh karena itu, pengamanan area pekerjaan dan keselamatan para pekerja menjadi salah satu poin penting dalam mewujudkan tujuan SDG.

Upaya penyuluhan tentang penggunaan APD ataupun melakukan tindakan *unsafe action* merupakan salah satu cara yang diusung SDG, namun cara tersebut memiliki kekurangan. Contohnya adalah kenaikan efektivitas penggunaan APD yang sedikit dengan penyuluhan penggunaan APD terhadap sebuah Bengkel UKM [7]. Penelitian tersebut menunjukkan nilai beragam mengenai efektivitas penyuluhan. Kenaikan paling rendah dilihat dari 22.86% ke 57.14% tentang penggunaan celemek saat melakukan las, sementara yang paling tinggi adalah kenaikan dari 31.43% ke 74.29% tentang penggunaan helm. Dari penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penyuluhan memiliki efektivitas beragam terhadap individu yang mendapatkan penyuluhan tersebut. Individu yang menerima penyuluhan dengan cepat memiliki latar belakang SMK Teknik, sehingga efek personal atau kepribadian manusia juga mengganggu efektivitas penyuluhan mengenai APD.

Integrasi sensor yang diusung Industri 4.0 dapat digunakan untuk mengurangi kesalahan individu atau resistansi terhadap penyuluhan ataupun penerapan APD pada lingkungan pekerjaan di pabrik. Sistem tersebut diwujudkan dengan menyatukan berbagai macam sensor dan *switch* pada area pekerjaan dan mesin pabrik. Hasilnya, sistem akan menganalisis setiap data seperti keadaan mesin, jumlah orang yang ada di pabrik, serta data-data yang penting dalam kelangsungan produksi dalam sebuah pabrik. Analisa yang dihasilkan dapat digunakan dalam *predictive maintenance*, *machine optimization*, serta *workplace safety* [8]. Salah satu sensor penting yang berperan penting dalam sistem tersebut adalah *vision*-

based sensor seperti kamera. Kamera dapat digunakan secara langsung seperti *closed-circuit television* (CCTV), namun penggunaan kamera dapat dikembangkan menggunakan proses *image processing* dan *computer vision*. Proses tersebut memiliki kapabilitas untuk mengolah hasil video kamera, kemudian menggunakan hasil olahan atau analisis tersebut untuk mendeteksi anomali atau pelanggaran aturan keamanan pada pabrik secara otomatis. Melalui pendeteksian pelanggaran inilah sebuah sistem *checking* otomatis terhadap individu diterapkan sehingga peraturan penggunaan APD diterapkan oleh setiap pekerja.

Pengertian dari *image processing* atau *digital image processing* adalah proses pengolahan gambar digital menggunakan sebuah yang diprogram sebelumnya algoritma [9]. Secara singkat, *image processing* menggunakan tersebut untuk mengolah sinyal *input* berupa gambar, kemudian mengeluarkan *output* berupa hasil analisa yang dapat mendeteksi objek ataupun melakukan segmentasi objek. Contoh algoritma *image processing* yang tersedia adalah MobileNet, *Faster Region-Convolutional Neural Network* (Faster R-CNN), *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dan *You Only Look Once* (YOLO).

Dalam sebuah penelitian untuk menciptakan otomatisasi klasifikasi sampah berdasarkan tipenya menggunakan arsitektur algoritma *Convolution Neural Network* (CNN) dengan memanfaatkan fitur *depthwise separable* dan *pointwise convolution* dari MobileNet. Hasilnya, sistem yang dibuat berhasil mengidentifikasi tiga tipe sampah yakni organik, logam dan plastik dengan akurasi 86.67% dan presisi mencapai 100% [10].

Performa dari algoritma YOLOv3 dan Faster R-CNN untuk mendeteksi APD memiliki performa yang lebih akurat dibandingkan YOLOv3. Hasil dari penelitian tersebut menemukan performa Faster R-CNN menggunakan matriks F1 Score untuk mendeteksi penggunaan APD pada pekerja dan menghasilkan nilai 0.95 dan 0.956 yang menunjukkan presisi tinggi [11].

Beberapa penelitian untuk membandingkan performa dari YOLO, SSD dan Faster R-CNN menyimpulkan bahwa YOLO memiliki performa paling baik untuk

penerapan di dunia nyata karena performa kecepatan yang tinggi. SSD memiliki performa yang baik di akurasi dan kecepatan. Sementara itu, Faster R-CNN memiliki tingkat akurasi tinggi namun lambat dalam performa kecepatan [12][13].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa YOLO cocok untuk digunakan karena kecepatannya yang lebih tinggi dibandingkan algoritma lainnya saat diimplementasikan untuk keamanan di lingkungan kerja,. Algoritma YOLO sendiri merupakan algoritma berbasis CNN yang dikembangkan oleh Ultralytics. YOLO sering digunakan untuk *object detection* yang dimanfaatkan untuk proses mengidentifikasi sebuah objek atau lokasi dari gambar atau video[14]. Hasil pengolahan gambar pada *image processing* kemudian digunakan di *computer vision* (CV) yang berfungsi untuk melakukan sebuah perintah, pekerjaan, atau pengambilan keputusan [15].

Sebelum memproses gambar atau video, algoritma YOLO memerlukan sebuah data set untuk mengidentifikasi objek dari gambar atau video yang diberikan sistem. Data set merupakan kumpulan referensi kategori objek[16]. Contoh data set yang sering digunakan adalah *Common Objects in Context* (COCO) [17] dan *Pascal Visual Object Classes* (VOC)[18]. Kedua data set tersebut memiliki banyak kategori umum seperti binatang, tumbuhan, objek sehari-hari. Namun, data set tersebut sering kali tidak punya kategori spesifik seperti objek yang muncul di area industri. Untuk mengatasi hal tersebut, *software* yang biasanya digunakan adalah Roboflow. Roboflow merupakan *software* berbasis web yang mampu untuk membuat data set atau *vision models* dari proses labelisasi, melatih, sampai ke penerapannya. Hal ini diperlukan supaya data set yang dihasilkan dapat dideteksi dan diklasifikasikan oleh algoritma sesuai dengan parameter pelatihan pengguna pada data set ketika nanti digunakan. Ultralytics merupakan pengembang sekaligus nama dari *library* yang digunakan untuk YOLO mengintegrasikan data set dengan algoritma YOLO[19]. Melalui Ultralytics, performa pelatihan algoritma dapat dilihat untuk melakukan analisa ketepatan serta presisi dari algoritma YOLO yang dihasilkan dengan data set yang dibuat melalui Roboflow.

Performa dari algoritma *image processing* dan penerapannya dapat dilihat dari beberapa pengukuran tergantung dari objektif penggunaan *image processing*. Hasil pengukuran yang relevan tersebut adalah; *Intersection over Union* (IoU), *Average Precision* (AP), *mean Average Precision* (mAP), *Precision*, *Recall*, dan *F1 Score* [20], [21]. IoU merupakan ukuran seberapa besar *overlap* sebuah kotak prediksi dengan kotak prediksi lainnya yang terdeteksi algoritma. AP merupakan pengukuran presisi diukur berdasarkan besaran area *precision-recall curve*. *Precision-recall curve* merupakan kurva korelasi antara *precision* atau *recall*. mAP memperbesar konsep AP dengan menghitung rata-rata dari AP kelas objek-objek yang dapat dilihat algoritma. *Precision* merupakan proporsi kebenaran pendeteksian dari prediksi positif, atau secara singkat, *precision* mengukur berapa pendeteksian yang benar. *Recall* merupakan perhitungan proporsi semua *true positives* di antara semua gambar yang positif sehingga *recall* mengukur kapabilitas pendeteksian sistem untuk mendeteksi semua kelas-kelas objek yang ada. *F1 Score* merupakan nilai keharmonisan rata-rata antara *precision* dan *recall* untuk menilai performa dari model dengan mempertimbangkan pengukuran *false positives* dan *false negatives*.

Salah satu *unsafe action* yang sering dilakukan oleh seorang pekerja adalah menyalakan mesin ketika tidak berada di area operasi. Sistem *image processing* dapat digunakan untuk mengukur lokasi seseorang sehingga jika orang tersebut tidak berada di dalam area yang ditentukan sebelumnya, mesin tidak akan menyala. YOLOv11 dapat melokalisasi instansi perbedaan objek yang mirip, namun belum dapat menentukan letak objek secara langsung relatif terhadap kamera di posisi yang ditentukan sebelumnya. Kapabilitas tersebut didapatkan dari OpenCV, lebih tepatnya pada fungsi ROI atau *Region of Interest* yang dapat mendefinisikan beberapa titik koordinat sebagai titik ROI sehingga membentuk sebuah bangun[22]. Objek yang terdeteksi dalam ROI dan yang tidak dalam ROI dapat dibedakan secara langsung melalui OpenCV.

Algoritma YOLO yang digunakan dalam *image processing* dan *computer vision* untuk keamanan di area pabrik menggunakan *image super resolution* (ISR)

dengan YOLOv4 untuk menganalisis penggunaan topi pelindung pada area pabrik. Penambahan ISR dilakukan untuk menghasilkan resolusi gambar yang lebih besar, serta *noise* yang lebih sedikit. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan mAP sebesar 93.3% yang merupakan peningkatan sebesar 7.8% dari algoritma YOLOv4 [23]. Penelitian untuk membandingkan performa YOLOv5m, YOLOv8m, dan YOLOv9c diukur dalam pendeteksian penggunaan topi pelindung di lingkungan pabrik baja [24]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan algoritma YOLO memiliki performa yang meningkat dengan bertambahnya versi algoritma tersebut ketika mendeteksi topi pengaman di gambar berwarna abu-abu [24]. Penelitian menggunakan YOLOv4 juga dilakukan untuk menganalisis penggunaan APD lengkap di lingkungan pekerjaan. APD yang dimaksud adalah masker, kacamata pengaman, topi pengaman, sarung tangan dan jaket atau rompi keselamatan. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan data set yang dibuat sendiri melalui gambar dan video untuk menghasilkan pembacaan yang lebih presisi. Penelitian tersebut menghasilkan mAP senilai 91.8% menggunakan konten video di area pekerjaan [25].

Melalui penelitian-penelitian tersebut, sebuah produk dirancang dengan cara melatih sebuah data set berdasarkan kondisi pabrik yang direpresentasikan melalui sebuah maket. Data set tersebut dibuat melalui Roboflow kemudian diintegrasikan dengan YOLOv11. YOLOv11 dipilih karena menghasilkan kecepatan yang tinggi dibandingkan algoritma CNN lainnya, mudah untuk dilatih karena integrasi dengan Roboflow, dan setiap iterasi YOLO memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan iterasi sebelumnya. YOLOv11 berfungsi untuk mendeteksi pekerja dan kelengkapan APD dari pekerja tersebut. Kemudian algoritma digabungkan dengan fungsi ROI yang disediakan OpenCV untuk menghasilkan pendeteksian lokasi pekerja. Melalui penelitian yang dituliskan pada dokumen ini, produk diharapkan dapat digunakan untuk mengurangi atau mengeliminasi kemungkinan seorang pekerja mengalami kecelakaan yang fatal dalam pekerjaan di bidang industri.

1.2 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan jawaban kepada beberapa permasalahan sebagai berikut,

1. Kurangnya implementasi keamanan otomatis untuk mendeteksi kelengkapan APD
2. Kurangnya pengaman otomatis untuk mendeteksi lokasi pekerja di sekitar area pekerjaan
3. Penyuluhan mengenai keamanan yang kurang efektif dalam tingkat individual

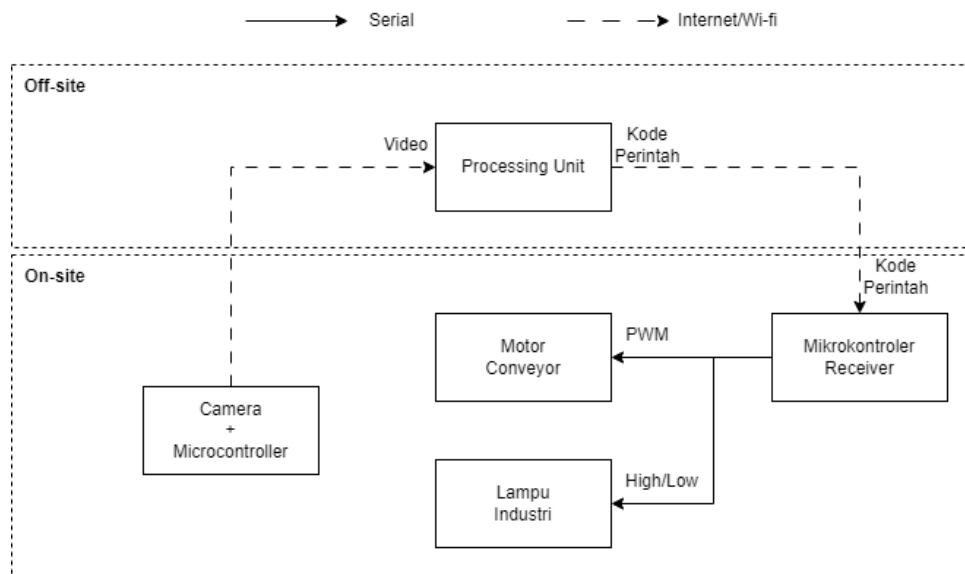
Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan, penelitian produk ini bertujuan untuk;

1. Menciptakan pengaman otomatis yang dapat mendeteksi APD serta lokasi seorang pekerja di lantai pabrik
2. Mengendalikan mesin ketika APD tidak lengkap ataupun pekerja tidak berada di area yang seharusnya.

1.3 Konsep Sistem

1.3.1 Konfigurasi Umum

Produk berfungsi dengan tiga tujuan yang saling berkaitan. Pertama, produk memastikan bahwa operator bekerja di tempat yang sudah ditentukan oleh regulasi pabrik. Ketiga, produk mengecek apakah operator menggunakan APD. Kedua, produk meregulasi penggunaan mesin sehingga mesin tidak dapat dioperasikan jika tidak ada operator. Ketiga tujuan tersebut dapat dipenuhi melalui *image processing* dan *computer vision* dari produk yang dijabarkan secara garis besar melalui diagram blok pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 – Diagram produk ‘Implementasi Image Processing Untuk Keamanan di Lantai Pabrik’

Produk ‘Image Processing Untuk Keamanan di Lantai Pabrik’ didesain untuk bekerja dalam bidang industri. Untuk menyimulasikan kondisi pabrik, maka dibuatlah sebuah maket sebagai area pengujian produk. Produk memiliki dua komponen secara garis besar. Komponen pertama adalah maket (*on-site*) yang memiliki kamera untuk mengambil video di maket, lampu, dan konveyor. Komponen kedua adalah kontrol utama (*off-site*) berupa komputer atau sebuah *processing unit* yang bekerja untuk memproses data dari kamera. Dalam pengembangan produk ini, komputer dipilih dibandingkan dengan *mini pc* seperti Raspberry Pi atau Nvidia Jetson untuk meningkatkan daya komputasi sistem sehingga *image processing* dilakukan lebih cepat. Ketika maket dinyalakan, kamera bekerja secara langsung dan mengirim data ke *cloud*. Komputer kemudian menganalisis hasil video yang dihasilkan menggunakan algoritma YOLO dengan referensi data set yang sudah dibuat untuk keperluan sesuai dengan kondisi maket. Analisa tersebut diolah menjadi tiga kemungkinan *output* dari komputer; operator sudah terdeteksi di area operasi dan menggunakan APD, operator di area operasi sudah terdeteksi namun belum menggunakan APD, dan operator tidak terdeteksi di area operasi sama sekali. Ketiga kemungkinan *output* tersebut dikirim ke *microcontroller receiver* melalui secara *wireless*. *Microcontroller receiver*

kemudian mengeluarkan sinyal untuk lampu industri dan motor untuk *conveyor* berdasarkan hasil *output* yang terbaca.

1.3.2 Batasan Sistem

Sistem yang diterapkan pada produk beserta maketnya memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

- *image processing* menggunakan data set yang dibuat khusus.
- APD yang digunakan oleh operator pada maket adalah topi pengaman.
- maket hanya memiliki satu operator dan satu area operator.

1.3.3 Fungsi dan Manfaat Sistem

Keamanan dan respons kecelakaan pada lantai pabrik manufaktur yang berkaitan dengan *automation* atau penggunaan mesin berat merupakan tujuan utama pemanfaatan produk ‘Image Processing Untuk Keamanan di Lantai Pabrik’. Berikut merupakan beberapa skenario pemanfaatan produk:

1. Produk digunakan untuk memastikan APD digunakan oleh operator saat bekerja, dan bukan ketika masuk ke area pekerjaan saja.
2. Ketika operator keluar dari area pekerjaan untuk istirahat atau inspeksi mesin, mesin tidak akan berfungsi supaya tidak terjadi kecelakaan saat operator tidak berada di area operasi.
3. Dengan menentukan area operasi, pemantauan operasional pabrik menjadi lebih teratur dan disiplin.
4. Ketika terjadi keadaan darurat, operator bisa langsung keluar dari area operasi untuk mematikan mesin pabrik jika operator tidak dalam posisi untuk menekan atau lalai karena panik sehingga tidak menekan tombol darurat saat melakukan evakuasi.

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA