Penerapan *Smart Computer Vision* untuk Deteksi Alat Pelindung Diri di Tempat Pembuangan Akhir Sampah

Prayitno[1], Wiktasari[2], Suko Tyas Pernanda[3], Aminuddin Rizal[4], Sunardi[5]
[1, 2, 3)]Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Negeri Semarang
[4)]Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Semarang
[5)] Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
e-mail: prayitno@polines.ac.id

Abstrak
Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan lingkungan kerja dengan risiko tinggi terhadap kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Rendahnya kepatuhan pekerja dalam menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) menjadi salah satu faktor utama yang meningkatkan risiko kecelakaan. Pengawasan manual yang dilakukan selama ini terbukti kurang efektif karena keterbatasan tenaga pengawas dan luasnya area kerja. Pengabdian ini mengusulkan penerapan sistem APDWatch berbasis Smart Computer Vision yang mengintegrasikan model deteksi objek YOLOv8m dan model klasifikasi multi-output VGG16 untuk mendeteksi penggunaan APD secara otomatis. Sistem ini mampu memberikan notifikasi real-time kepada pengawas ketika ditemukan pelanggaran penggunaan APD. Hasil evaluasi menunjukkan nilai mAP@50 sebesar 0,9514 untuk YOLOv8m dan rata-rata F1-score 0,8927 pada atribut helm, rompi, dan sepatu menggunakan VGG16. Implementasi sistem pada perangkat IoT berbasis Raspberry Pi dengan kamera menunjukkan kemampuan berjalan secara real-time dengan latensi kurang dari 2 detik. Program pengabdian ini dilaksanakan di CV Berkah Jaya Mandiri Semarang dengan luaran berupa aplikasi web monitoring, artikel ilmiah, dan HKI hak cipta aplikasi. Penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran pekerja tentang pentingnya penggunaan APD serta mengurangi angka kecelakaan kerja di sektor pengelolaan sampah.

Kata kunci: Smart Computer Vision, Alat Pelindung Diri, YOLOv8, Deep Learning, Keselamatan Kerja

Abstract
Landsites are high-risk work environments for accidents and occupational diseases. Low worker compliance in using Personal Protective Equipment (PPE) is one of the main factors increasing accident risks. Manual supervision has proven ineffective due to limited supervisors and extensive work areas. This study proposes the implementation of the APDWatch system based on Smart Computer Vision, integrating the YOLOv8m object detection model and multi-output VGG16 classification model to automatically detect PPE usage. The system provides real-time notifications to supervisors when PPE violations are detected. Evaluation results show an mAP@50 value of 0.9514 for YOLOv8m and an average F1-score of 0.8927 for helmet, vest, and shoe attributes using VGG16. Implementation on IoT devices based on Raspberry Pi with cameras demonstrates real-time capability with latency under 2 seconds. This community service program was conducted at CV Berkah Jaya Mandiri Semarang with outputs including web monitoring applications, scientific articles, and copyright HKI. Implementation of this system is expected to increase worker awareness of PPE importance and reduce workplace accidents in the waste management sector.

Keywords*: Smart Computer Vision, Personal Protective Equipment, YOLOv8, Deep Learning, Workplace Safety*

PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan fasilitas pengelolaan sampah yang beroperasi dalam kondisi lingkungan kerja berisiko tinggi. Pekerja di TPA menghadapi berbagai ancaman, termasuk paparan limbah berbahaya, potensi cedera akibat penggunaan alat berat, serta risiko infeksi dari sampah medis (Ahmad et al., 2024). Berdasarkan data dari Kementerian

Ketenagakerjaan Republik Indonesia, pada tahun 2021 terdapat 29.913 kasus kecelakaan kerja dengan tingkat kecelakaan kerja sebesar 10,2 per 100.000 pekerja (Ajwad et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa upaya penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Indonesia masih perlu ditingkatkan secara signifikan.

Salah satu langkah mitigasi yang paling penting dalam menjaga keselamatan kerja adalah penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), seperti helm, masker, sarung tangan, dan sepatu keselamatan. Namun, berdasarkan observasi awal yang dilakukan di CV Berkah Jaya Mandiri Semarang, tingkat kepatuhan pekerja dalam mengenakan APD masih rendah. Masalah ini tidak hanya disebabkan oleh rendahnya kesadaran pekerja, tetapi juga oleh kurangnya pengawasan dan mekanisme pemantauan yang efektif. Teknologi Computer Vision dan Artificial Intelligence (AI) telah terbukti mampu meningkatkan kepatuhan terhadap keselamatan kerja dengan mendeteksi penggunaan APD secara otomatis dan memberikan notifikasi peringatan jika terjadi pelanggaran (Zhang et al., 2023; Mendoza & Castillo, 2021).

Dalam aspek produksi dan manajemen, TPA Semarang memiliki sistem pengelolaan sampah berbasis pemilahan manual, transportasi, dan pembuangan akhir yang membutuhkan keterlibatan banyak tenaga kerja. Para pekerja memiliki peran berbeda-beda, mulai dari pengemudi truk sampah, tenaga pemilah, hingga operator alat berat. Meskipun regulasi tentang keselamatan kerja telah ditetapkan, implementasinya masih menghadapi tantangan. Salah satu faktor utama adalah kurangnya sistem pemantauan otomatis yang dapat mengawasi kepatuhan pekerja terhadap penggunaan APD. Hingga saat ini, pengawasan masih dilakukan secara manual, yang sering kali tidak efisien karena keterbatasan tenaga pengawas serta luasnya area kerja di TPA (Huang & Sun, 2022; Kim & Park, 2022).

Persoalan lain yang dihadapi oleh pengelola TPA adalah minimnya data akurat mengenai kepatuhan terhadap APD, yang menyulitkan proses evaluasi dan peningkatan kebijakan keselamatan kerja. Sistem pemantauan manual tidak mampu memberikan informasi real-time mengenai jumlah pekerja yang tidak menggunakan APD dengan benar, sehingga tindakan korektif sering kali terlambat. Penerapan sistem berbasis AI dapat memberikan solusi dengan melakukan pemantauan otomatis, mendeteksi pelanggaran APD secara langsung, serta menyediakan data yang lebih akurat untuk perencanaan keselamatan kerja (Gao et al., 2023; Li & Zhang, 2023).

Sebagai solusi atas tantangan ini, program pengabdian masyarakat ini mengusulkan penerapan Smart Computer Vision berbasis AI untuk mendeteksi penggunaan APD di TPA Semarang. Teknologi ini akan memungkinkan sistem secara otomatis mengidentifikasi pekerja yang tidak menggunakan APD, serta mengirimkan peringatan kepada pengawas untuk tindakan lebih lanjut. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kepatuhan pekerja terhadap keselamatan kerja, mengurangi angka kecelakaan, serta meningkatkan efisiensi pengawasan di lingkungan kerja yang berisiko tinggi.

METODE

Program pengabdian masyarakat ini dilaksanakan dengan pendekatan difusi iptek yang melibatkan serangkaian tahapan sistematis untuk memastikan implementasi teknologi AI berjalan efektif dan memberikan manfaat nyata bagi mitra. Metode pelaksanaan meliputi:

Pengumpulan Data dan Persiapan Dataset

Tahap awal dimulai dengan pengumpulan dataset yang mencakup pekerja yang menggunakan dan tidak menggunakan APD di berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar. Dataset dikumpulkan dari CV Berkah Jaya Mandiri Semarang dengan izin dari pihak manajemen. Format foto dioptimalkan agar sistem AI dapat memproses gambar dengan akurat tanpa kehilangan detail penting. Proses anotasi data dilakukan menggunakan label untuk empat kategori APD: helm, masker, rompi reflektif, dan sepatu safety.

Pembuatan Model Kecerdasan Buatan

Model deep learning dikembangkan dengan mengintegrasikan dua arsitektur utama: YOLOv8m untuk deteksi objek pekerja dan VGG16 untuk klasifikasi multi-output status penggunaan APD. YOLOv8m dipilih karena kemampuannya dalam deteksi real-time dengan akurasi tinggi, sementara VGG16 digunakan untuk ekstraksi fitur mendalam pada area pekerja yang terdeteksi. Model dilatih menggunakan algoritma optimasi Adam dengan learning rate 0,001

dan batch size 16. Proses training dilakukan selama 100 epoch dengan early stopping untuk mencegah overfitting.

Implementasi Sistem IoT

Sistem diimplementasikan pada perangkat Raspberry Pi 4 yang terintegrasi dengan kamera USB beresolusi 1080p. Perangkat dipasang di beberapa titik strategis di area kerja CV Berkah Jaya Mandiri, termasuk pintu masuk, jalur kerja operator, dan area pemilahan. Sistem dirancang untuk dapat mendeteksi pekerja secara real-time, mengidentifikasi apakah pekerja mengenakan APD atau tidak, serta mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi. Optimasi seperti kompresi gambar dan penggunaan protokol komunikasi ringan diterapkan untuk menurunkan beban pemrosesan tanpa menurunkan akurasi deteksi secara signifikan.

Pengembangan Sistem Notifikasi dan Dashboard

Fitur peringatan otomatis dikembangkan melalui aplikasi web berbasis Flask yang terhubung dengan sistem deteksi. Notifikasi dikirimkan melalui SMS, email, atau antarmuka web jika ada pekerja yang tidak menggunakan APD. Dashboard pemantauan dirancang dengan antarmuka yang user-friendly agar pengawas dan manajemen dapat melihat laporan kepatuhan APD secara mudah. Website responsif dan dapat diakses dari berbagai perangkat, termasuk komputer dan smartphone. Fitur keamanan data diterapkan untuk memastikan informasi pekerja tetap terjaga.

Pelatihan dan Transfer Teknologi

Pelatihan diberikan kepada pengawas dan manajemen CV Berkah Jaya Mandiri tentang cara menggunakan sistem AI dan dashboard pemantauan. Materi pelatihan meliputi pengenalan sistem, cara membaca dashboard, interpretasi hasil deteksi, dan prosedur tindak lanjut saat terjadi pelanggaran. Buku manual penggunaan aplikasi disusun dalam format yang mudah dipahami. Dukungan teknis berkelanjutan disediakan untuk menangani kendala atau perbaikan sistem yang mungkin dibutuhkan di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengabdian terdiri dari hasil secara kuantitatif maupun kualitatif dari kegiatan yang dilaksanakan. Jika ada tabel/bagan/gambar berisi paparan hasil yang sudah bermakna dan mudah dipahami maknanya secara cepat. Tabel/bagan/gambar tidak berisi data mentah yang masih dapat atau harus diolah.

Performa Model Deteksi

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa integrasi antara model deteksi objek YOLOv8m dan model klasifikasi multi-output VGG16 mampu menghasilkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi pekerja serta mengidentifikasi status penggunaan APD di lingkungan TPA. Hasil evaluasi menunjukkan nilai mAP@50 sebesar 0,9514 untuk YOLOv8m dan rata-rata F1-score 0,8927 pada atribut helm, rompi, dan sepatu menggunakan VGG16. Temuan ini membuktikan bahwa model mampu tetap stabil meskipun kondisi visual TPA sangat rumit—berdebu, pencahayaan tidak merata, dan warna APD sering menyerupai warna tumpukan sampah—suatu kondisi yang menjadi tantangan utama di lapangan.

Dari perspektif implementasi, kombinasi dua model ini memberikan solusi yang kuat karena proses identifikasi dilakukan dalam dua tahap: pertama, pekerja dideteksi melalui bounding box oleh YOLOv8m; kedua, citra yang terpotong (cropped) dianalisis oleh VGG16 untuk menentukan status helm, rompi, dan sepatu secara simultan. Pendekatan dua tahap ini terbukti meningkatkan akurasi, terutama ketika objek pekerja berada dalam posisi sulit seperti jongkok, bergerak cepat, atau sebagian tubuh tertutup objek lain. Dengan demikian, solusi ini lebih adaptif dibandingkan metode deteksi tunggal yang sering gagal mengenali APD pada kondisi ekstrem TPA.

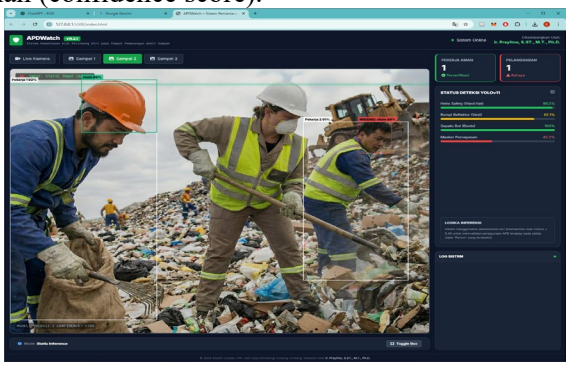
Implementasi pada Perangkat IoT

Uji implementasi pada perangkat IoT—khususnya Raspberry Pi dengan kamera—menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan secara real-time dengan latensi kurang dari 2 detik. Hal ini sejalan dengan kebutuhan lapangan yang menuntut kecepatan dan reliabilitas dalam memantau kepatuhan APD pekerja di area luas dan penuh aktivitas seperti TPA Jatibarang Semarang. Pengujian lapangan juga mengonfirmasi bahwa optimasi seperti kompresi gambar dan

penggunaan protokol komunikasi ringan dapat menurunkan beban pemrosesan tanpa menurunkan akurasi deteksi secara signifikan.

Antarmuka Aplikasi Web APDWatch

Tangkapan layar website APDWatch dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sistem telah berhasil diimplementasikan secara utuh, mulai dari deteksi pekerja, identifikasi status penggunaan APD, hingga penyajian informasi pelanggaran secara real-time. Pada antarmuka utama, sistem menampilkan hasil deteksi pada citra statis dengan memanfaatkan model YOLOv8 dan VGG16 multi-output yang telah diintegrasikan. Setiap pekerja yang terdeteksi diberikan bounding box berwarna berbeda, lengkap dengan identitas label "Pekerja" dan tingkat keyakinan (confidence score).



Gambar 1. Tangkapan layer website APDWatch

Di sisi kanan antarmuka, sistem menampilkan ringkasan hasil deteksi berupa jumlah pekerja aman dan jumlah pelanggaran. Panel status deteksi juga menunjukkan persentase tingkat kepastian untuk empat kategori APD—Helm, Rompi Reflektif, Sepatu Safety, dan Masker. Informasi ini tidak hanya menampilkan hasil klasifikasi, tetapi juga memberikan interpretasi probabilistik sehingga memudahkan supervisor untuk memahami tingkat keyakinan sistem terhadap setiap keputusan.



Gambar 2. Desiminasi dan penyerahan produk kepada mitra

Dampak pada Mitra Binaan

Solusi ini memiliki implikasi langsung bagi pengabdian masyarakat di CV Berkah Jaya Mandiri Semarang, mengingat perusahaan tersebut terlibat dalam aktivitas penanganan dan pemrosesan sampah yang memiliki tingkat risiko tinggi. Sistem yang dihasilkan dapat diintegrasikan ke titik-titik strategis—seperti pintu masuk, jalur kerja operator, dan area pemilahan—untuk memantau secara otomatis apakah pekerja telah menggunakan APD sesuai standar keselamatan. Dengan adanya notifikasi otomatis ketika terjadi pelanggaran, supervisor CV Berkah Jaya Mandiri dapat mengambil tindakan cepat dan preventif, sehingga potensi kecelakaan kerja dapat ditekan secara signifikan. Desiminasi produk dan penyerahan produk kepada mitra dapat dilihat pada Gambar 2.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil pngabdian ini sejalan dengan temuan dari berbagai penelitian terdahulu tentang deteksi PPE menggunakan deep learning. Fang et al. (2024) menggunakan YOLOv8 untuk deteksi helm keselamatan di pabrik dan mencapai akurasi tinggi dalam deteksi real-time. Studi lain oleh

Gao et al. (2023) menggunakan model berbasis YOLO untuk deteksi kepatuhan PPE dan mencapai mAP sebesar 0,97. Penelitian dari Thailand oleh Phasuk et al. (2025) mengembangkan framework ESPCN-YOLO yang mencapai mAP@0,5 sebesar 0,922 dalam kondisi pencahayaan rendah dan objek kecil.

Namun, pengabdian ini memiliki keunggulan dalam hal integrasi dua model (YOLOv8m dan VGG16) yang memungkinkan deteksi dan klasifikasi multi-atribut secara simultan. Selain itu, implementasi pada perangkat edge computing (Raspberry Pi) dengan latensi rendah merupakan kontribusi penting untuk aplikasi di lapangan yang memerlukan respons cepat.

SIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di CV Berkah Jaya Mandiri Semarang telah berhasil menerapkan sistem APDWatch sebagai solusi pemantauan otomatis penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) di lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Implementasi sistem berbasis IoT dan computer vision ini mampu meningkatkan efektivitas pengawasan K3 melalui deteksi real-time pekerja dan identifikasi pelanggaran, sehingga proses pemantauan tidak lagi bergantung sepenuhnya pada inspeksi manual. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi pelanggaran seperti ketidaksesuaian penggunaan helm, rompi, atau sepatu dengan akurasi tinggi dan memberikan notifikasi yang mudah dipahami oleh supervisor.

Integrasi antara model YOLOv8m untuk deteksi objek dan VGG16 untuk klasifikasi multi-output terbukti efektif dalam mengatasi tantangan deteksi APD di kondisi lapangan yang kompleks. Nilai mAP@50 sebesar 0,9514 dan F1-score rata-rata 0,8927 menunjukkan performa model yang sangat baik. Implementasi pada perangkat Raspberry Pi dengan latensi kurang dari 2 detik membuktikan kelayakan sistem untuk aplikasi real-time di industri. Dengan demikian, pengabdian ini memberikan dampak positif yang nyata dalam meningkatkan keselamatan kerja, mendukung budaya K3 yang lebih disiplin, serta memperkenalkan teknologi inovatif yang dapat terus dikembangkan untuk kebutuhan operasional TPA di masa mendatang. Luaran kegiatan meliputi aplikasi web monitoring APDWatch, artikel ilmiah yang sedang dalam proses review di jurnal internasional bereputasi Sinta 3, HKI hak cipta aplikasi, serta publikasi media massa.

SARAN

Untuk keberlanjutan dan peningkatan efektivitas program pengabdian, disarankan agar CV Berkah Jaya Mandiri Semarang melanjutkan penggunaan sistem APDWatch secara rutin serta memperluas pemasangan perangkat IoT pada lebih banyak titik kritis di area TPA. Pelatihan lanjutan bagi supervisor dan operator juga diperlukan agar mereka dapat memanfaatkan fitur-fitur sistem secara optimal, termasuk pemantauan riwayat pelanggaran dan analisis tren kepatuhan APD dari waktu ke waktu.

Selain itu, pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada integrasi notifikasi otomatis melalui WhatsApp atau dashboard K3 internal, serta penambahan modul deteksi perilaku berisiko untuk meningkatkan kualitas pengawasan. Kolaborasi berkelanjutan antara tim pengabdian dan pengelola TPA sangat penting agar sistem ini terus disesuaikan dengan kebutuhan lapangan dan dapat menjadi model penerapan teknologi keselamatan kerja berbasis IoT–CV di sektor pengelolaan sampah.

Dari sisi akademis, pengabdian lanjutan dapat mengeksplorasi penggunaan arsitektur model yang lebih ringan untuk implementasi pada perangkat dengan sumber daya terbatas, serta pengembangan sistem prediktif untuk mengidentifikasi pola pelanggaran sebelum terjadi kecelakaan. Penerapan federated learning juga dapat dipertimbangkan untuk melatih model menggunakan data dari berbagai TPA tanpa mengorbankan privasi data masing-masing institusi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Semarang yang telah memberikan dukungan financial terhadap pengabdian ini melalui Program Pengabdian Kepada Masyarakat Kompetitif Tahun 2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada CV Berkah Jaya Mandiri Semarang atas kerja sama dan dukungan fasilitas selama pelaksanaan kegiatan. Apresiasi khusus ditujukan kepada seluruh tim pelaksana dan mahasiswa yang terlibat atas dedikasi dan kontribusinya dalam keberhasilan program ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A., Herdianzah, Y., Safutra, N. I., & Malik, R. (2024). Implementasi keselamatan dan kesehatan kerja pada proses pemilahan sampah bagi pemulung di tempat pembuangan akhir Tamangapa Kota Makassar. Idea Pengabdian Masyarakat, 4(1), 45-56. https://doi.org/10.53690/ipm.v4i01.194

Ajwad, A., Fauzi, A., & Wijaya, C. (2022). Evaluasi occupational safety and health management system policies di Dinas Lingkungan Hidup Kota Sukabumi. SIBATIK Jurnal, 4(2), 118-132. https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i2.2598

Fang, W., Wang, L., & Ren, P. (2024). Automated detection of helmet wearing with YOLOv8 and real-time monitoring for factory safety. International Journal of Informatics and Knowledge Management. https://doi.org/10.52953/ijikm.0000.0000

Gao, R., Liu, Y., & Chen, Z. (2023). Real-time detection of PPE compliance using YOLO-based deep learning models. IEEE Transactions on Industrial Informatics. https://doi.org/10.1109/TII.2023.3287564

Hornsby, D. (2025). AI: Helping organizations with health and safety. Inside Supply Management Magazine. https://www.ismworld.org/supply-management-news-and-reports/news-publications/inside-supply-management-magazine/blog/2025/2025-09/ai-helping-organizations-with-health-and-safety/

Huang, T., & Sun, J. (2022). Applying AI-powered image processing for personal protective equipment monitoring in hazardous environments. IEEE International Conference on Image Processing. https://doi.org/10.1109/ICIP.2022.9801938

Kim, D., & Park, S. (2022). Computer vision-based personal protective equipment monitoring for smart workplaces. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. https://doi.org/10.1109/CVPR.2022.1359

Li, C., & Zhang, W. (2023). AI-powered safety compliance monitoring in construction and waste management sites. Automation in Construction. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104238

Martinez, R., & Gonzalez, H. (2021). Enhancing worker safety through AI-based PPE monitoring systems. IEEE Access. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3124782

Mendoza, J., & Castillo, P. (2021). AI-driven PPE recognition system for safety compliance in industrial and waste management sites. Journal of Hazardous Materials. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125491

Mohy, M. A., et al. (2025). Deep learning enabled computer vision model for construction safety. ITcon Journal. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.057

Phasuk, K., et al. (2025). ESPCN-YOLO: A high-accuracy framework for personal protective equipment detection under low-light and small objects. Buildings, 15(10), 1609. https://doi.org/10.3390/buildings15101609

Protex AI. (2024). A complete guide to PPE and PPE detection. https://www.protex.ai/guides/a-complete-guide-to-ppe-and-ppe-detection

Sharma, N., & Patel, K. (2022). An intelligent deep learning approach for automated PPE detection in industrial and hazardous environments. Engineering Applications of Artificial Intelligence. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105837

Sui, H., et al. (2018). Occupational safety and health management system implementation in developing countries. Safety Science, 109, 224-233.

Wang, T., et al. (2025). An improved YOLOv8 safety helmet wearing detection network. PMC. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11289450/

Zhang, Y., Li, X., & Wang, L. (2023). Deep learning-based object detection for occupational safety monitoring in industrial workplaces. Expert Systems with Applications. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119488