Perancangan Teknologi Deteksi Kelelahan (TDK) Masinis Berbasis Indikator Okular, Facial Expression, dan Body Movement menggunakan video kamera

Akselerasi Inovasi Multidisiplin

Hardianto Iridiastadi [1], Sevty Auliani [2], Ferani Eva Zulfia[1], Wiwik Budiawan[3], Ridwan Aji P. [4], Isya Nafia[1], Amalia[1].

[1] Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
[2] Pusat Riset Teknologi Transportasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
[3] Departemen Teknik Industri, Universitas Diponegoro
[4] Fakultas Ilmu Sosial dan Politik, Universitas Brawijaya

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan Teknologi Deteksi Kelelahan Okular dan Facial Recognition (TDK) bagi masinis kereta api berbasis video kamera dan computer vision untuk mendukung pemeriksaan kesiapan kerja sebelum berdinas. Teknologi ini mengintegrasikan indikator okular berupa blink duration dan PERCLOS, ekspresi wajah, serta pergerakan tubuh (body movement) untuk mendeteksi kelelahan secara objektif, cepat, dan non-invasif. Pengembangan meliputi penyempurnaan algoritma, integrasi antarmuka pengguna, pencatatan riwayat pengukuran, dan visualisasi hasil deteksi. Pengujian awal dilakukan terhadap 17 data pengukuran lapangan dengan membandingkan hasil aplikasi dan analisis manual menggunakan paired-samples t-test, yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan pada parameter blink duration (p = 0,2). Hasil pengukuran Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) menunjukkan bahwa prototipe telah mencapai TKT 7. Teknologi ini berpotensi mendukung evaluasi kesiapan masinis, pengelolaan risiko kelelahan, serta penyusunan rekomendasi terkait durasi kerja, penjadwalan dinas, dan waktu istirahat guna meningkatkan keselamatan operasional perkeretaapian.

Keyword: TDK, kelelahan, pengemudi, kereta api, kedipan mata

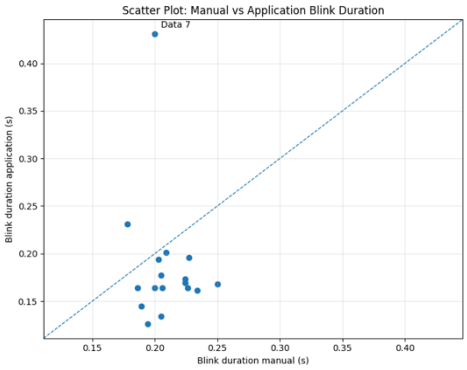
Introduction

Kelelahan pada masinis merupakan salah satu faktor manusia yang berpotensi memengaruhi keselamatan operasional dan meningkatkan risiko kecelakaan kereta api. Permasalahan ini menjadi penting, khususnya pada operasional kereta barang yang memiliki durasi perjalanan panjang, jadwal dinas kompleks, serta pola istirahat yang bervariasi. Metode pemeriksaan kesiapan kerja yang tersedia masih memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi tanda-tanda awal kelelahan, terutama kelelahan mental, sebelum masinis memulai dinas. Oleh karena itu, diperlukan teknologi deteksi kelelahan yang objektif, cepat, dan non-invasif.
Penelitian ini bertujuan mengembangkan Teknologi Deteksi Kelelahan Okular dan Facial Recognition (TDK) berbasis kamera video dan teknologi computer vision.

Sistem ini mengintegrasikan indikator okular, meliputi durasi kedipan mata (*blink duration*) dan PERCLOS, ekspresi wajah, serta pergerakan tubuh (*body movement*) untuk mengidentifikasi indikasi kelelahan. Teknologi ini dirancang untuk melakukan pemeriksaan dalam waktu sekitar 1–2 menit tanpa memerlukan sensor yang dipasang pada tubuh. Pengembangan sistem juga dilengkapi fitur pencatatan riwayat pengukuran dan visualisasi hasil deteksi.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa teknologi (*technology development*). Tahap awal dilakukan melalui koordinasi dengan PT Kereta Api Indonesia (Persero) dan survei lokasi operasional untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna. Selanjutnya, prototipe Teknologi Deteksi Kelelahan Okular dan Facial Recognition (TDK) disempurnakan menggunakan algoritma *computer vision* berbasis kamera video dengan mengintegrasikan indikator mata dan ekspresi wajah. Sistem dirancang untuk melakukan pemeriksaan secara objektif, non-invasif, dan cepat dalam waktu sekitar 1–2 menit.j

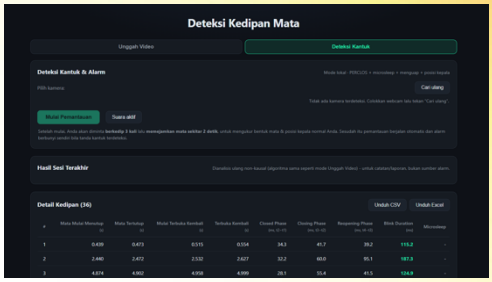


Gambar 1. Perbandingan hasil pengukuran manual dan aplikasi

Pengujian dan validasi dilakukan pada lingkungan operasional kereta barang di Sumatera melalui perekaman video masinis. Sebanyak 17 data pengukuran dianalisis menggunakan aplikasi TDK dan dibandingkan dengan hasil pengukuran manual berdasarkan rekaman video yang sama. Evaluasi performa teknologi dilakukan menggunakan *paired-samples t-test* untuk mengidentifikasi perbedaan hasil pengukuran antara kedua metode. Hasil evaluasi selanjutnya digunakan untuk menilai kinerja prototipe serta menyusun rekomendasi mitigasi kelelahan, khususnya terkait optimalisasi durasi kerja, penjadwalan dinas, dan pengaturan pola istirahat masinis. Seluruh tahapan diarahkan untuk menghasilkan prototipe tervalidasi yang siap dikembangkan menuju implementasi operasional.



Gambar 2. Aktivitas pengujian di lapangan



Gambar 3. Homepage teknologi

Hasil dan Diskusi

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe Teknologi Deteksi Kelelahan Okular dan Facial Recognition (TDK) berbasis kamera video dan *computer vision*. Sistem mengintegrasikan indikator perubahan mata dan ekspresi wajah, dengan nilai ambang awal *blink duration* sebesar 500 ms. Prototipe dilengkapi antarmuka pengguna, fitur penyimpanan riwayat pengukuran, visualisasi grafik, serta fasilitas pengunduhan data dalam format CSV. Pemeriksaan dirancang berlangsung sekitar 1–2 menit tanpa memerlukan sensor yang dipasang pada tubuh masinis.

Pengujian terhadap 17 data pengukuran lapangan dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran *blink duration*menggunakan aplikasi dan metode manual berdasarkan rekaman video yang sama. Hasil *paired-samples t-test* menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara kedua metode (p = 0,2), yang mengindikasikan adanya kesesuaian hasil pengukuran pada data yang diuji. Temuan ini menjadi indikasi awal bahwa aplikasi mampu menghasilkan pengukuran yang sejalan dengan analisis manual. Namun, validasi lebih lanjut dengan jumlah data dan kondisi operasional yang lebih beragam masih diperlukan. Meskipun pengujian lapangan mengalami penundaan akibat bencana kebakaran yang memengaruhi kesiapan lokasi dan jadwal kegiatan, teknologi ini telah dinilai mencapai TKT 7. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada penyempurnaan algoritma, validasi yang lebih komprehensif, serta penyusunan dokumentasi teknis dan SOP untuk mendukung implementasi operasional dan peningkatan keselamatan perkeretaapian.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe Teknologi Deteksi Kelelahan Okular dan Facial Recognition (TDK) berbasis kamera video dan *computer vision* untuk mendukung pemeriksaan kelelahan masinis sebelum bertugas. Hasil pengujian terhadap 17 data menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara pengukuran *blink duration*menggunakan aplikasi dan metode manual (p = 0,2).