

Laporan Praktikum week 7

Nama : Muhamad Debi Priantoro

NIM : 224308014

Kelas : TKA-6A

Akun Github (Tautan) : <https://github.com/muhammaddebi12>

Student Lab Assistant : Muhammad Mahirul Faiq (214308043)

1. Judul Percobaan

Real-time Track Geometry Detection using Canny & Stereo Vision

2. Tujuan Percobaan

Tujuan dari praktikum ini yaitu :

1. Menggunakan Stereo Vision untuk memperoleh kedalaman geometri rel secara real time.
2. Menghitung parameter Lebar Rel, Panjang Rel, Kemiringan Rel, dan Deformasi Ballas.
3. Menerapkan Canny Edge Detection untuk mendeteksi batas rel

3. Landasan Teori

Deteksi geometri jalur secara real-time merupakan bagian krusial dalam sistem transportasi cerdas Intelligent Transportation Systems dan sistem bantuan pengemudi tingkat lanjut Advanced Driver Assistance Systems. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keselamatan berkendara dan efisiensi lalu lintas, terutama dalam mencegah kecelakaan akibat kesalahan deteksi marka jalan, deformasi jalur, maupun gangguan struktural lainnya pada permukaan jalan atau rel (Rachidi dkk., 2025). Salah satu pendekatan paling efektif dalam implementasi sistem ini adalah dengan menggabungkan algoritma deteksi tepi Canny (Canny Edge Detection) dan teknologi penglihatan stereo (Stereo Vision) untuk menghasilkan informasi spasial secara akurat dalam waktu nyata. Algoritma Canny digunakan secara luas dalam bidang visi komputer karena keunggulannya dalam mendeteksi tepi yang tajam, mengurangi noise, serta mempertahankan struktur penting dari citra. Dalam konteks deteksi marka jalan atau geometri jalur, metode Canny dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan Comprehensive Intensity Threshold Range (CITR) untuk mendeteksi marka dengan berbagai kondisi visual seperti retak, pudar, berwarna, hingga hilang sebagian akibat cuaca buruk seperti hujan atau salju. Untuk menghindari deteksi palsu, sistem ini dilengkapi dengan teknik validasi geometri berbasis sudut Angle-based Geometric Constraint dan panjang Length-based Geometric Constraint, yang memungkinkan identifikasi akurat terhadap garis jalur kiri dan kanan meskipun sebagian besar jalur tidak terlihat

secara penuh (Sultana dkk., 2023). Selanjutnya Stereo Vision bekerja berdasarkan prinsip triangulasi. Dua kamera yang diposisikan sejajar menangkap citra dari sudut pandang yang sedikit berbeda. Selisih posisi objek dalam kedua citra, yang disebut sebagai disparitas (disparity), digunakan untuk menghitung jarak (depth) secara matematis menggunakan persamaan geometri. Semakin besar disparitas, maka objek semakin dekat dengan kamera, dan sebaliknya. Akurasi estimasi kedalaman sangat tergantung pada parameter seperti jarak antar kamera (baseline), panjang fokus kamera (focal length), dan tingkat keselarasan (calibration) antar citra kiri dan kanan (Bourja dkk., 2021). Metode stereo vision memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknologi lain seperti LIDAR dan RADAR, yaitu biaya yang lebih rendah, hasil citra visual yang lebih kaya untuk analisis visual, serta ketahanan terhadap kondisi cuaca buruk. Stereo camera juga lebih fleksibel dan tidak memerlukan renovasi besar terhadap infrastruktur jalan seperti halnya LIDAR (Rachidi dkk., 2025). Dalam konteks perkeretaapian, pendekatan kombinasi Canny dan stereo vision juga terbukti efektif dalam mendeteksi kerusakan permukaan rel seperti squats, yaitu retakan kecil yang menjadi cikal bakal kerusakan besar. Sistem yang dikembangkan mampu dijalankan secara real-time menggunakan perangkat sederhana seperti Raspberry Pi dan kamera portable yang terpasang pada Track Recording Vehicle (TRV). Dengan menggunakan Canny Edge Detection sebagai tahap awal identifikasi kerusakan, diikuti dengan 2D Discrete Wavelet Transform (DWT) untuk menentukan tingkat kerusakan, sistem ini menunjukkan akurasi tinggi dan latensi rendah, menjadikannya ideal untuk implementasi lapangan (Shah dkk., 2020). Secara keseluruhan, integrasi antara Canny Edge Detection dan Stereo Vision menyediakan fondasi teknologi yang kuat untuk sistem deteksi geometri jalur secara real-time. Teknologi ini mampu memberikan informasi kedalaman serta struktur jalur dengan akurasi tinggi, efisiensi komputasi, dan biaya operasional yang rendah. Dengan potensi aplikasinya pada kendaraan otonom, pemantauan jalur rel, serta sistem pemantauan lalu lintas masa depan, pendekatan ini menjadi pilar penting dalam pengembangan sistem transportasi cerdas yang aman dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.

4. Analisis dan Diskusi

Analisis:

- Percobaan ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengimplementasikan metode Stereo Vision dan Canny Edge Detection guna mendeteksi serta menganalisis geometri rel secara real-time. Praktikum ini memberikan pemahaman praktis tentang bagaimana dua kamera yang disusun sejajar dapat menghasilkan informasi kedalaman (depth) dari lingkungan, serta bagaimana deteksi tepi Canny membantu mengenali batas rel sebelum dianalisis lebih lanjut. Langkah awal dilakukan dengan menyusun dua kamera USB sebagai sistem stereo dan memastikan keduanya bekerja sinkron menggunakan skrip `stereo_capture.py`. Setelah itu, tepi rel dideteksi menggunakan algoritma Canny pada skrip `canny_stereo.py`, dimulai dari konversi gambar ke grayscale, pengurangan noise dengan Gaussian blur, dan ekstraksi tepi menggunakan fungsi `cv2.Canny()`. Setelah mendapatkan citra tepi dari kamera kiri dan kanan, tahap selanjutnya adalah menghitung peta kedalaman (depth map) menggunakan prinsip stereo matching pada skrip `depth_estimation.py`. Dengan bantuan fungsi `StereoBM_create` dari OpenCV, sistem membandingkan posisi objek di kedua citra untuk menghasilkan informasi jarak relatif terhadap kamera. Dari hasil peta kedalaman dan citra tepi tersebut, dilakukan analisis terhadap parameter geometri seperti lebar rel, panjang rel, kemiringan, dan deformasi ballast. Lebar rel diukur dari jarak antar tepi, panjang rel dari jangkauan deteksi, kemiringan dari perbedaan elevasi sisi rel, dan deformasi ballast dari variasi kedalaman di area bawah rel. Semua hasil pengukuran dicatat dalam tabel inspeksi dan dibandingkan antar beberapa sampel untuk analisis lebih lanjut.

Diskusi:

- Eksplorasi dan implementasi metode gabungan antara Canny Edge Detection dan Stereo Vision menunjukkan bahwa kombinasi ini sangat cocok untuk sistem inspeksi rel secara real-time. Metode Canny memiliki keunggulan dalam mendeteksi tepi objek dengan presisi tinggi, bahkan pada citra yang memiliki noise atau kontras rendah. Selain itu, Canny juga efisien secara komputasi dan mudah diimplementasikan dengan OpenCV. Dalam konteks rel, metode ini efektif untuk mengenali batas rel, yang penting untuk mengukur lebar dan kemiringan. Di sisi lain, Stereo Vision memungkinkan pengukuran kedalaman (depth) dengan akurasi tinggi tanpa menggunakan sensor mahal seperti LIDAR. Dengan dua kamera sejajar, sistem dapat membuat peta kedalaman 3D yang digunakan untuk menghitung parameter geometri rel secara langsung. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan. Stereo Vision sangat bergantung pada pencahayaan dan kalibrasi kamera. Jika pencahayaan tidak merata atau kamera tidak selaras, maka hasil kedalamannya bisa tidak akurat. Selain itu, metode StereoBM yang digunakan memiliki keterbatasan pada area tanpa tekstur atau kontras rendah, sehingga dapat menghasilkan noise atau bagian kosong pada peta kedalaman. Canny juga bisa gagal mendeteksi tepi pada area gelap, bayangan, atau pantulan cahaya, yang umum pada rel di luar ruangan. Karena itu, penyesuaian parameter threshold pada Canny perlu dilakukan secara hati-hati sesuai kondisi pencahayaan. Dari sisi performa, sistem ini sangat bergantung pada kemampuan perangkat keras. Tanpa GPU, pemrosesan peta kedalaman bisa memperlambat frame rate. Walaupun implementasi ini masih sederhana dan ditujukan untuk edukasi, penggunaan metode stereo matching yang lebih canggih seperti StereoSGBM atau pendekatan deep learning bisa meningkatkan hasil, meskipun dengan beban komputasi yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, metode ini adalah solusi yang ekonomis, mudah diterapkan, dan cukup akurat untuk pemantauan rel dalam tahap awal atau inspeksi cepat. Untuk kebutuhan industri, sistem ini perlu dikembangkan lebih lanjut dengan kalibrasi otomatis, pemrosesan citra yang lebih canggih, dan integrasi AI agar lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang beragam.

5. Assignment

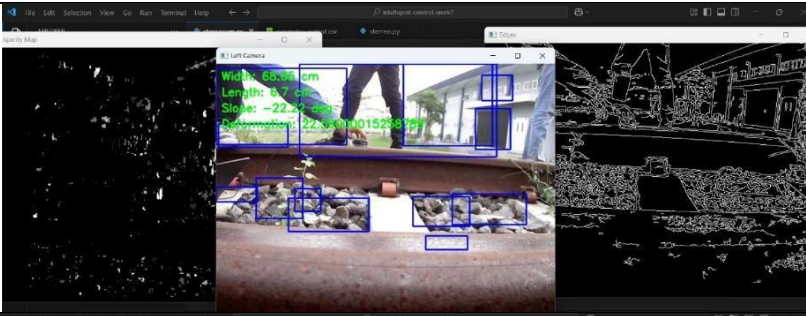
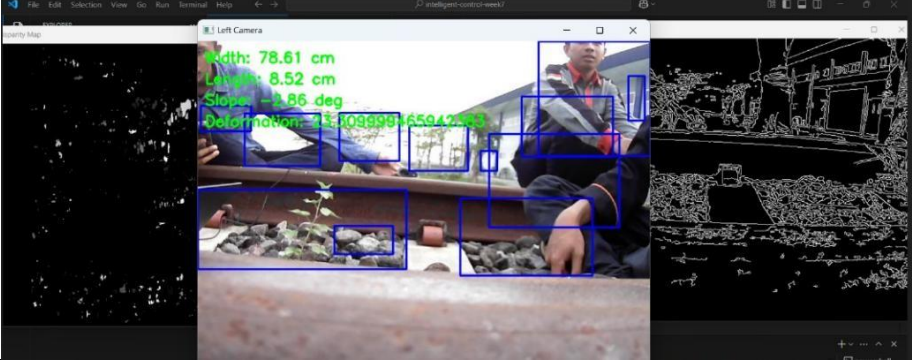
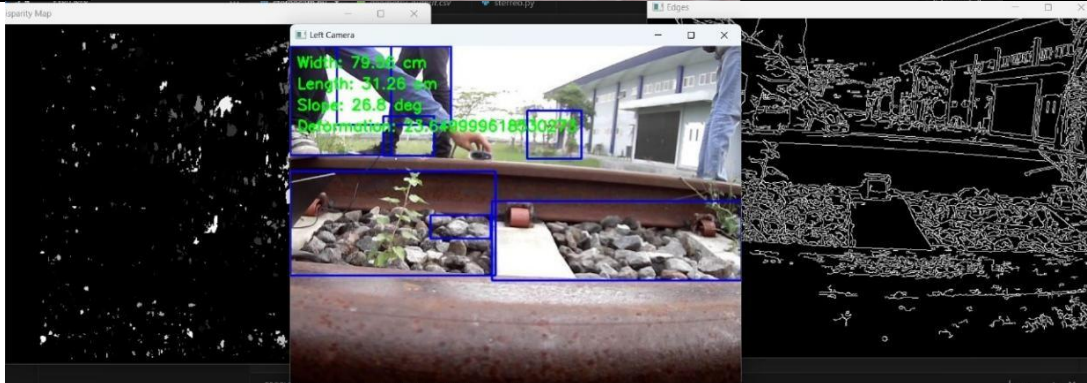
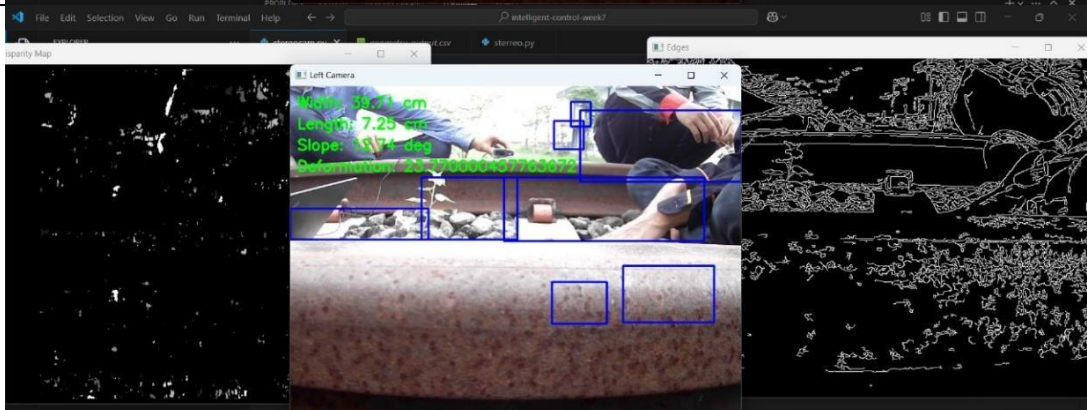
Pada praktikum minggu ketujuh ini Assignment yang dilakukan adalah mengimplementasikan kombinasi metode yang telah digunakan yaitu dengan pengukuran akurasi sistem, penyimpanan data ke dalam file CSV, dan dokumentasi hasil yang telah dilakukan. Dimana pada modifikasi yang dilakukan yang pertama adalah menambahkan fitur pengukuran akurasi dengan cara membandingkan hasil inspeksi otomatis (berbasis sistem Canny dan Stereo Vision) dengan hasil inspeksi manual. Dimana hal tersebut dilakukan mulai dari mengukur parameter seperti lebar rel, kemiringan, dan deformasi ballast secara manual sebagai referensi, lalu membandingkannya dengan nilai yang dihasilkan oleh sistem. Analisis dilakukan dengan menghitung selisih nilai aktual dan nilai hasil sistem. Kemudian dirata-rata untuk mendapatkan tingkat kesalahan (error rate). Dari percobaan yang dilakukan, rata-rata selisih masih berada dalam batas toleransi teknis, menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan estimasi geometri rel yang cukup akurat untuk aplikasi lapangan skala kecil hingga menengah. Selanjutnya memodifikasi kode program agar hasil pengukuran yang ditampilkan secara real-time dapat disimpan dalam format Comma-Separated Values (CSV). Hal ini dicapai dengan menggunakan pustaka csv pada Python untuk merekam data seperti waktu pengukuran, nilai lebar rel, panjang rel, kemiringan, dan deformasi ballast ke dalam file yang dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak spreadsheet seperti Excel atau tools statistik lainnya. Penambahan fitur ini memberikan nilai tambah dalam konteks implementasi sistem inspeksi otomatis di dunia nyata, karena memungkinkan pencatatan dan pelacakan histori inspeksi yang sistematis dan terstruktur.

6. Data dan Output Hasil Pengamatan

Hasil Pengamatan :

No. Track	Lebar rel	Panjang rel	Kemiringan rel	Deformasi Ballas
1	68.65 cm	6.7 cm	-22.22 deg	22.59
2	78.61 cm	8.52 cm	-2.86 deg	23.30
3	79.56 cm	31.26 cm	26.8 deg	23.64
4	39.71 cm	7.25 cm	12.74 deg	23.77

1. Data dan Output Hasil Pengamatan

No.	TRACK
1.	
	
	
	

7. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Penerapan metode Stereo Vision dapat memberikan output berupa informasi kedalaman (depth) objek secara real-time
- Algoritma metode Canny Edge Detection terbukti efektif untuk deteksi batas rel secara presisi dalam kondisi pencahayaan normal maupun rendah.berhasil.
- Implementasi sistem dilakukan secara real-time dan responsif menggunakan Python dan OpenCV secara langsung, akan tetapi tergantung dengan spesifikasi perangkat keras yang digunakan
- Fitur tambahan seperti penyimpanan data ke file CSV meningkatkan kebermanfaatan sistem dalam konteks dokumentasi dan pengolahan data
- Keterbatasan sistem terkait kalibrasi kamera dan sensitivitas pencahayaan menjadi tantangan utama yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan hasil yang akurat

8. Saran

Untuk meningkatkan efektivitas sistem yang menggunakan kombinasi metode Canny dan Stereo Vision, terutama dalam hal akurasi pengukuran, kestabilan peta kedalaman, dan performa di berbagai kondisi cahaya, beberapa langkah perlu dilakukan. Pertama, sistem membutuhkan kalibrasi stereo yang lebih akurat dengan metode seperti Stereo Calibration dan Rectification, agar kamera kiri dan kanan selaras dan distorsi lensa dapat dikurangi. Kedua, untuk menghasilkan peta kedalaman yang lebih stabil, disarankan menggunakan metode stereo matching yang lebih canggih seperti StereoSGBM atau pendekatan berbasis deep learning, karena metode ini lebih tahan terhadap noise dan area tanpa tekstur. Di sisi deteksi tepi, algoritma Canny perlu penyesuaian ambang secara adaptif, misalnya dengan melihat histogram intensitas atau kondisi pencahayaan, agar tepi rel tetap terlihat jelas meskipun cahaya kurang atau terlalu terang. Terakhir, agar data pengukuran lebih andal, proses penyimpanan ke file CSV sebaiknya disinkronkan dengan waktu pengambilan data secara real-time, serta dilengkapi dengan penanganan error jika terjadi kehilangan frame atau keterlambatan proses.

9. Daftar Pustaka

- Bourja, O., Derrouz, H., Abdelali, H. A., Maach, A., Thami, R. O. H., & Bourzeix, F. (2021). Real Time Vehicle Detection, Tracking, and Intervehicle Distance Estimation based on Stereovision and Deep Learning using YOLOv3. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(8)
- Rachidi, O., Ed-Dahmani, C., & Bououlid Idrissi, B. (2025). Advanced Pedestrian Distance Estimation for ADAS with Canny Edge Detection and Stereo Vision. *E3S Web of Conferences*, 601, 00060.
- Shah, A. A., Chowdhry, B. S., Memon, T. D., Kalwar, I. H., & Ware, J. A. (2020). Real Time Identification of Railway Track Surface Faults using Canny Edge Detector and 2D Discrete Wavelet Transform. *Annals of Emerging Technologies in Computing*, 4(2), 53–60.
- Sultana, S., Ahmed, B., Paul, M., Islam, M. R., & Ahmad, S. (2023). VisionBased Robust Lane Detection and Tracking in Challenging Conditions. *IEEE Access*, 11, 67938–67955.
-