

Laporan Praktikum Kontrol Cerdas Week 7

Nama : Zibran Rizki Arta
NIM : 224308049
Kelas : TKA-6B
Akun Github : <https://github.com/Zibranrizki25>
Student Lab Assistant : Halizah Zuhroh

1. Judul Percobaan: *Real-time Track Geometry Detection using Canny & Stereo Vision*

2. Tujuan Percobaan:

Tujuan dari percobaan *Real-time Track Geometry Detection using Canny & Stereo Vision* sebagai berikut:

- Menggunakan *Stereo Vision* untuk memperoleh kedalaman geometri rel secara *real-time*.
- Menerapkan *Canny Edge Detection* untuk mendeteksi batas rel.
- Menghitung parameter Lebar Rel, Panjang Rel, Kemiringan Rel, dan Deformasi Ballast.
- Menggunakan dua kamera untuk akuisisi data secara *real-time*.

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

Pada praktikum minggu ketujuh ini percobaan yang dilakukan adalah melakukan eksplorasi dan implementasi metode *Stereo Vision* dan *Canny Edge Detection* untuk mendeteksi dan menganalisis geometri rel secara real-time. Tujuan utama dari praktikum ini adalah memberikan pemahaman praktis mengenai bagaimana dua kamera yang dikalibrasi secara paralel dapat digunakan untuk memperoleh informasi kedalaman (*depth*) dari lingkungan, khususnya struktur rel, serta bagaimana teknik deteksi tepi Canny dapat membantu dalam proses identifikasi batas rel yang presisi sebelum dilakukan analisis geometrik lebih lanjut.

Langkah awal dimulai dengan konfigurasi perangkat keras berupa dua kamera USB yang disusun sebagai sistem stereo. Pengujian dilakukan menggunakan skrip **stereo_capture.py** untuk memastikan kedua kamera berfungsi secara sinkron dan dapat menangkap gambar dari sudut yang berbeda secara simultan. Selanjutnya, deteksi tepi dilakukan menggunakan algoritma Canny melalui skrip **canny_stereo.py**. Proses ini melibatkan konversi gambar ke grayscale, dilanjutkan dengan peredaman noise menggunakan Gaussian blur, lalu ekstraksi tepi menggunakan fungsi

cv2.Canny() dengan parameter ambang batas yang disesuaikan. Hasil dari tahap ini adalah dua citra tepi dari kamera kiri dan kanan, yang memberikan gambaran visual mengenai batas-batas fisik rel secara real-time. Setelah deteksi tepi berhasil dilakukan, praktikan melanjutkan ke tahap estimasi kedalaman menggunakan prinsip *Stereo Matching* melalui skrip **depth_estimation.py**. Dengan memanfaatkan pustaka StereoBM_create dari OpenCV, sistem menghitung peta kedalaman (*depth map*) dari dua citra grayscale. Disparitas yang dihasilkan menggambarkan perbedaan posisi horizontal objek antara dua citra, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak relatif dari kamera terhadap permukaan rel. Peta kedalaman ini menjadi data utama dalam analisis geometri rel.

Berdasarkan hasil peta kedalaman dan citra tepi yaitu melakukan analisis terhadap beberapa parameter geometri jalur rel, antara lain lebar rel, panjang rel, kemiringan, dan deformasi ballast. Lebar rel dihitung dengan mengukur jarak antar titik tepi pada peta kedalaman, panjang rel diperoleh dari panjang bidang deteksi secara keseluruhan, kemiringan rel dihitung berdasarkan perbedaan elevasi antar sisi rel, sedangkan deformasi ballast ditentukan dari variasi nilai kedalaman di sepanjang bagian bawah rel. Hasil pengukuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabel inspeksi geometri yang telah disediakan, dan dibandingkan antar beberapa sampel.

- Diskusi

Pada praktikum minggu ketujuh ini percobaan yang dilakukan adalah melakukan eksplorasi dan implementasi metode *Stereo Vision* dan *Canny Edge Detection* dengan menggunakan metode kombinasi antara *Canny Edge Detection* dan *Stereo Vision*, memiliki sejumlah kelebihan yang membuatnya sangat cocok untuk implementasi sistem inspeksi rel secara real-time. Salah satu keunggulan utama dari metode Canny adalah kemampuannya dalam mendeteksi tepi objek secara presisi tinggi bahkan pada citra yang mengalami noise atau kontras rendah. Teknik ini juga efisien secara komputasi dan relatif mudah diimplementasikan menggunakan pustaka *OpenCV*. Dalam konteks deteksi rel, metode ini

sangat efektif dalam mengidentifikasi batas-batas rel, yang menjadi dasar penting dalam pengukuran dimensi seperti lebar dan kemiringan rel. Di sisi lain, metode *Stereo Vision* memberikan keuntungan berupa kemampuan pengukuran kedalaman (depth estimation) dengan akurasi yang cukup tinggi tanpa memerlukan sensor mahal seperti LIDAR. Dengan menggunakan dua kamera yang disusun sejajar, sistem ini mampu membangun peta kedalaman 3D dari lingkungan fisik secara langsung, yang kemudian digunakan untuk menghitung parameter geometrik jalur secara aktual.

Namun demikian, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Salah satu keterbatasan utama dari *Stereo Vision* adalah sensitivitasnya terhadap kondisi pencahayaan dan kalibrasi kamera. Jika kedua kamera tidak terkalibrasi dengan baik, atau jika pencahayaan antara citra kiri dan kanan tidak konsisten, maka hasil disparitas dan peta kedalaman bisa menjadi tidak akurat. Selain itu, metode *Stereo Block Matching* yang digunakan, seperti StereoBM di OpenCV yang memiliki keterbatasan dalam menangani tekstur datar atau area dengan kontras rendah, sehingga dapat menghasilkan noise atau lubang (hole) dalam peta kedalaman. Hal ini dapat mempengaruhi akurasi pengukuran deformasi ballast dan kemiringan rel. Di sisi lain, algoritma Canny juga memiliki kelemahan dalam menghadapi deteksi tepi pada area yang sangat buram, terkena bayangan, atau terkena pantulan cahaya, yang umum terjadi pada rel di lingkungan luar ruangan. Parameter ambang bawah dan atas pada fungsi `cv2.Canny()` juga sangat mempengaruhi hasil, sehingga perlu dilakukan *tuning* yang cermat tergantung pada kondisi lingkungan.

Selain aspek teknis, keterbatasan lainnya adalah pada performa *real-time* yang sangat bergantung pada kemampuan perangkat keras. Sistem yang dijalankan tanpa GPU dapat mengalami penurunan *frame rate* terutama pada proses disparity map yang bersifat intensif secara komputasi. Walaupun praktikum ini menggunakan implementasi dasar untuk kebutuhan edukatif, dalam aplikasi dunia nyata diperlukan metode disparity map yang lebih canggih seperti StereoSGBM atau metode *deep*

learning berbasis stereo, meskipun tentu dengan konsekuensi beban komputasi yang lebih besar.

Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangannya, metode ini sangat cocok sebagai solusi berbasis visi komputer yang ekonomis, mudah diakses, dan cukup akurat untuk kebutuhan pemantauan kondisi jalur rel, terutama dalam tahap awal inspeksi atau sebagai sistem pemantauan cepat. Untuk skala industri dan aplikasi kritis, diperlukan pengembangan lanjutan berupa kalibrasi otomatis, pengolahan citra lanjutan, serta integrasi dengan sistem AI untuk meningkatkan ketahanan terhadap variasi kondisi lingkungan.

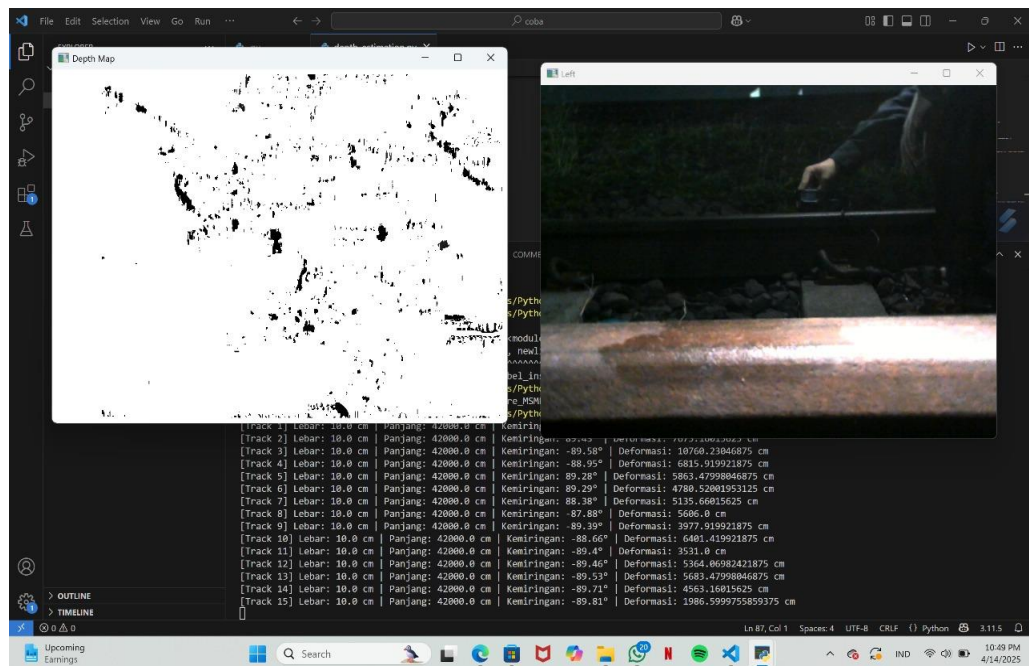
5. Assignment :

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:

No Track	Lebar Rel (cm)	Panjang Rel (cm)	Kemiringan	Identifikasi Deformasi Ballast (cm)
1	10	42000	89.15	6181.98
2	10	42000	89.29	6518.44
3	10	42000	-87.86	5957.35
4	10	42000	89.65	6813.29
5	10	42000	89.65	6697.35
6	10	42000	-88.4	6412.55



7. Kesimpulan:

Berdasarkan praktikum dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

- 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.
- Kombinasi metode Canny dan Stereo Vision dapat memberikan hasil output pengukuran parameter geometri rel secara akurat.
- 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 dengan menggunakan kombinasi metode Canny dan Stereo Vision khususnya alam hal akurasi pengukuran, kestabilan peta kedalaman, serta efektivitas sistem dalam berbagai kondisi pencahayaan. Untuk mengatasi tantangan tersebut, beberapa tindakan perlu dipertimbangkan agar sistem dapat berfungsi lebih optimal. Pertama, diperlukan proses kalibrasi kamera stereo yang lebih presisi menggunakan metode seperti *Stereo Calibration* dan *Rectification* untuk memastikan keselarasan antara kamera kiri dan kanan, serta mengurangi distorsi lensa yang dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi kedalaman. Kedua, untuk meningkatkan kualitas peta kedalaman, penggunaan metode stereo matching yang lebih canggih seperti StereoSGBM (Semi-Global Block Matching) atau bahkan pendekatan berbasis *deep learning* dapat dipertimbangkan, karena metode ini lebih tahan terhadap noise dan mampu menangani area tanpa tekstur yang sering gagal pada metode block matching dasar. Selain itu, pada sisi deteksi tepi, perlu dilakukan

penyesuaian ambang batas (threshold tuning) pada algoritma Canny secara adaptif, misalnya berdasarkan histogram intensitas citra atau kondisi cahaya lingkungan secara dinamis. Hal ini penting karena tepi rel bisa tidak terlihat jelas jika pencahayaan buruk atau terdapat pantulan cahaya berlebih. Untuk menunjang keandalan sistem dalam perekaman data hasil pengukuran, disarankan agar proses penyimpanan ke file CSV disinkronkan dengan waktu pengambilan data secara *real-time*, serta dilengkapi dengan penanganan error saat terjadi frame loss 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 Inter-vehicle Distance Estimation based on Stereovision and Deep Learning using YOLOv3. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(8).
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.01208101>
- 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.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100060>
- 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.
<https://doi.org/10.33166/AETiC.2020.02.005>
- Sultana, S., Ahmed, B., Paul, M., Islam, M. R., & Ahmad, S. (2023). Vision-Based Robust Lane Detection and Tracking in Challenging Conditions. *IEEE Access*, 11, 67938–67955.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3292128>