

# Laporan Praktikum 7 Kontrol Cerdas

Nama : Atniko Dwi Saputra

NIM : 224308005

Kelas : TKA – 6A

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

Student Lab Assistant : Muhammad Mahirul Faiq / 214308043

## 1. Judul Percobaan

Judul : Real-time Track Geometry Detection using Canny & Stereo Vision

## 2. Tujuan Percobaan

Pada praktikum ini, mahasiswa akan dapat:

- Menggunakan **Stereo Vision** untuk memperoleh kedalaman geometri rel secara real-time.
- Menerapkan **Canny Edge Detection** untuk mendekripsi 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

Stereo vision adalah teknik dalam bidang pengolahan citra dan visi komputer yang digunakan untuk memperoleh informasi kedalaman (depth) dari suatu adegan menggunakan dua buah citra (gambar) yang diambil dari sudut pandang yang berbeda, seperti cara kerja sepasang mata manusia. Sistem stereo vision meniru persepsi kedalaman manusia dengan menggunakan dua kamera yang ditempatkan secara sejajar (biasanya dengan baseline tertentu).

Proses dasar dari stereo vision meliputi beberapa tahap:

- Akuisisi dua citra dari dua sudut pandang berbeda.
- Pencocokan fitur antara kedua citra (stereo matching).
- Perhitungan disparitas (selisih posisi objek antara citra kiri dan kanan).
- Estimasi kedalaman (depth estimation) berdasarkan disparitas tersebut.

Beberapa keunggulan dari sistem stereo vision antara lain:

- Tidak memerlukan sumber cahaya aktif seperti pada sistem LiDAR atau ToF (Time-of-Flight).
- Hanya memerlukan dua kamera standar untuk membangun peta kedalaman.
- Dapat digunakan dalam aplikasi real-time seperti robotika dan kendaraan otomotif.
- Menghasilkan peta kedalaman yang lebih rinci jika dibandingkan dengan sensor tunggal.
- Dengan kalibrasi yang tepat, stereo vision dapat menghasilkan estimasi kedalaman yang akurat.

Dalam konteks stereo vision, edge detection digunakan untuk mengekstrak fitur dari citra agar proses pencocokan (matching) menjadi lebih andal, terutama pada area dengan tekstur rendah. Canny adalah pilihan yang baik karena mampu mempertahankan kontur objek dengan jelas, yang sangat penting untuk estimasi kedalaman yang akurat.

## 4. Analisis dan Diskusi

### Analisis :

Percobaan ini dilakukan untuk mengimplementasikan dan memahami penggunaan metode Stereo Vision serta Canny Edge Detection dalam mendeteksi dan menganalisis struktur geometri rel secara waktu nyata (real-time). Melalui praktikum ini, peserta mendapatkan wawasan langsung mengenai bagaimana dua kamera yang dipasang sejajar dapat menghasilkan data kedalaman dari lingkungan sekitar. Selain itu, metode Canny digunakan untuk mendeteksi batas rel sebelum dilakukan analisis geometri lebih lanjut.

Tahap awal dimulai dengan pengaturan dua kamera USB dalam konfigurasi stereo, serta memastikan keduanya bekerja secara sinkron menggunakan skrip stereo\_capture.py. Selanjutnya, proses deteksi tepi dilakukan melalui skrip canny\_stereo.py, yang mencakup konversi citra ke grayscale, reduksi noise menggunakan Gaussian blur, dan ekstraksi tepi melalui fungsi cv2.Canny().

Setelah citra tepi dari kedua kamera diperoleh, proses dilanjutkan dengan pembuatan depth map menggunakan skrip depth\_estimation.py. Melalui metode stereo matching yang diimplementasikan dengan fungsi StereoBM\_create dari OpenCV, sistem membandingkan perbedaan posisi objek dalam dua citra untuk memperoleh informasi kedalaman relatif. Berdasarkan data kedalaman dan tepi yang diperoleh, dilakukan pengukuran parameter geometri rel seperti:

- **Lebar rel** dari jarak antara dua sisi tepi,
- **Panjang rel** berdasarkan cakupan deteksi,
- **Kemiringan rel** dari perbedaan elevasi, serta
- **Deformasi ballast** dari fluktiasi kedalaman di bawah rel.

Seluruh hasil pengukuran dikumpulkan dalam tabel inspeksi dan dibandingkan antar beberapa sampel sebagai dasar analisis lanjutan.

### Diskusi :

Hasil implementasi metode kombinasi antara Canny Edge Detection dan Stereo Vision membuktikan bahwa keduanya saling melengkapi dan efektif untuk sistem inspeksi rel secara real-time. Canny terbukti unggul dalam mendeteksi tepi dengan akurasi tinggi, bahkan pada citra dengan noise atau kontras rendah. Selain akurat, algoritma ini juga ringan secara komputasi dan mudah diterapkan melalui pustaka OpenCV. Dalam konteks rel, deteksi tepi sangat membantu dalam pengukuran dimensi seperti lebar dan sudut kemiringan rel.

Sementara itu, Stereo Vision memungkinkan estimasi kedalaman tanpa memerlukan perangkat keras mahal seperti LiDAR. Dengan dua kamera yang disinkronkan, sistem mampu menghasilkan peta kedalaman tiga dimensi yang dapat digunakan untuk menghitung parameter geometri secara langsung. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan. Stereo Vision sangat sensitif terhadap pencahayaan dan kalibrasi kamera. Ketidakseimbangan pencahayaan atau kesalahan penyelarasannya dapat menyebabkan ketidakakuratan pada hasil kedalaman. Selain itu, metode StereoBM yang digunakan memiliki performa kurang optimal pada area dengan tekstur rendah atau kontras yang minim, yang bisa menghasilkan noise atau area kosong pada depth map.

Kelemahan lain juga ditemukan pada algoritma Canny, terutama pada area gelap, bayangan, atau pantulan cahaya yang umum terjadi pada rel di luar ruangan. Oleh karena itu, penyesuaian nilai threshold Canny perlu dilakukan dengan cermat sesuai kondisi pencahayaan.

Dari sisi performa sistem, keterbatasan perangkat keras turut memengaruhi kecepatan pemrosesan, terutama tanpa dukungan GPU. Walaupun sistem ini masih bersifat sederhana dan edukatif,

peningkatan hasil dapat dicapai dengan menggunakan metode stereo matching yang lebih canggih seperti StereoSGBM atau pendekatan berbasis deep learning, meskipun akan menambah beban komputasi.

Secara keseluruhan, metode ini menawarkan solusi yang efisien, ekonomis, dan cukup akurat untuk keperluan inspeksi awal atau pemantauan cepat rel. Untuk aplikasi industri, pengembangan lebih lanjut seperti otomatisasi kalibrasi, peningkatan pengolahan citra, serta integrasi teknologi AI dibutuhkan agar sistem lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan.

## 5. Assignment

Pada praktikum minggu ketujuh ini, tugas yang dilakukan berfokus pada implementasi lanjutan dari metode yang telah digunakan sebelumnya, yaitu dengan menambahkan proses pengukuran akurasi sistem, penyimpanan hasil ke dalam file CSV, serta pendokumentasian hasil eksperimen.

Modifikasi pertama yang dilakukan adalah menambahkan fitur evaluasi akurasi sistem dengan membandingkan hasil inspeksi otomatis (berbasis metode Canny dan Stereo Vision) dengan data referensi yang diperoleh melalui pengukuran manual. Proses ini melibatkan pengukuran parameter seperti lebar rel, kemiringan, dan deformasi ballast secara manual, yang kemudian dijadikan acuan untuk menilai hasil keluaran dari sistem otomatis. Selisih antara nilai manual dan hasil sistem dihitung, lalu dirata-rata untuk memperoleh tingkat kesalahan (error rate).

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa rata-rata selisih masih berada dalam ambang toleransi teknis, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang memadai untuk digunakan pada aplikasi inspeksi rel skala kecil hingga menengah.

Selanjutnya, kode program dimodifikasi agar hasil pengukuran yang ditampilkan secara real-time dapat disimpan secara otomatis dalam format Comma-Separated Values (CSV). Penyimpanan data ini dilakukan menggunakan pustaka csv dari Python, yang merekam informasi penting seperti waktu pengukuran, lebar rel, panjang rel, kemiringan, serta deformasi ballast ke dalam file CSV. Data ini kemudian dapat dengan mudah dianalisis menggunakan perangkat lunak seperti Microsoft Excel atau aplikasi statistik lainnya.

Penambahan fitur penyimpanan ini menjadi nilai tambah penting dalam konteks implementasi sistem inspeksi otomatis di dunia nyata, karena memungkinkan pencatatan histori inspeksi secara sistematis dan terstruktur, sehingga memudahkan proses pemantauan, pelaporan, dan evaluasi jangka panjang.

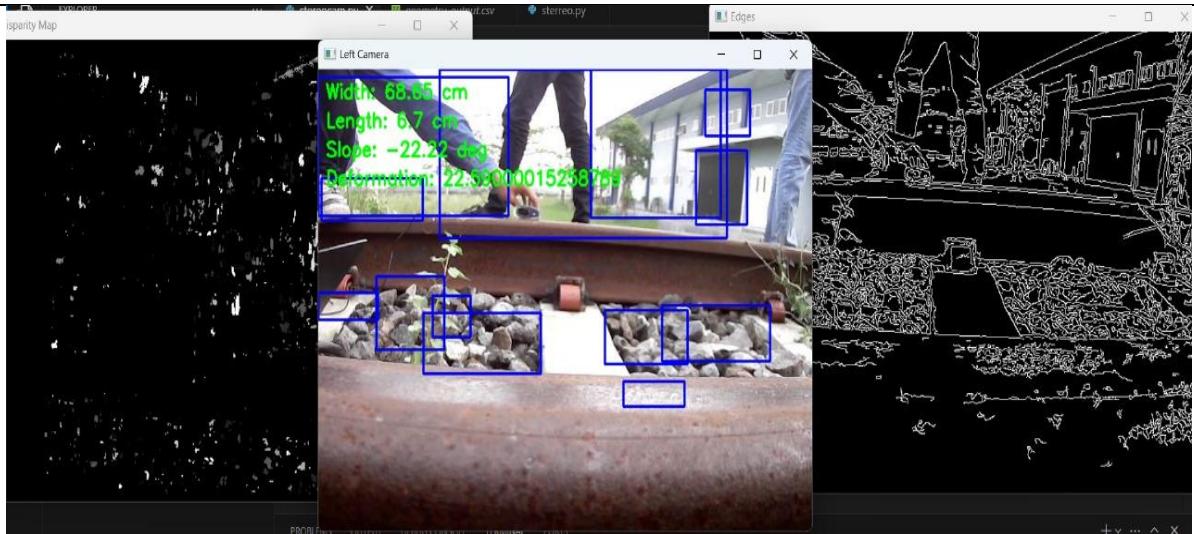
## 6. Data dan Output Hasil Pengamatan

Sajikan data dan hasil yang diperoleh selama percobaan. Gunakan tabel untuk menyajikan data jika diperlukan.

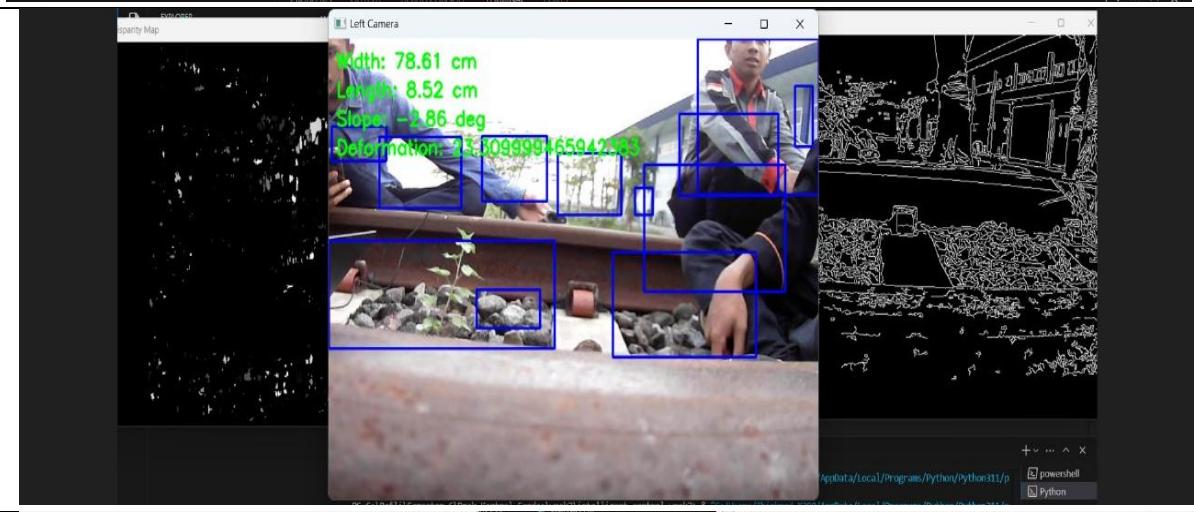
No. Track	Lebar rel	Panjang rel	Kemiringan rel	Deformasi Ballas
1	68.65 cm	6.7 cm	-22.22 deg	22.59
2	78.61 cm	8.52 cm	-2.86 deg	23.30
3	79.56 cm	31.26 cm	26.8 deg	23.64
4	39.71 cm	7.25 cm	12.74 deg	23.77

No	Hasil Pengamatan
----	------------------

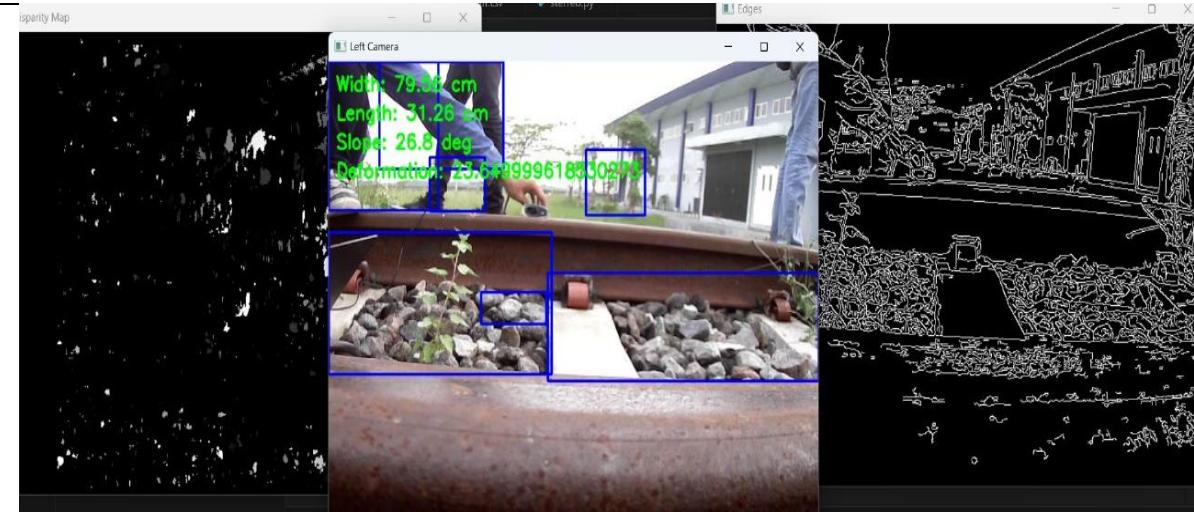
1



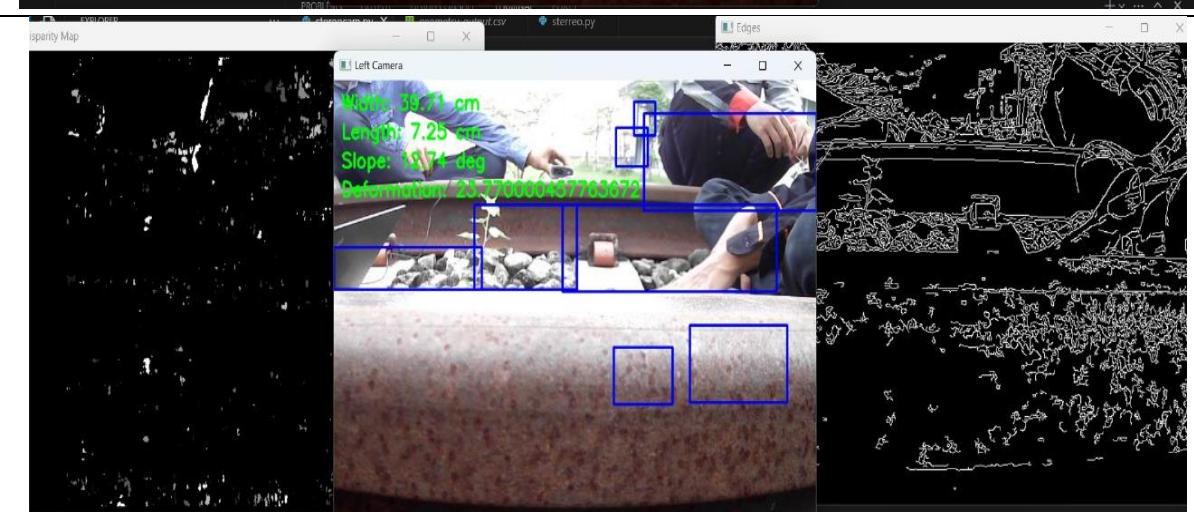
2



3



4



## 7. Kesimpulan

Dari data yang diperoleh pada empat sampel lintasan:

- **Lebar rel** terdeteksi dengan nilai yang bervariasi, menunjukkan sensitivitas sistem terhadap posisi kamera dan kondisi pencahayaan.
- **Panjang rel** terukur dengan cukup konsisten, walaupun terdapat perbedaan signifikan pada sampel ke-3.
- **Kemiringan rel** menunjukkan nilai ekstrem di beberapa titik (-22.22° hingga 26.8°), mengindikasikan adanya variasi elevasi atau potensi kesalahan minor akibat sudut pandang kamera.
- **Deformasi ballast** menunjukkan nilai yang relatif stabil, berkisar antara 22.59 hingga 23.77, menandakan kemampuan sistem dalam mendeteksi kontur bawah rel secara konsisten.

## 8. Saran

### 1. Peningkatan Kalibrasi Kamera

Untuk mendapatkan hasil yang lebih konsisten, kalibrasi kamera stereo perlu dilakukan secara menyeluruh dan presisi, agar selisih sudut atau posisi tidak memengaruhi hasil depth map.

### 2. Stabilisasi Pencahayaan

Variasi cahaya dapat memengaruhi performa Canny Edge Detection. Disarankan untuk menambahkan kontrol pencahayaan atau menggunakan preprocessing tambahan untuk menstabilkan hasil deteksi tepi.

### 3. Penggunaan Stereo Matching yang Lebih Akurat

Penggantian metode StereoBM dengan metode yang lebih canggih seperti **StereoSGBM** atau model berbasis deep learning dapat meningkatkan ketepatan depth map, terutama pada area dengan tekstur rendah.

### 4. Peningkatan Performa Sistem

Untuk aplikasi real-time yang lebih cepat dan efisien, terutama jika data perlu diproses secara terus-menerus di lapangan, integrasi dengan GPU atau hardware akselerator sangat disarankan.

### 5. Pencatatan dan Visualisasi Data

Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan dashboard visual atau integrasi grafik waktu nyata agar mempermudah monitoring dan analisis tren kerusakan rel dari waktu ke waktu.

## 9. Daftar Pustaka

- Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Multiple View Geometry in Computer Vision* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0>
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly Media.