

Pengembangan Trem Otonom tanpa Rel

¹Muhamad Asa Nurriqzita Adhiem, ^{2,3}Yul Yunazwin Nazaruddin*), ²Naila Zahra

¹Program Studi Teknik Fisika

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol

³National Center for Sustainable Transportation Technology, Indonesia

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

*)yul@tf.itb.ac.id

Abstrak

Perkembangan sistem transportasi memegang peranan penting dalam menunjang mobilisasi. Perkembangan tersebut sejalan dengan perkembangan zaman dan kebutuhan masyarakat akan transportasi. Salah satu pengembangan yang mulai banyak diperhatikan orang adalah trem tanpa rel, yang terjadi karena adanya perkembangan teknologi kecerdasan buatan, sensor, dan metode kontrol pengikut jalur. Pada makalah ini dibahas pengembangan sistem kontrol dan sistem pendeteksi objek yang diterapkan pada trem otonom tanpa rel, dengan tujuan agar trem mampu berjalan mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan serta mendeteksi objek penghalang beserta rambu lalu lintas. Ketika trem berhasil mendeteksi objek penghalang, trem akan melakukan pengukuran jarak dengan menggunakan konsep penglihatan stereo. Untuk itu maka metode kontrol pengikut jalur yang diterapkan pada penelitian ini adalah kontrol logika *fuzzy*. Selain itu, metode *Line of Sight* (LoS) diterapkan agar selisih jarak antara lokomotif terhadap segmen garis yang diikuti dapat diminimumkan sehingga trem dapat berjalan mengikuti garis virtual yang sudah ditentukan. Implementasi metoda-metoda tersebut pada model kereta dan juga teknik mendeteksi beberapa penghalang perjalanan kereta menunjukkan hasil yang memuaskan.

Kata Kunci: trem tanpa rel, kecerdasan buatan, kontrol pengikut jalur, pendeteksi objek

1 Pendahuluan

Trem otonom merupakan salah satu inovasi untuk moda transportasi publik yang menggabungkan karakteristik kereta dengan bis. Trem otonom beroperasi di jalan raya dengan menggunakan jalur virtual [1] dan merupakan trem yang dirancang dengan tujuan diantaranya adalah sifat ramah lingkungan karena trem beroperasi dengan menggunakan superkapasitor [2]. Agar trem otonom dapat beroperasi di jalan raya, maka trem menggunakan berbagai macam sensor untuk keperluan penentuan posisi atau lokalisasi dari trem, teknologi kecerdasan buatan untuk mendeteksi objek penghalang dan rambu lalu lintas dan sekaligus juga menghindari objek, dan penggunaan metode metoda kontrol tertentu agar dapat bergerak secara terkontrol di jalan raya, seperti misalnya dengan menerapkan metoda kontrol untuk pengikut jalur (*line following control*).

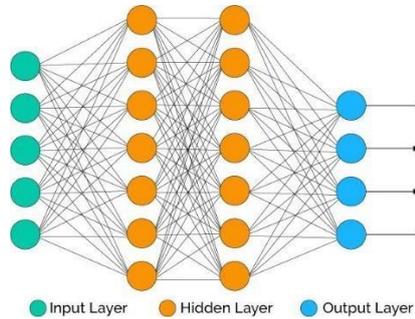
Penelitian mengenai kontrol pengikut jalur sudah dilakukan pada kasus pengontrolan truk *trailer*. Pada penelitian tersebut, truk *trailer* dikontrol pergerakannya agar dapat mengikuti suatu garis virtual [3]. Selain kontrol pengikut jalur, penelitian mengenai implementasi penggunaan *deep learning* pada kendaraan bergerak lainnya, seperti misalnya mobil otonom, bus otonom dan lainnya sudah dilakukan untuk mendeteksi objek penghalang [4].

Makalah ini akan membahas mengenai pengembangan trem otonom tanpa rel dengan tujuan yang ingin dicapai adalah trem mampu berjalan mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan dan mampu mendeteksi objek penghalang serta rambu lalu lintas. Konsep penglihatan stereo (*stereo vision*) digunakan pada penelitian ini karena konsep ini bersifat efektif untuk keperluan deteksi yang bersifat non kontak [5]. Metode kontrol pengikut jalur yang diterapkan pada penelitian ini adalah logika *fuzzy*. Penggunaan metode LoS pada penelitian ini dimaksudkan agar lokomotif trem dapat mengikuti orientasi dari vektor LoS. Dengan demikian, jarak antara trem otonom terhadap segmen garis yang diikuti dapat diminimumkan sehingga trem otonom tanpa rel dapat mengikuti jalur virtual yang sudah ditentukan dengan optimal.

1.1 Penerapan Metoda Kecerdasan Buatan

Untuk menerapkan teknik pengontrolan dan pendeteksian objek pada perancangan trem otonom maka perlu digunakan metoda kecerdasan buatan seperti teknik logika *fuzzy* dan Jaringan Syaraf Tiruan [6]. Logika *fuzzy* adalah transisi dari kebenaran mutlak ke kebenaran parsial yang menggeneralisasi logika klasik dua nilai dengan mengizinkan nilai kebenaran parsial dari proposisi diwakili oleh angka dalam interval 0 sampai 1. Logika *fuzzy* memungkinkan untuk mengolah data selayaknya manusia. Secara umum himpunan *fuzzy* dapat menggambarkan nilai-nilai kebenaran dari suatu proporsi dalam bentuk fungsi. Sementara itu, Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan sistem pemroses informasi yang terinspirasi oleh cara kerja sistem syaraf manusia [6].

Salah satu keunggulan dari JST adalah melakukan proses pembelajaran yang dinamik dari pengenalan bentuk atau pola. Pada dasarnya JST secara pokok tersusun oleh banyak neuron, yang diasumsikan merepresentasikan neuron-neuron yang ada di otak manusia, yang saling terkoneksi satu sama lain secara komputasional dengan melalui beberapa lapisan (*layer*), yang disebut dengan lapisan masukan, tersembunyi dan keluaran, dengan struktur dasar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 [6].



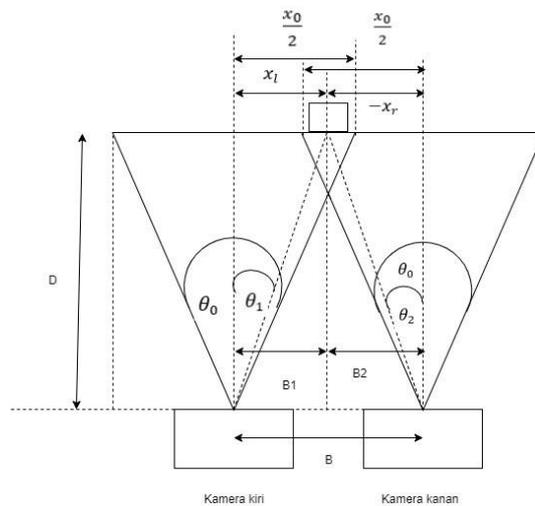
Gambar 1. Struktur dasar Jaringan Saraf Tiruan

1.2 SSD-MobileNet

Untuk melakukan pendeteksian objek, maka penelitian ini menggunakan konsep *MobileNet*, yang menerapkan konvolusi *depthwise separable* [7]. Konvolusi *depthwise separable* adalah bentuk dari konvolusi terfaktorasi yang memfaktorkan konvolusi standar menjadi konvolusi *depthwise* dan konvolusi *pointwise* [8]. *Single Shot Multibox Detector* (SSD) adalah metode yang digunakan untuk mendeteksi objek pada suatu gambar dengan menerapkan *neural network* untuk menghasilkan lokalisasi dan klasifikasi [8]. Lapisan jaringan dasar pada SSD menggunakan arsitektur konvolusional standar yang digunakan untuk klasifikasi gambar. Lapisan konvolusional menghasilkan suatu lapisan yang disebut dengan lapisan ekstraksi filter untuk melakukan klasifikasi kelas suatu objek. SSD melakukan klasifikasi objek dengan cara konvolusi terhadap data masukan gambar. Konvolusi ini bertujuan untuk melakukan ekstraksi fitur dan memperkecil dimensi data agar komputasi lebih ringan.

1.3 Penglihatan Stereo

Metode pengukuran stereoskopik adalah sebuah metode pengukuran jarak dengan menggunakan dua buah kamera identik. Dua buah kamera identik digunakan untuk menimbulkan efek kedalaman sehingga jarak antara objek penghalang dengan kamera dapat diketahui. Pengukuran jarak objek dapat dihitung berdasarkan perbedaan relatif dari posisi objek pada masing-masing gambar yang ditangkap kamera, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Penglihatan Stereo

Berdasarkan gambar tersebut, jarak antara objek dengan kamera dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

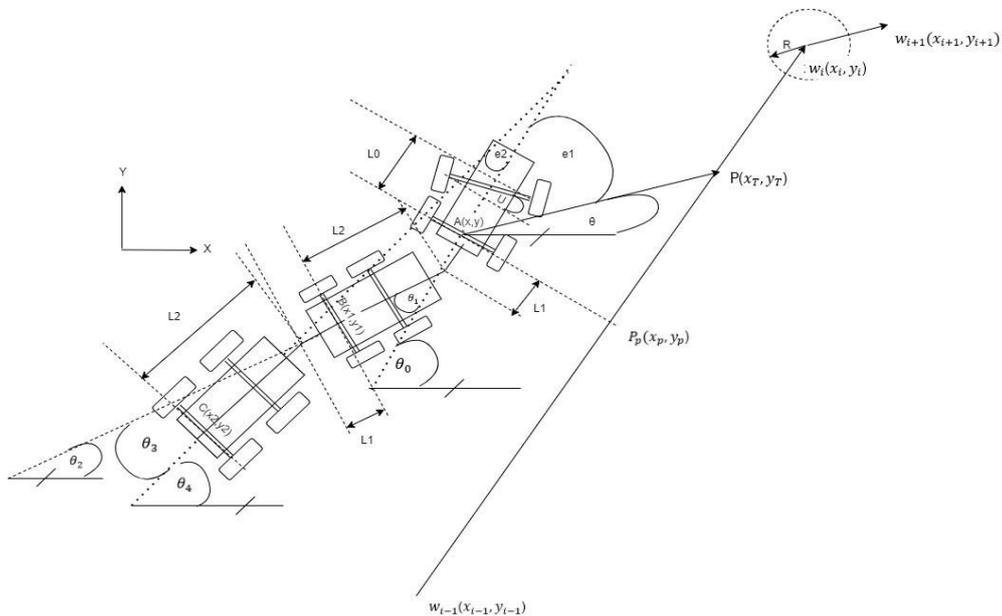
$$D = \frac{Bx_0}{2 \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)(x_l - x_D)} \tag{1}$$

2 Perancangan Pengontrol dan Sistem Pendeteksi Objek

2.1 Deskripsi Sistem

2.1.1 Model Kinematika Kereta tanpa Rel

Gambar skematik trem tanpa rel ditentukan untuk mendapatkan rumus kinematika dari trem tanpa rel. Selain itu, gambar skematik dari trem tanpa rel diperlukan untuk menentukan *error* yang akan digunakan sebagai masukan pada pengontrol *fuzzy*. Karena trem memiliki kemudi dan tergolong sebagai kendaraan berbadan jamak, model skematik trem tanpa rel didekati oleh model skematik truk dengan dua buah *trailer* seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik trem tanpa rel

Dengan menggunakan pendekatan model kinematika truk dengan dua buah trailer, persamaan kinematika untuk trem tanpa rel dapat dirumuskan sebagai berikut [10].

$$\dot{\theta}_0 = \frac{v \tan U}{L_0} \tag{2}$$

$$\theta_1 = \theta_0 - \theta_2 \tag{3}$$

$$\dot{\theta}_2 = \frac{v \sin \theta_1}{L_2} \tag{4}$$

$$\theta_3 = \theta_2 - \theta_4 \tag{5}$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{v \cos \theta_1 \sin \theta_3}{L_2} \tag{6}$$

$$\dot{x} = v \cdot \cos \theta_0 \tag{7}$$

$$\dot{y} = v \cdot \sin \theta_2 \tag{8}$$

$$x_1 = x - L_1 \cdot \cos \theta_0 - L_2 \cos \theta_2 \tag{9}$$

$$y_1 = y - L_1 \sin \theta_0 - L_2 \sin \theta_2 \tag{10}$$

$$x_2 = x_1 - L_1 \cos \theta_2 - L_2 \cos \theta_4 \tag{11}$$

$$y_2 = y_1 - L_1 \sin \theta_2 - L_2 \sin \theta_4 \tag{12}$$

Pada trem tanpa rel, gerakan trem diasumsikan hanya berada pada bidang XoY. Berdasarkan persamaan kinematika tersebut, sudut orientasi dari lokomotif (θ_0), orientasi gerbong pertama (θ_2), orientasi gerbong kedua (θ_4), serta koordinat dalam bidang XoY dipengaruhi oleh kecepatan lokomotif (v) dan sudut kemudi (U). Selain itu, sudut orientasi dan posisi lokomotif beserta gerbong dalam sistem koordinat XoY dipengaruhi oleh dimensi L_0 , L_1 , dan L_2 . L_1 menyatakan dimensi panjang dari titik sambung ke sumbu roda belakang, L_2 menyatakan dimensi panjang dari titik sambung ke sumbu roda belakang pada gerbong pertama, dan L_0 menyatakan dimensi panjang dari sumbu roda depan ke sumbu roda belakang pada lokomotif. Koordinat dari gerbong pertama dan kedua berturut – turut dinyatakan oleh B (x_1, y_1) dan C (x_2, y_2).

2.1.2 Metode Line of Sight

Pada kasus kontrol pengikut jalur ini, trem tanpa rel bergerak maju sehingga vektor LoS merupakan sebuah vektor garis yang menghubungkan koordinat lokomotif trem atau A (x, y) dengan titik referensi atau P (x_T, y_T) yang terletak pada segmen garis yang diikuti. Titik $P_p (x_p, y_p)$ merupakan proyeksi dari posisi lokomotif sehingga titik referensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [10].

$$(x_T - x_p)^2 + (y_T - y_p)^2 = (k \cdot L)^2 \tag{13}$$

$$\frac{y_T - y_p}{x_T - x_p} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \tag{14}$$

dengan k merupakan bilangan positif dan L merupakan dimensi total dari panjang kereta tanpa rel. Titik $w_i (x_i, y_i)$ dan $w_{i+1} (x_{i+1}, y_{i+1})$ merupakan dua buah titik yang terletak pada segmen garis yang diikuti. Titik referensi tersebut diperbarui dengan waktu sampling tertentu. Lintasan yang diikuti oleh trem tanpa rel terdiri dari banyak segmen garis sehingga diperlukan mekanisme pergantian segmen garis. Pergantian segmen garis yang diikuti dilakukan ketika pertidaksamaan berikut terpenuhi [10].

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \leq R^2 \tag{15}$$

Ketika lokomotif dari trem tanpa rel berada di dalam lingkaran dengan radius R , segmen garis berikutnya dengan titik $w_i (x_i, y_i)$ dan $w_{i+1} (x_{i+1}, y_{i+1})$ akan dipilih.

2.1.3 Sistem Pendeteksi Objek

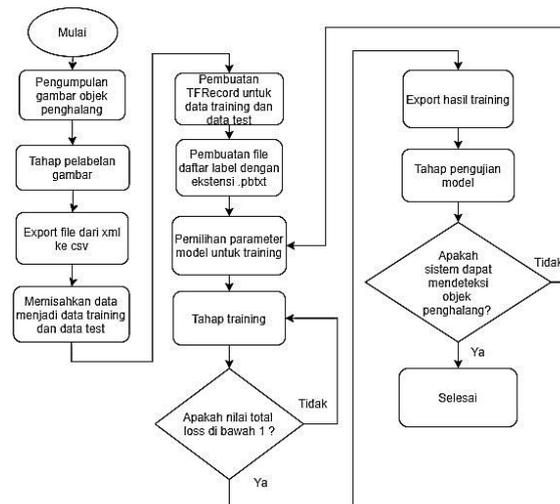
Trem tanpa rel dilengkapi dengan sistem pendeteksi objek berupa dua buah kamera identik dan algoritma *deep learning*. Sebelum diterapkan pada trem tanpa rel, sistem dilatih dengan menggunakan data gambar berjumlah 1200 yang terdiri atas enam jenis objek meliputi miniatur mobil, orang, truk, serta rambu-rambu stop, belok kanan, dan belok kiri. Algoritma yang digunakan untuk tahap pelatihan adalah *SSD Mobilenet* [9]. Diagram alir dari tahap pelatihan algoritma deteksi objek diperlihatkan pada Gambar 4.

2.2 Desain Pengontrol Fuzzy

Pengontrol *fuzzy* dirancang agar sudut error e_1 dan e_2 (lihat Gambar 3.) bernilai nol sehingga trem tanpa rel dapat bergerak mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan. Masukan dari pengontrol *fuzzy* dirumuskan sebagai berikut.

$$e_1 = \theta - \theta_0 \tag{16}$$

$$e_2 = \theta_0 - \theta_4 \tag{17}$$



Gambar 4. Diagram alir pelatihan algoritma deteksi objek

sedangkan keluaran dari pengontrol fuzzy adalah sudut kemudi lokomotif, U . Untuk perancangan pengontrol fuzzy tersebut maka variabel linguistik dari e_1 , e_2 , dan U didefinisikan sebagai berikut.

$$e_1 = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$$

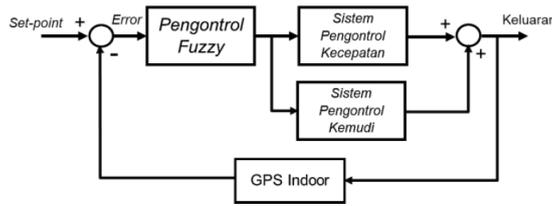
$$e_2 = \{N, Z, P\}$$

$$U = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$$

Variabel linguistik NB, NS, N, Z, P, PS, dan PB masing – masing menyatakan *Negative Big*, *Negative Small*, *Negative*, *Zero*, *Positive*, *Positive Small*, dan *Positive Big*. Dari berbagai pertimbangan serta pengamatan yang dilakukan, maka aturan fuzzy untuk kontrol pengikut jalur pada kereta tanpa rel dapat disusun sebagai berikut.

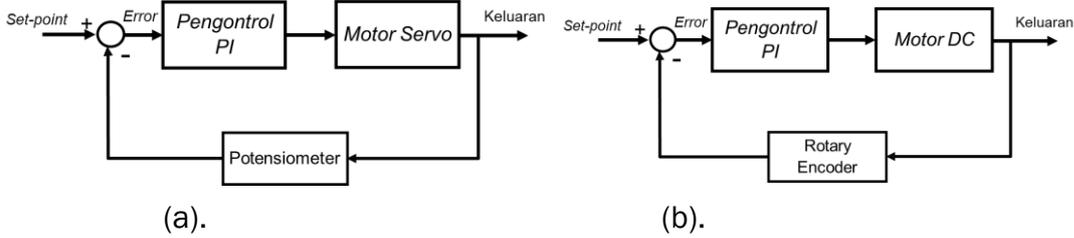
1. IF (e1 is NB) AND (e2 is N) THEN U is NB
2. IF (e1 is NB) AND (e2 is Z) THEN U is NB
3. IF (e1 is NB) AND (e2 is P) THEN U is NB
4. IF (e1 is NS) AND (e2 is P) THEN U is NS
5. IF (e1 is NS) AND (e2 is Z) THEN U is NS
6. IF (e1 is NS) AND (e2 is N) THEN U is NS
7. IF (e1 is Z) AND (e2 is N) THEN U is Z
8. IF (e1 is Z) AND (e2 is Z) THEN U is Z
9. IF (e1 is Z) AND (e2 is P) THEN U is Z
10. IF (e1 is PS) AND (e2 is P) THEN U is PS
11. IF (e1 is PS) AND (e2 is Z) THEN U is PS
12. IF (e1 is PS) AND (e2 is N) THEN U is PS
13. IF (e1 is PB) AND (e2 is N) THEN U is PB
14. IF (e1 is PB) AND (e2 is Z) THEN U is PB
15. IF (e1 is PB) AND (e2 is P) THEN U is PB

Metode *minimum* dan *maksimum* digunakan untuk keperluan inferensi sedangkan metode *Center of Area* (CoA) digunakan untuk proses defuzzifikasi. Agar tram dapat bergerak mengikuti jalur yang telah ditentukan, titik – titik pada segmen garis akan dimasukkan ke dalam komputer dan komputer akan menerima data berupa sudut orientasi dari kereta melalui komunikasi secara nirkabel. Komputer akan menghitung error sudut orientasi dan memasukkan nilai error tersebut ke dalam pengontrol *fuzzy*. Output yang dihasilkan berupa sudut kemudi yang dikirim ke kereta melalui komunikasi nirkabel. Diagram blok sistem kontrol pengikut jalur untuk trem tanpa rel tersebut dapat dilihat pada Gambar 5., yang terdiri atas sistem pengontrol untuk kecepatan dan sistem pengontrol untuk kemudi.



Gambar 5. Diagram blok sistem kontrol pengikut jalur untuk trem tanpa rel

Diagram blok untuk sistem pengontrol kecepatan dan sistem pengontrol kemudi, dimana masing-masing menggunakan pengontrol jenis Proporsional dan Integral (PI) diperlihatkan pada Gambar 6. Untuk pengontrolan kemudi, potensiometer digunakan sebagai umpan balik sudut kemudi sedangkan sensor *rotary encoder* digunakan sebagai umpan balik kecepatan pada pengontrolan kecepatan. GPS indoor digunakan sebagai umpan balik posisi pada Gambar 5.



Gambar 6. Diagram blok untuk (a). sistem pengontrol kemudi dan (b). kecepatan

3 Hasil-hasil Studi Simulasi

3.1 Simulasi Pengontrol Fuzzy

Simulasi pengontrol fuzzy dilakukan secara numerik dengan menggunakan persamaan (2) hingga persamaan (12). Simulasi dilakukan dengan kecepatan rendah dan konstan, yaitu 0,1 m/s. Titik-titik pada segmen-segmen garis yang diikuti adalah sebagai berikut.

$$w_0(1,0), w_1(4,1), w_2(4,5), w_3(8,5), w_4(8,0), w_5(12,0)$$

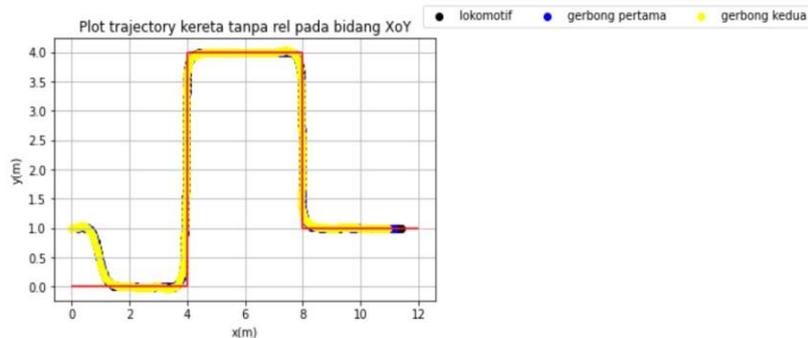
sedangkan rentang nilai dari variabel linguistik diberikan dalam besaran-besaran berikut.

$$e_1 \in \{-\pi, \pi\}, e_2 \in \{-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\}, U \in \{-\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3}\}$$

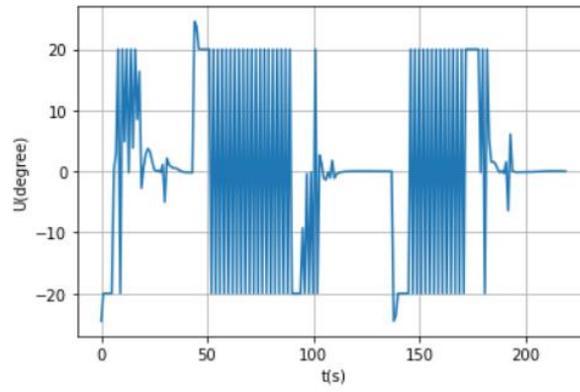
Pada studi simulasi, maka nilai *k* yang dipilih adalah sebesar 0,5. Parameter berupa dimensi panjang yang dipilih merupakan dimensi pada miniatur kereta yang digunakan pada penelitian ini. Parameter-parameter tersebut adalah diberikan oleh

$$L_0 = 0.15 \text{ m}, L_2 = 0.19 \text{ m}, L_1 = 0.03 \text{ m}$$

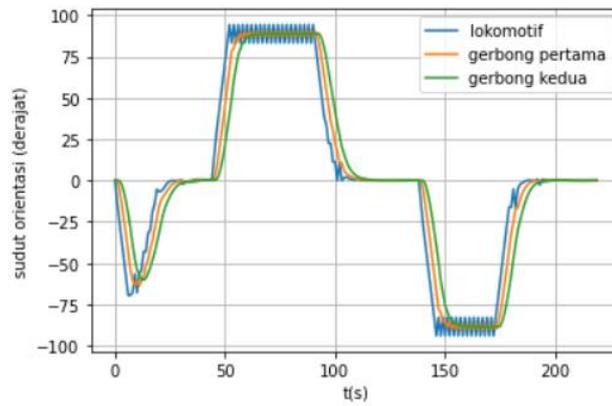
Kondisi awal kereta adalah sudut orientasi dari gerbong dan lokomotif, yaitu sebesar 0° dan kereta berada sejauh 1 m di atas segmen garis yang akan diikuti, dan besarnya waktu sampling yang digunakan adalah 1 detik. Pergerakan kereta tanpa rel pada bidang XoY diperlihatkan pada Gambar 7, dengan grafik besarnya error yang dihasilkan, yaitu error *e1* dan *e2* diperlihatkan pada Gambar 12.



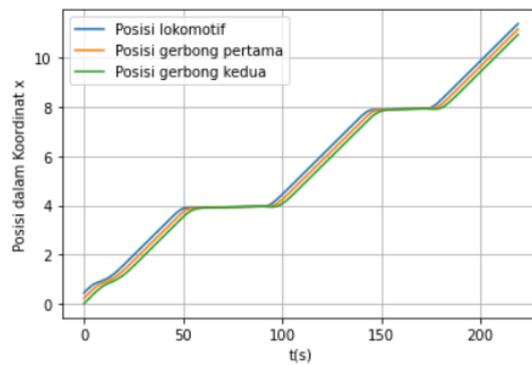
Gambar 7. Plot pergerakan trem tanpa rel



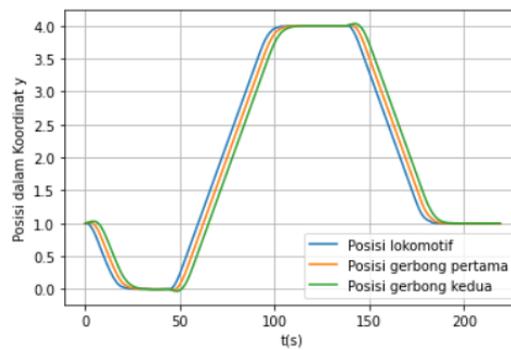
Gambar 8. Grafik sudut kemudi terhadap waktu



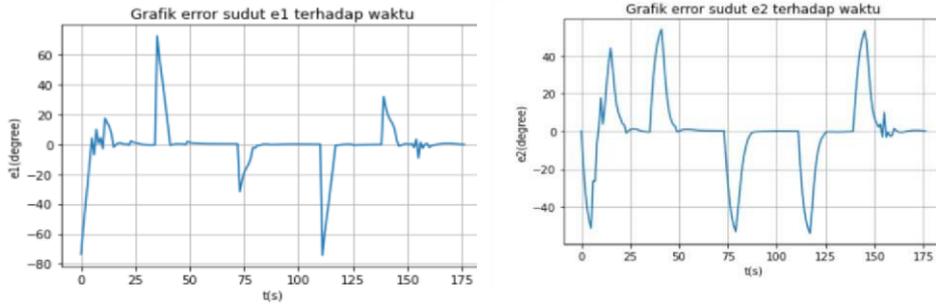
Gambar 9. Grafik sudut orientasi dari lokomotif dan gerbong terhadap waktu



Gambar 10. Grafik perubahan posisi dalam koordinat x terhadap waktu



Gambar 11. Grafik perubahan posisi dalam koordinat y terhadap waktu



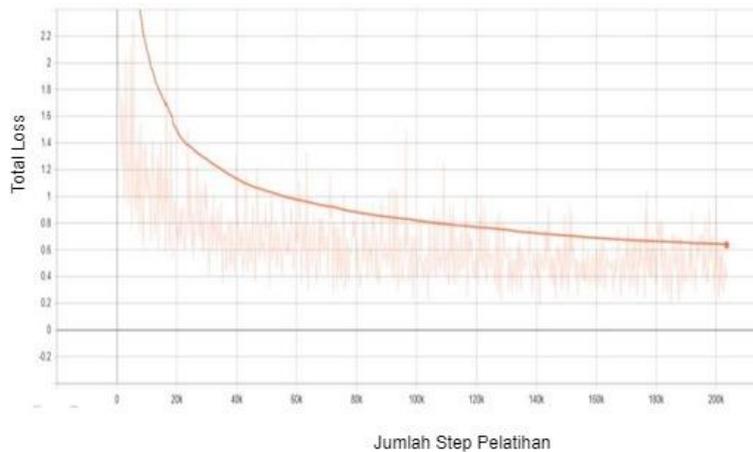
(a). (b).

Gambar 12. Grafik sudut (a). error e_1 dan (b). error e_2 terhadap waktu

Lokomotif, gerbong pertama, dan gerbong kedua masing – masing ditandai dengan lingkaran berwarna ungu, biru, dan kuning. Grafik perubahan posisi dan orientasi untuk lokomotif dan gerbong terhadap waktu terdapat pada gambar 9 hingga gambar 11. Berdasarkan gambar 7 dan 12, implementasi pengontrol fuzzy dan metode LoS menunjukkan bahwa trem dapat mengikuti orientasi dari vektor LoS sehingga trem dapat mengikuti jalur yang sudah ditentukan.

3.2 Simulasi Deteksi Objek

Untuk mengetahui bagaimana performa dari algoritma pendeteksi objek yang digunakan pada pada tahap pelatihannya, maka pada Gambar 13 diperlihatkan grafik *total loss* yang dihasilkan terhadap jumlah step pelatihan.



Gambar 13. Grafik *total loss* terhadap jumlah pelatihan

Setelah tahap pelatihan dilakukan, didapatkan nilai *average precision* sebesar 0,782 dan *total Loss* sebesar 0.8672 yang menyatakan bahwa model dapat mendeteksi objek dengan akurat. Selanjutnya, hasil-hasil dari simulasi pendeteksi objek adalah bidang pembatas berwarna dengan label beserta hasil prediksi yang dinyatakan dalam persentase untuk berbagai objek seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14.



(a). Objek berupa Rambu Lalu Lintas (b). Objek berupa Mobil (c). Objek berupa orang

Gambar 14. Hasil-hasil algoritma pendeteksi objek

Berdasarkan gambar 14, model yang sudah dilatih dapat mendeteksi objek dengan akurat yang ditandai dengan label hasil deteksi berupa kelas objek beserta presentase hasil prediksi yang bernilai tinggi.

Setelah model yang dilatih berhasil melakukan pendeteksian objek dengan memuaskan, langkah berikutnya adalah menerapkan konsep penglihatan stereo untuk mengukur jarak antara kamera dengan objek seperti yang diperlihatkan pada Gambar 15. Ketika sebuah objek penghalang berhasil terdeteksi, kotak pembatas objek tersebut akan dibuat dan dilakukan perhitungan koordinat titik tengah kotak tersebut dan titik tengah kamera dalam sumbu x untuk dimasukkan ke dalam persamaan (1) untuk menghitung jarak antara objek penghalang dengan kamera. Dengan menggunakan konsep penglihatan stereo ini maka jarak yang diukur dapat diketahui dengan kesalahan $\pm 1.43\%$. Dengan mengetahui jarak antara kereta dan objek di depannya maka dapat dilakukan langkah-langkah yang diperlukan seperti misalnya melakukan pengereman atau mencoba menghindari dari objek-objek tersebut.



Gambar 15. Implementasi konsep penglihatan stereo

4 Kesimpulan

Makalah ini berhasil memperlihatkan bagaimana pengontrolan trem tanpa rel dan pendeteksian objek-objek yang berada di depan trem tanpa rel dengan hasil yang cukup memuaskan. Berdasarkan studi simulasi yang dilakukan maka metode pengontrol *fuzzy* dengan teknik LoS dapat meminimumkan sudut error e_1 dan e_2 sehingga kereta tanpa rel dapat bergerak mengikuti jalur virtual yang sudah ditetapkan. Selain itu algoritma pendeteksian objek yang dikembangkan mampu mendeteksi objek berupa mobil, orang, truk, dan rambu lalu lintas yang meliputi tanda stop, belok kanan, dan belok kiri dengan *average precision* sebesar 0.782, serta mengenali objek-objek tersebut dengan persentasi yang cukup baik. Demikian juga konsep penglihatan stereo berhasil menentukan jarak antara kereta dengan objek di depannya dengan ketelitian yang cukup baik.

5 Referensi

- [1] Yuan, X., Huang, R., Zhang, Q., Zhang, X., Zhang, S., & Yunqin, H. (2020). *Longitudinal control of Autonomous-rail Rapid Tram in platooning using Model Predictive Control*, 2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Gijon, Spanyol, 26-29 Oct., 2020.
- [2] Li, H., Zhang, Y., Liao, H., Peng, J. *Predictive Set Point Modulation Charging of Autonomous Rail Transit Vehicles. Energies*. 2020, 13, 4992. <https://doi.org/10.3390/en13194992>.
- [3] Widyotriatmo, A., Yunazwin, Y., Raka, M., & Putranto, F. (2020). "Forward and backward motions path following controls of a truck-trailer with references on the head-truck and on the trailer. *ISA Transactions*", 2020. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.05.046>
- [4] Widyotriatmo A., Pranajati, I.G., Muhammad, F.A., and Nazaruddin, Y.Y., "Machine vision object recognition using dual-stage deep learning", The 16th International Conference on Automation Technology (Automation 2019), Taipei, Taiwan, November 22-24, 2019.
- [5] Sun, X., Jiang, Y., Ji, Y., Fu, W., Yan, S., Chen, Q., Yu, B., & Gan, X. (2019). "Distance Measurement System Based on Binocular Stereo Vision". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252(5). <https://doi.org/10.1088/17551315/252/5/052051>
- [6] Y.Y. Nazaruddin, Sistem Kontrol Cerdas, 2020, Program Studi Teknik Fisika, ITB.
- [7] A. Howard dkk, "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. *American Journal of Computing Research Repository*", American Journal of Computing Research Repository, pp. 5686-5695, 2017.
- [8] W. Liu dkk, "SSD: Single Shot MultiBox Detector", 14th European Conference on Computer Vision, pp. 21-37, 2016.
- [9] Mrovlje, J., & Vran, D. (2008). *Distance measuring based on stereoscopic pictures*, 9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint, Izola, Slovenia, 1-3 Oct., 2008.
- [10] J. Cheng, Y. Zhang, and Z. Wang, "Path tracking control for mobile robot with two trailers", *Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference, Xi'an, China, 26-28 July, 2013*.