UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Smooth Position PID Control for Electric Trains between Stations
Kenzhi, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Prof. Dr. Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Pengoperasian kereta api listrik antarstasiun memerlukan sistem kendali yang mampu mengikuti profil kecepatan secara akurat, mempertahankan kenyamanan penumpang, dan menghentikan kereta di dekat titik target. Permasalahan tersebut menjadi lebih kompleks karena dinamika longitudinal kereta dipengaruhi oleh resistansi gerak, perubahan gradien, tikungan lintasan, keterbatasan gaya traksi, serta interaksi antargerbong. Selain itu, perubahan gaya traksi dan pengereman yang terlalu tajam dapat menghasilkan percepatan dan *jerk* yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pengendali yang tidak hanya mampu mengurangi *tracking error*, tetapi juga dapat membentuk respons gaya yang halus dan realistis untuk mendukung *smooth position control* kereta api listrik.

Penelitian ini merancang pengendali PID berbasis gaya pada model dinamika longitudinal dua gerbong yang terdiri atas satu *motor car* dan satu *trailer car*. Model mempertimbangkan gaya traksi, tahanan gelinding, hambatan aerodinamika, hambatan tikungan, gaya gradien, serta gaya *coupler* antargerbong. Profil kecepatan referensi dibangkitkan berdasarkan batas kecepatan jelajah, batas kecepatan pada tikungan, dan kurva pengereman menuju stasiun. Pengendali PID dilengkapi dengan *derivative filter*, *anti-windup*, *rate limiter*, dan *actuator lag* untuk mengurangi perubahan gaya yang tajam serta merepresentasikan keterlambatan pembentukan gaya aktual. Seluruh model dan pengendali diimplementasikan dalam Python menggunakan simulasi diskret dengan langkah waktu $0{,}1\ \mathrm{s}$. Performa sistem dievaluasi menggunakan IAE, ISE, ITAE, galat posisi berhenti, waktu perjalanan, percepatan maksimum, perlambatan maksimum, dan *jerk* maksimum.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali yang dirancang mampu mengikuti perubahan profil kecepatan akibat batas jelajah, tikungan, dan pengereman menuju stasiun. Pada konfigurasi utama pengujian PID, diperoleh galat posisi berhenti sebesar $1{,}3757\ \mathrm{m}$, waktu perjalanan sebesar $2431{,}5\ \mathrm{s}$, *jerk* maksimum sebesar $1{,}3000\ \mathrm{m/s^3}$, percepatan maksimum sebesar $1{,}1625\ \mathrm{m/s^2}$, dan perlambatan maksimum sebesar $0{,}5193\ \mathrm{m/s^2}$. Variasi parameter menunjukkan bahwa peningkatan v_{cruise} dapat mempersingkat waktu perjalanan, tetapi cenderung memperbesar *tracking error*. Peningkatan $a_{\mathrm{lat,max}}$ melonggarkan batas kecepatan pada tikungan sehingga menurunkan *tracking error* dan kebutuhan perlambatan. Sementara itu, peningkatan a_{service} membuat pengereman dimulai lebih akhir dan mengurangi waktu perjalanan, tetapi meningkatkan agresivitas perlambatan serta sensitivitas galat posisi berhenti. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PID berbasis gaya dengan pembentukan profil referensi dan mekanisme penghalusan gaya dapat digunakan sebagai pendekatan untuk menghasilkan pergerakan longitudinal kereta yang stabil, halus, dan mendekati titik berhenti yang ditentukan.

Kata kunci: pengendali PID, kereta api listrik, dinamika longitudinal, profil kecepatan referensi, akurasi berhenti, kenyamanan berkendara.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Smooth Position PID Control for Electric Trains between Stations
Kenzhi, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. dan Prof. Dr. Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Electric train operation between stations requires a control system capable of accurately tracking a reference speed profile, maintaining passenger comfort, and stopping the train near the designated target position. This control problem becomes more complex because longitudinal train dynamics are affected by motion resistance, track gradients, curves, traction-force limitations, and interactions between cars. Furthermore, abrupt changes in traction and braking forces can produce high acceleration and *jerk*, thereby reducing ride comfort. Therefore, a controller is required not only to reduce speed-tracking error but also to generate smooth and physically realistic force responses for electric-train *smooth position control*.

This study develops a force-based PID controller for a two-car longitudinal train model consisting of one *motor car* and one *trailer car*. The model incorporates traction force, rolling resistance, aerodynamic drag, curving resistance, gradient force, and inter-car *coupler* force. The reference speed profile is generated from the cruising-speed limit, curve-speed limit, and braking curve toward the target station. The PID controller is equipped with a *derivative filter*, an *anti-windup* mechanism, a *rate limiter*, and an *actuator lag* to suppress abrupt force variations and represent the transient formation of actual traction and braking forces. The complete train model and controller are implemented in Python using a discrete-time simulation with a time step of $0.1\ \mathrm{s}$. System performance is evaluated using IAE, ISE, ITAE, stopping-position error, travel time, maximum acceleration, maximum deceleration, and maximum *jerk*.

The simulation results show that the proposed controller can track reference-speed variations caused by cruising limits, curves, and final-station braking. Under the main PID configuration, the train achieves a stopping-position error of $1.3757\ \mathrm{m}$, a travel time of $2431.5\ \mathrm{s}$, a maximum *jerk* of $1.3000\ \mathrm{m/s^3}$, a maximum acceleration of $1.1625\ \mathrm{m/s^2}$, and a maximum deceleration of $0.5193\ \mathrm{m/s^2}$. Parameter-variation analysis indicates that increasing v_{cruise} reduces travel time but tends to increase tracking error. Increasing $a_{\mathrm{lat,max}}$ relaxes the curve-speed restriction, thereby reducing tracking error and the required deceleration. Increasing a_{service} allows braking to begin later and shortens travel time, but it also increases braking aggressiveness and the sensitivity of the final stopping error. These results demonstrate that a force-based PID controller combined with appropriate reference-profile generation and force-smoothing mechanisms can provide stable and smooth longitudinal train motion while maintaining the stopping position near the specified target.

Keywords: PID controller, electric train, longitudinal dynamics, reference speed profile, stopping accuracy, riding comfort.