

SISTEM KENDALI PENGUBAH RASIO TRANSMISI ELEKTROMEKANIS UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK

Oleh : Varian Mohamad Cerdika¹, Bambang Supriyo^{1*}, Sihono¹

Teknologi Rekayasa Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang Jl. Prof. H. Soedarto, SH,
Tembalang, Semarang, Indonesia

*Correspondence E-mail: bsupriyo2015@polines.ac.id

Abstrak

Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem kendali rasio transmisi pada *Continuously Variable Transmission (CVT)* elektromekanis menggunakan mekanisme ulir untuk sepeda motor listrik yang dikendalikan secara elektronik berbasis PID dengan Arduino Uno. Komponen utama dari sistem ini terdiri dari motor DC sebagai aktuator, potensiometer multiturn sebagai sensor posisi pergerakan aksial puli primer, dan modul BTS7960 sebagai driver motornya. Setpoint rasio transmisi divariasikan dari 0.6 hingga 1.6. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengatur rasio transmisi secara stabil dengan overshoot rata-rata di bawah 0.3%, steady-state error di bawah 1%, dan rise time antara 4.14–11.7 detik. Kinerja terbaik dicapai pada rentang rasio 0.8–1.4, yang mengindikasikan bahwa sistem ini berpotensi dapat meningkatkan fleksibilitas dalam pemilihan rasio transmisi dan laju kecepatan sepeda motor listrik.

Kata kunci : Rasio transmisi, PID, CVT Elektromekanis, Arduino Uno, Sepeda motor listrik.

Abstract

This research designs and implements a PID transmission ratio control of an electromechanical *Continuously Variable Transmission (CVT)* using an Arduino Uno for electric motorcycle. The main components of the system consist of a DC motor as the actuator, a multiturn potentiometer as the sensor of the axial movement of the primary pulley, and a BTS7960 module as the motor driver. The setpoint of the transmission ratio is varied from 0.6 to 1.6. The experimental results show that the system is capable of controlling the transmission ratio with a stable output, an average overshoot of less than 0.3%, a steady-state error of less than 1%, and a rise time of 4.14 to 11.7 seconds. The best performance was achieved within the range of ratios 0.8 to 1.4, indicating that the system has the potential to increase flexibility in the selection of the transmission ratio and the speed of electric motorcycles.

Keywords : CVT Electromechanical, PID, Arduino Uno, electric motorcycle.

1. Pendahuluan

Pengembangan sepeda motor listrik di Indonesia telah mengalami kemajuan pesat, utamanya disebabkan oleh komitmen tegas pemerintah terhadap keamanan energi dan transportasi ramah lingkungan (Hasudungan et al., 2024). Inovasi pada sistem transmisi telah menjadi salah satu kunci peningkatan kinerja sepeda motor listrik (Spanoudakis et al., 2019). Sepeda motor listrik biasanya menggunakan sistem penggerak independen atau tunggal, tetapi kedua sistem tersebut menghadapi keterbatasan terkait torsi pada kondisi tanjakan terjal (De Pinto et al., 2020). Transmisi Variabel Kontinu (CVT) menawarkan pendekatan berbeda dengan menyesuaikan rasio secara dinamis, yang

memberi sepeda motor listrik titik operasi dengan torsi optimal (Coimbra et al., 2022). Di sisi lain, sistem CVT mekanis konvensional yang digunakan pada sepeda motor matic memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi dan kompleksitas mekanisme, serta kurang sesuai dengan karakteristik sepeda motor listrik, karena pengoperasiannya bergantung sepenuhnya pada gaya sentrifugal dan kopling mekanis yang hanya dapat bekerja optimal pada putaran mesin yang tinggi (Fu et al., 2022), (Nakazawa et al., 2023). Oleh karena itu, pengembangan CVT elektromekanis yang dikendalikan secara elektronik merupakan pilihan strategis (Supriyo et al., 2021). Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem penggerak CVT

elektromekanis dengan satu aktuator motor DC dengan metode kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) telah dilaksanakan oleh (Cholis et al., 2015; Nuri et al., 2019; Azwarie Mat Dzahir et al., 2015). Tetapi saat ini masih terdapat kesenjangan penelitian mengenai desain yang kompatibel untuk sepeda motor listrik yang dilengkapi dengan validasi kinerja eksperimentalnya. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk menunjukkan kinerja pengubah rasio transmisi variabel elektromekanis berbasis powerscrew mechanism yang dikendalikan secara elektronik berbasis Arduino Uno pada sepeda motor listrik untuk meningkatkan keakuratan dan stabilitas dalam pengaturan rasio transmisi.

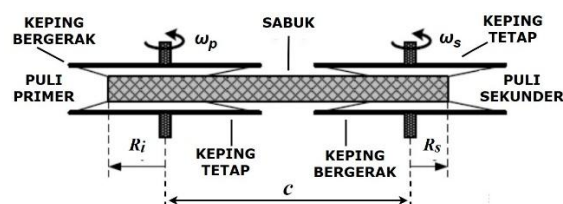
2. Tinjauan Pustaka

2.1 CVT

Prinsip kerja dasar Continuously Variable Transmission (CVT) serupa dengan mekanisme variator. Secara struktural, sistem ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu puli primer (input), puli sekunder (output), dan sabuk-V berbahan elastomer yang menghubungkan kedua puli tersebut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, masing-masing puli tersusun atas dua keping, yaitu keping-tetap yang terpasang menyatu dengan poros puli dan keping-bergerak yang dapat bergeser secara aksial pada poros puli.

Perubahan rasio transmisi secara kontinu dicapai melalui pengaturan jarak aksial antara dua keping puli primer dengan mengendalikan arah putaran motor DC aktuator, baik searah jarum jam (clockwise) maupun berlawanan arah jarum jam (counterclockwise). Ketika motor DC berputar searah jarum jam, keping-bergerak

puli primer, terdorong mendekati keping puli primer tetap, sehingga sabuk-V yang terjepit di antara kedua keping puli tersebut terdorong ke atas ke arah luar secara radial. Akibatnya, radius efektif sabuk pada puli primer (R_i) membesar. Karena panjang sabuk dan jarak antar poros puli primer dan puli sekunder (c) bersifat konstan, peningkatan radius efektif sabuk pada puli primer menyebabkan radius efektif sabuk pada puli sekunder mengecil. Kondisi ini menurunkan nilai rasio transmisi dan meningkatkan kecepatan putaran poros pada puli sekunder (ω_s) yang diteruskan ke bagian roda belakang. Kecepatan putaran poros puli primer (ω_p) ditentukan oleh kecepatan putar dari poros motor listrik yang bertindak sebagai mesin pendorong. Dan sebaliknya, apabila motor DC berputar berlawanan arah jarum jam, maka keping-bergerak puli primer, ditekan keluar secara aksial oleh sabuk dan bergeser menjauhi keping-tetap puli primer, sehingga sabuk-V yang terjepit di antara kedua keping puli tersebut meluncur ke arah dalam secara radial. Akibatnya, radius efektif sabuk pada puli primer meningkat, dan radius efektif sabuk pada puli sekunder membesar. Kondisi ini menaikkan nilai rasio transmisi dan menurunkan kecepatan putaran poros pada puli sekunder.



Gambar 1. Konsep dasar CVT

3. Metode Penelitian

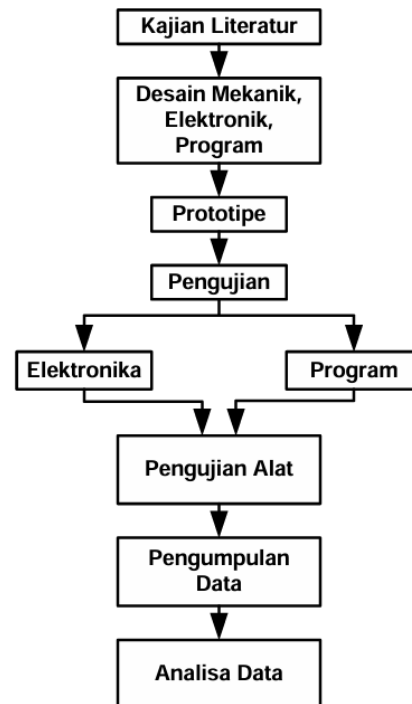
Metodologi penelitian ini, seperti yang ditampilkan pada gambar 2, dapat diterangkan sebagai berikut:

(i) Tahap awal mengadakan kajian literatur

- yang berhubungan dengan CVT .
- (ii) Desain mekanik, elektronik dan program kendali pada Arduino Uno untuk setpoint rasio transmisi.
- (iii) Pembuatan prototipe CVT Electromekanis untuk menguji kendali pengubah rasio transmisi.
- (iv) Pengujian rangkaian elektronika terdiri dari sensor kecepatan, sensor posisi, Driver BTS7960 dan Arduino Uno
- (v) Pengujian prototip alat dengan memutar poros puli primer dengan kecepatan 1200 RPM, mengatur putaran motor DC untuk mengubah rasio CVT sesuai set poin yang dikehendaki, mencatat hasil tegangan output dari sensor posisi, mencatat kecepatan putaran poros puli primer dan RPM puli primer dan sekunder, serta menghitung nilai rasio trasmisi aktual.
- (vi) Pengumpulan data hasil pengujian yang dilakukan pada langkah (v), dan menyajikannya dalam bentuk grafik.
- (vii) Analisa data hasil pengujian, terutamanya pada hasil pengujian kinerja kendali PID untuk detiap set poin.
- (viii) Kesimpulan.

3.1 Desain mekanik

Sistem terdiri dari dua set puli, yaitu puli primer yang ditempatkan pada poros puli primer, dan puli sekunder yang ditempatkan pada poros puli sekunder. Masing-masing satu set puli memiliki dua keping-bergerak yang dapat digeser secara aksial pada masing-masing poros puli, seperti terlihat pada Gambar 1. Motor DC aktuator mengendalikan pergerakan puli primer untuk merubah rasio transmisi, sedangkan mekanisme pegas pada bagian puli sekunder bertugas untuk memberikan gaya jepit pada sabuk agar tidak slip pada puli (Cholis et al., 2015).



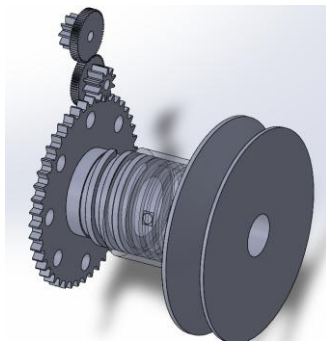
Gambar 2. Metode penelitian

3.1.1 Roda gigi dan Penggerak Ulir

Poros motor DC terhubung roda gigi penggerak utama melalui sebuah roda gigi *pinion* (Gambar 3 dan 4). Di bagian tengah roda gigi penggerak utama ada mekanisme ulir seperti cara kerjanya mur–baut. Komponen baut menyatu di bagian tengah roda gigi. Bagian baut ini berupa pipa besi berongga dengan ulir luar, sedangkan bagian mur berupa batang besi silindris berongga dengan ulir dalam, seperti terlihat pada Gambar 3.

Batang baut ini bergerak bebas aksial sepanjang poros puli input untuk menggeser keping-bergerak pada puli primer, sehingga jarak celah antara kedua keping puli primer dapat diatur. Apabila poros motor DC berputar searah jarum jam, bagian baut akan berputar searah jarum jam dan mendorong batang mur untuk bergerak maju. Sebaliknya, ketika poros motor DC berputar berlawanan arah jarum jam, baut berputar berlawanan arah jarum jam dan batang mur bergerak

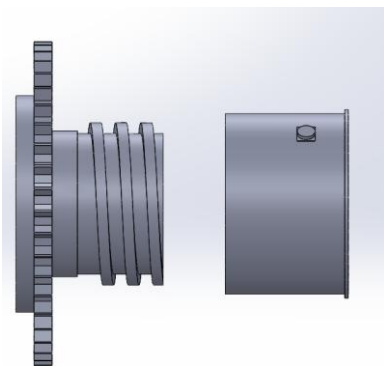
mundur. Mekanisme ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Roda gigi Penggerak Ulir



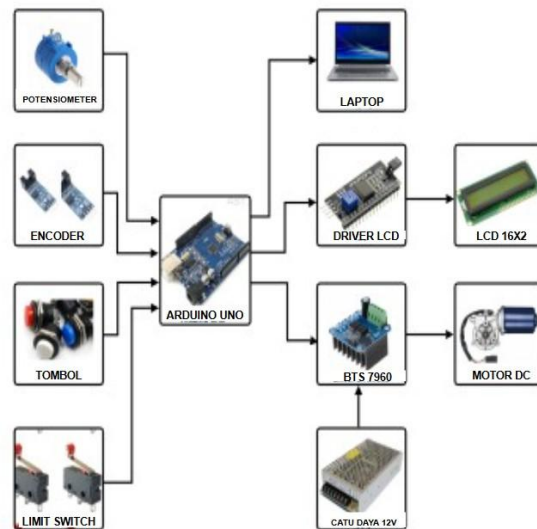
Gambar 4. Roda gigi penggerak utama



Gambar 5. Mekanisme Penggerak Ulir

3.2 Sistem Elektronik

Blok diagram elektronik dari sistem CVT elektromekanis dapat dilihat pada Gambar 6. Secara garis besar, fungsi masing-masing bagian sistem elektromika dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram Blok Elektronik

a. Potentiometer

Potensiometer *multiturn* 10 putaran digunakan untuk memantau posisi sudut poros motor DC yang berfungsi sebagai aktuator sistem transmisi. Secara mekanis, putaran poros motor menyebabkan perubahan posisi aksial keping-bergerak pada puli primer, sehingga jarak celah antara kedua keping puli primer mengalami perubahan dan pada akhirnya mengakibatkan perubahan rasio transmisi. Secara tidak langsung potensiometer ini berfungsi sebagai sensor untuk memantau nilai aktual terkini dari rasio transmisi.

b. Encoder

Encoder dengan 9 pulsa/putaran (ppr) digunakan untuk memantau kecepatan putaran poros puli primer dan sekunder. Jumlah pulsa yang dihasilkan oleh setiap encoder untuk setiap selang waktu satu detik

dikonversi ke kecepatan sudutnya masing-masing dalam rpm, yaitu kecepatan puli primer (ω_p) dan sekunder (ω_s). Berdasarkan kecepatan-kecepatan ini, rasio transmisi aktual (i_{CVT}) dapat dicari, dengan menggunakan persamaan 1.

$$i_{CVT} = \frac{\omega_p}{\omega_s} \quad [1]$$

c. Driver Motor dan Motor DC

Motor DC ini digunakan untuk memutar roda gigi aktuator yang menggerakkan mekanisme penggerak ulir untuk menggeser keping-bergerak puli primer secara axial pada porosnya, sehingga mengubah radius kontak sabuk-puli primer dan akhirnya mengubah rasio transmisi secara keseluruhan. Motor DC ini dikendalikan oleh sinyal PWM dari pin PWM Arduino Uno melalui Driver *H-bridge* Motor DC tipe BTS 7960 *H-bridge*. Driver ini mempunyai input digital untuk mengubah arah putaran motor, untuk mengaktifkan motor dan input analog untuk mengatur kecepatan

d. Tombol

Tiga buah tombol *push on* digunakan sebagai input untuk 1) memulai menjalankan pengendalian. 2) menaikkan nilai set poin rasio transmisi. 3) menurunkan nilai set poin rasio transmisi. Ketiga tombol itu dibaca oleh input digital dari Arduino Uno. Status nilai ditampilkan pada layar LCD.

e. Limit Switch

Dua buah limit Switch digunakan untuk memberikan informasi berkaitan dengan posisi minimum dari maksimum pergerakan aksial puli. Bila kedua posisi ini terdeteksi, maka kontroller akan mematikan motor DC untuk mencegah terjadinya beban lebih pada motor DC karena bergerak melebihi

batas yang diijinkan.

f. Arduino Uno R3

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang sangat populer dengan harga terjangkau dan memiliki kinerja pengendali yang baik, khususnya untuk aplikasi yang tidak terlalu rumit. Arduino Uno berbasis ATmega328, dengan 6 pin yang dapat dikonfigurasi sebagai input analog dan 14 pin input/output digital, di mana 6 pin dapat dikonfigurasi sebagai output modulasi lebar pulsa (PWM). Arduino Uno digunakan sebagai sistem akuisisi data yang dikendalikan oleh program Arduino IDE melalui port USB untuk membaca posisi puli primer, membaca kecepatan poros primer dan sekunder, dan menggerakkan aktuator motor DC untuk mengendalikan posisi puli primer dan mengubah rasio transmisi.

g. Modul LCD I2C

Modul LCD ini terdiri dari driver LCD berbasis komunikasi serial dan LCD karakter (16x2). Dengan antarmuka komunikasi I2C, LCD dapat dikendalikan dengan hanya menggunakan dua pin (SDA dan SCL) dari mikrokontroler untuk beroperasi. Modul ini menggunakan chip I/O expander (seperti PCF8574) yang terpasang di belakang LCD untuk mengkonversi sinyal serial I²C dari mikrokontroler ke sinyal data paralel untuk LCD standar. LCD I2C menyederhanakan penggunaan sambungan perkawatan dan jumlah pin mikrokontroler.

h. Power Supply

Catu daya 12 Volt 5 A digunakan sebagai sumber daya utama pada rangkaian elektronika ini. Kebutuhan tegangan untuk rangkaian digital 5 Volt dapat dipenuhi menggunakan modul penurun tegangan 12

Volt ke 5 Volt. Catu daya ini lebih banyak digunakan untuk mencatu motor DC melalui driver motor DC BTS7960.

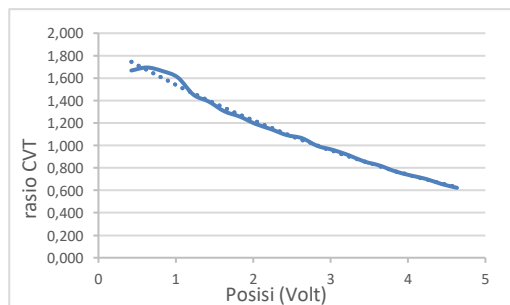
i. Komputer

Komputer berkomunikasi dengan Arduino Uno melalui port USB untuk merekam, menyimpan, dan menampilkan data pengukuran yang terdiri dari set poin rasio transmisi, kecepatan poros puli primer, kecepatan poros puli sekunder dan rasio transmisi aktual terkini.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Kalibrasi Sensor

Untuk proses kalibrasi sensor posisi sebagai acuan untuk mendapatkan nilai rasio transmisi aktual, maka diperlukan adanya percobaan yang menghasilkan data pengukuran oleh potensiometer sebagai sensor posisi dan data rasio transmisi pada rentang operasinya, yaitu dari 0.6 sampai 1.6. Data rasio transmisi diperoleh dari perhitungan hasil pengukuran kecepatan putaran poros puli primer dan sekunder menggunakan persamaan 1. Dari data-data tersebut, maka dibuatlah persamaan korelasi antara tegangan yang dihasilkan dari potensiometer dengan nilai rasio transmisinya.



Gambar 7. Rasio CVT vs. Output Posisi

Hubungan antara Rasio CVT dan tegangan

output sensor posisi dapat dilihat pada Gambar 7, dan direpresentasikan dengan persamaan 2:

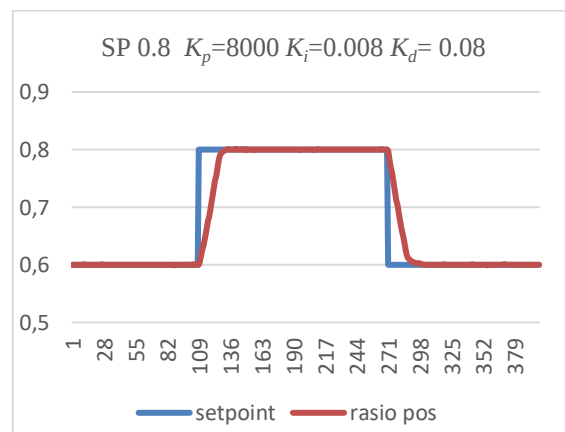
$$y = 0,025x^2 - 0,3919x + 1,9077 \quad [2]$$

Setelah memperoleh hasil dari pengukuran *input* tegangan posisi dan rasio RPM, maka didapatkan persamaan (2), dimana y adalah rasio transmisi dan x adalah tegangan sensor posisi. Nilai dari persamaan ini dapat digunakan untuk acuan untuk *Setpoint*.

4.2 Hasil Pengujian Kendali

4.2.1 Kendali PID dengan Set Point 0.8

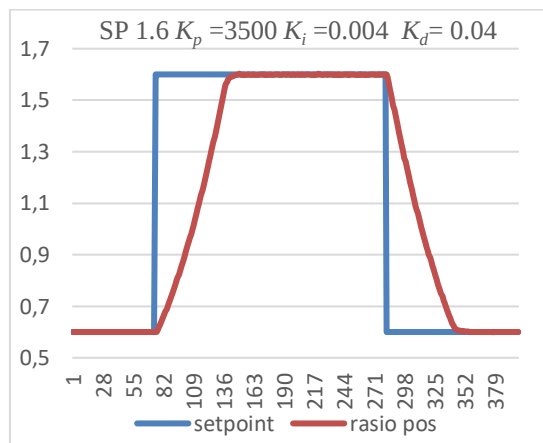
Berdasarkan hasil pengujian kendali PID dengan parameter $K_p = 8000$, $K_d = 0.08$, dan $K_i = 0,008$ untuk *set point* rasio transmisi sebesar 0.8, dapat dilihat pada gambar 9, Dari grafik tersebut terlihat kinerja kendali mampu merespons perubahan *setpoint* rasio dari 0.6 hingga 0.8, kemudian stabil mendekati nilai *setpoint*. Setelah itu, pada output terjadi fluktuasi kecil di sekitar *setpoint*, kemudian *setpoint* kembali ke rasio 0.6 stabil. Hal ini menandakan bahwa sistem telah mencapai kondisi stabil dengan error akhir yang relatif kecil. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa sistem pengendalian bekerja dengan baik dan mampu mengikuti perubahan *setpoint* dengan baik.



Gambar 8. Grafik PID Set Point 0.8

4.2.2 Kendali PID dengan Set Point 1.6

Hasil pengujian kinerja kendali PID dengan parameter $K_p = 3500$, $K_d = 0.04$, dan $K_i = 0.004$ untuk *set point* rasio sebesar 1.4 dapat dilihat pada gambar 10. Dari grafik tersebut terlihat kinerja kendali merespons perubahan *setpoint* dari rasio 0.6 hingga 1.6 dengan stabil, kemudian terdapat overshoot kecil sebelum akhirnya stabil mendekati nilai *setpoint*. Setelah itu, pada output terdapat respons halus dengan fluktuasi kecil di sekitar *setpoint*, kemudian *setpoint* kembali ke rasio 0.6. Menandakan bahwa sistem telah mencapai kondisi stabil dengan error akhir yang relatif kecil. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa sistem pengendalian bekerja dengan baik dan mampu mengikuti perubahan *setpoint* dengan baik.



Gambar 9. Grafik PID Set Point 1.6

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pembahasan

Hasil Pengujian dan analisis terhadap sistem kendali suhu menggunakan metode *Proportional Integral Derivative* (PID) dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem yang telah dirancang dalam Skripsi ini. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk

mengetahui seberapa efektif sistem dalam mempertahankan rasio sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan, serta untuk membandingkan kinerja sistem ketika tidak menggunakan kendali PID dengan saat PID diaktifkan. Parameter-parameter utama yang dianalisis meliputi *rise time*, *overshoot*, *steady-state error* yang merupakan indikator umum dalam menilai kualitas sistem kendali.

A. Rise Time (s)

Rise time atau waktu naik merupakan salah satu parameter performansi transien yang digunakan untuk menilai kecepatan respons suatu sistem kendali. *Rise time* didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan oleh sinyal keluaran sistem untuk naik dari kondisi awal hingga mencapai nilai tertentu mendekati kondisi stabil.

Nilai *rise time* yang kecil menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang cepat, sedangkan *rise time* yang besar menunjukkan bahwa sistem membutuhkan waktu lebih panjang untuk mencapai kondisi mendekati *steady state*. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Rise\ Time\ (s) = t_{90\%} - t_{10\%} \quad [3]$$

Keterangan :

$t_{10\%}$ = waktu ketika respons pertama mencapai 10% nilai *steady state*

$t_{90\%}$ = waktu ketika respons pertama mencapai 90% nilai *steady state*

B. Overshoot (%)

Overshoot adalah kondisi ketika keluaran sistem melampaui nilai *setpoint* setelah terjadi proses peningkatan respons. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 4.

$$\% \text{ Overshoot} = \frac{\text{Rasiomax} - \text{RasioSP}}{\text{RasioSP}} \times 100\% \quad [4]$$

Keterangan :

Rasiomax = Nilai tertinggi yang dihasilkan rasio CVT

Rasiosetpoint = Nilai setpoint rasio CVT yang diinginkan

C. Steady-State Error (SSE)

Steady-state error adalah selisih kecil antara nilai keluaran sistem dan setpoint setelah sistem sudah stabil. Ketika respon sudah tenang dan tidak berubah banyak, tetapi nilai akhirnya masih sedikit berbeda dari setpoint. Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 5.

$$\text{SSE} = \frac{\text{Rata2 SS} - \text{setpoint}}{\text{setpoint}} \times 100\% \quad [5]$$

Seluruh hasil perhitungan overshoot, settling time, dan steady state error untuk setiap setpoint kemudian dirangkum dalam Tabel 1 agar lebih mudah dibaca dan dianalisis.

Tabel 1. Hasil Uji Kinerja pada kendali PID

Setpoint	RiseTime	Overshoot	Steady State Error
0.8	4.14 s	0.01%	0.002%
1.0	5.6 s	0.13%	0.01%
1.2	7.68 s	0.2%	0.01%
1.4	10.3 s	0.14%	0.008%
1.6	11.7 s	0.19%	0.01%

• Rise Time

Rise time yang diperoleh bervariasi antara 4.14 hingga 11.7 detik. Variasi ini menunjukkan bahwa respon sistem terhadap perubahan setpoint tidak selalu linear. Setpoint 0.8 menunjukkan rise time tercepat (4.14detik), sementara setpoint 1.6 memiliki rise time tertinggi (11.7 detik). Hal ini mungkin dipengaruhi oleh karakteristik mekanik CVT dan inersia sistem pada

rentang rasio tertentu.

• Overshoot

Nilai overshoot yang dihasilkan relatif kecil (0.01–0.2%), menunjukkan bahwa sistem mampu menghindari lonjakan berlebihan saat mendekati setpoint. Hal ini menunjukkan bahwa komponen derivatif (K_d) berperan baik dalam meredam osilasi dan memberikan respons yang smooth.

• Steady-State Error

Steady-state error terendah dicapai pada setpoint 0.8 (0.002%), sedangkan tertinggi pada setpoint 1.0, 1.2, dan 1.6 (0.01%). Peningkatan error pada setpoint 1.0, 1.2, dan 1.6 kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan rentang mekanik CVT atau karakteristik motor aktuator yang sudah mendekati batas operasinya

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kendali rasio Continuously Variable Transmission (CVT) elektromekanis untuk sepeda motor listrik, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Sistem kendali rasio CVT elektromekanis telah berhasil dirancang dengan menyesuaikan kebutuhan sepeda motor listrik roda dua dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan aktuator motor wiper dan sensor potensiometer multiturn sebagai umpan balik posisi.
- Algoritma kendali PID dengan metode gain scheduling terbukti efektif dalam mengatur rasio transmisi sesuai dengan setpoint yang ditentukan. Sistem mampu mencapai kestabilan dengan overshoot rata-rata di bawah

- 0.3% dan steady-state error di bawah 1% untuk sebagian besar setpoint.
- c) Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang termasuk lambat di standar industri otomotif dengan rise time antara 4.14–11.7 detik, Hal ini dikarenakan penerapan rasio pada roda gigi penggerak yang terlalu besar. Kinerja terbaik dicapai pada rentang rasio 0.8–1.4 dengan error steady-state minimal.
 - d) Penggunaan driver motor BTS7960 dan sensor encoder LM393 untuk pengukuran kecepatan puli primer dan sekunder berfungsi dengan baik dalam mendukung sistem kendali closed-loop.
 - e) Perbandingan rasio yang dihasilkan berada pada rentang 0.6 hingga 1.6 dengan RPM input konstan 1200 menghasilkan RPM 733.3 hingga 2066.6.
 - f) Sistem ini berpotensi untuk diaplikasikan pada sepeda motor listrik guna meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi transmisi, meskipun masih diperlukan pengujian lebih lanjut dalam kondisi dinamik dan beban bervariasi.
- Coimbra, M. R. C., Barbosa, T. P., & Vasques, C. M. A. (2022). A 3D-Printed Continuously Variable Transmission for an Electric Vehicle Prototype†. *Machines*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/machines10020084>
- De Pinto, S., Camocardi, P., Chatzikomis, C., Sornioti, A., Bottiglione, F., Mantriota, G., & Perlo, P. (2020). On the comparison of 2- And 4-wheel-drive electric vehicle layouts with central motors and single- And 2-speed transmission systems. *Energies*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/en13133328>
- Fu, B., Zhu, T., Liu, J., Zhao, Y., & Chen, J. (2022). Influencing Factors of Electric Vehicle Economy Based on Continuously Variable Transmission. *International Journal of Automotive Technology*, 23(3). <https://doi.org/10.1007/s12239-022-0065-3>
- Hasudungan, A., Tandean, B., Aurelius, E., Widarsyah, R., & Artha, I. K. D. S. (2024). The Impact of Government Incentives on Electric Vehicle Adoption in the Metropolitan Jakarta Area. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 21(2). <https://doi.org/10.29259/jep.v21i2.23050>

DAFTAR PUSTAKA

- Azwarie Mat Dzahir, M., Hussein, M., Supriyo, B., Tawi, K. B., Yaakob, M. S., Azuwan Mat Dzahir, M., & Mohamad, M. (2015). Optimal tuning of a PID controller for EMDAP-CVT using particle swarm optimization. *Jurnal Teknologi*, 75(11). <https://doi.org/10.11113/jt.v75.5342>
- Cholis, N., Ariyono, S., & Priyandoko, G. (2015). Design of single acting puli actuator (SAPA) continuously variable transmission (CVT). *Energy Procedia*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.270>
- NAKAZAWA, T., HATTORI, H., TARUTANI, I., YASUHARA, S., & INOUE, T. (2023). Study of power loss in chain continuously variable transmissions (CVT) using a geometric model (Translated). *Mechanical Engineering Journal*, 10(6). <https://doi.org/10.1299/mej.23-00340>
- Nuri, N. R. M., Hudha, K., & Mazlan, S. A. (2019). Design and simulation of a new single actuator double acting electro-mechanical continuously variable

transmission. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 8(1).
<https://doi.org/10.18178/ijmerr.8.1.114-120>

- Spanoudakis, P., Tsourveloudis, N. C., Doitsidis, L., & Karapidakis, E. S. (2019). Experimental research of transmissions on electric vehicles' energy consumption. *Energies*, 12(3).
<https://doi.org/10.3390/en12030388>
- Supriyo, B., Ariyono, S., & Sihono, S. (2021). Electronic system of rubber belt electro-mechanical continuously variable transmission for motorcycle applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012011>