

# Electromagnetic Suspension System dengan Memakai PID Controller dan Hardware in The Loop (HIL)

Alif Fitrianto Ramadhan<sup>1</sup>, Muhammad Faiz Fadel<sup>2</sup>, Figo Azzam De Fitrah<sup>3</sup>, Imam Ahmad Syamil<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa S1 Teknik Elektro Universitas Telkom

<sup>2</sup>Mahasiswa S1 Teknik Elektro Universitas Telkom

<sup>3</sup>Mahasiswa S1 Teknik Elektro Universitas Telkom

<sup>4</sup>Mahasiswa S1 Teknik Elektro Universitas Telkom

## ABSTRAK

Industri otomotif telah menunjukkan sistem mekatronika sistem kontrol cerdas. Mekatronika menggambarkan kombinasi antara sistem mekanik dan elektronik. Sistem tradisional dalam mekatronika menggabungkan ilmu komputer, matematika, dan teknik elektro. Dokumen ini menyajikan suspensi aktif yang telah ditingkatkan untuk model mobil 1/4 sehingga meningkatkan kinerjanya dengan mengaplikasikan kontroler tertentu. Suspensi digunakan untuk memisahkan antara kendaraan dengan jalan raya sehingga penumpang akan mendapatkan kenyamanan berkendara yang maksimal serta menjaga agar roda dari kendaraan melaju secara terus menerus dengan mempertahankan kontak terhadap jalan. Kontroler yang diimplementasikan adalah kontroler PID yang berasal dari simulink dan *hardware in the loop* (HIL) yang berisi kodingan PID serta perilaku mobil seperti gerakan badan mobil, defleksi suspensi dan gerakan roda yang dianggap memberikan gaya redaman maksimum untuk aktuator.

Kata kunci: PID, Sistem Suspensi, Suspensi aktif, HIL,

### 1. Pendahuluan

Suspensi aktif biasanya digunakan oleh produsen-produsen mobil mewah seperti Volvo, Mercedes-Benz, dan BMW sebagai bagian dari manufaktur mobil. Karena tingginya biaya yang diperlukan dan kesulitan sistem suspensinya, Allen menciptakan model 1/4 mobil sebagai tes model untuk penerapan metode kontrol yang berbeda pada sistem suspensi. Sehingga, berbagai desain telah diterapkan sejak diperkenalkannya kendaraan. Berbagai peneliti telah mengembangkan kontrol untuk sistem suspensi aktif. Hasil penelitian ini dapat diklasifikasikan menurut metode pengendalian yang digunakan. Kinerja sistem suspensi tergantung oleh tercapainya kenyamanan penumpang saat mengendarai kendaraan.

Oleh karena itu, kenyamanan dan keselamatan penumpang menjadi poin utama dari sistem suspensi. Selama dekade terakhir sistem suspensi telah aktif memainkan peran penting dalam dunia akademis dan manufaktur. Jenis suspensi untuk mobil dibagi menjadi dua yaitu aktif dan pasif. Sistem suspensi pasif lebih diandalkan dan lebih sederhana serta lebih murah daripada suspensi aktif, tetapi Performanya terbatas dan kenyamanannya kurang. Namun, problem ini dapat diimbangi oleh sistem suspensi aktif yang dapat mengatur dan mengontrol parameter untuk mencapai hasil yang diinginkan.

Akhir-akhir ini ada beberapa teori yang disarankan untuk memecahkan masalah kontrol pada suspensi salah satunya adalah kontrol PID, kontrol ini diterapkan di suspensi aktif dan prosesnya disimulasikan menggunakan software MATLAB/SIMULINK.

## 2. Teori dan Model Simulasi

Model 1/4 mobil digunakan sebagai alternatif dari model keseluruhan dari mobil dengan dua derajat kebebasan dipertimbangkan. Model 1/4 mobil menunjukkan karakteristik dari sebuah model yang utuh dan juga mempermudah untuk analisis. Pada gambar 1 ditunjukkan parameter-parameter dari sistem. Dengan mengasumsikan roda secara kontinu berkontak dengan jalan dan  $Z_s$  dan  $Z_u$  dihitung dari titik statis dari equilibrium. Dapat diasumsikan bahwa pengendara mengendarai dengan kecepatan yang konstan maka persamaan dari sistem dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$m_s \ddot{Z}_s = k_s(Z_u - Z_s) + b_s(\dot{Z}_u - \dot{Z}_s) + F_a$$

$$m_s \ddot{Z}_s = -k_s(Z_u - Z_s) - b_s(\dot{Z}_u - \dot{Z}_s) - k_t(Z_r - Z_u) - F_a$$

Dimana  $F_a$  adalah input dari variabel kontrol dari suatu *electro-hydraulic servo valve* dan  $Z_r$  adalah *input* gangguan dari jalan dan diklasifikasikan sebagai *white noise*. Variabel dari state-space diidentifikasi sebagai:  $x_1 = Z_s + Z_u$  *Sprung-mass displacement*.

$x_2 = \dot{Z}_u$	Sprung-Mass Absolute Velocity
$x_3 = Z_u - Z_r$	Unsprung-Mass Displacement Tire Deflection
$x_4 = \dot{Z}_u$	Unsprung-Mass Absolute Velocity

State space adalah pendekatan untuk memodelkan dan memprediksi secara bersama beberapa data deret waktu yang saling berhubungan, serta peubah-peubah tersebut memiliki interaksi yang dinamis. Model state space menggambarkan data deret waktu melalui variabel keadaan (state vector). Maka dengan memodelkan active suspension system dalam bentuk state space diambil persamaan sebagai berikut

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

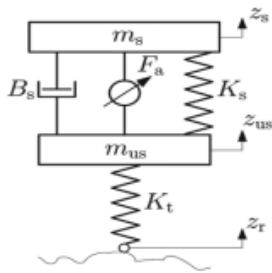
$$y = C\dot{x} + Du$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -ks/ms & -bs/ms & ks/ms & bs/ms \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ ks/mu & bs/mu & (-kt - kt)/mu & -bs/mu \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/ms & 0 \\ 0 & 0 \\ -1/mu & kt/mu \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tabel 1. Nilai Parameter pada sistem suspensi

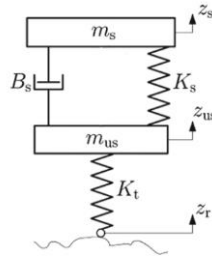
Symbol	Parameter	Numerical Value
$M_s$	<i>Sprung-Mass</i>	250 (Kg)
$M_u$	<i>Unsprung-Mass</i>	50 (Kg)
$K_s$	<i>Suspension Stiffness</i>	16812 (N/m)
$K_t$	<i>Tire Stiffness</i>	190000 (N/m)
$b_s$	<i>Damping Coefficient</i>	1000 (Ns/m)



Gambar 1. Active suspension system

## 2.1 Passive Suspension

Sistem suspensi pasif adalah sistem yang karakteristik komponennya (pegas dan peredam) tetap. Karakteristik ini ditentukan oleh perancang suspensi, sesuai dengan tujuan desain dan aplikasi yang diinginkan. Suspensi pasif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, memiliki kemampuan untuk menyimpan energi melalui pegas dan menghilangkannya melalui peredam. Gambar dibawah mewakili seperempat kendaraan, dan oleh karena itu biasanya disebut sebagai 'model 1/4 mobil'.



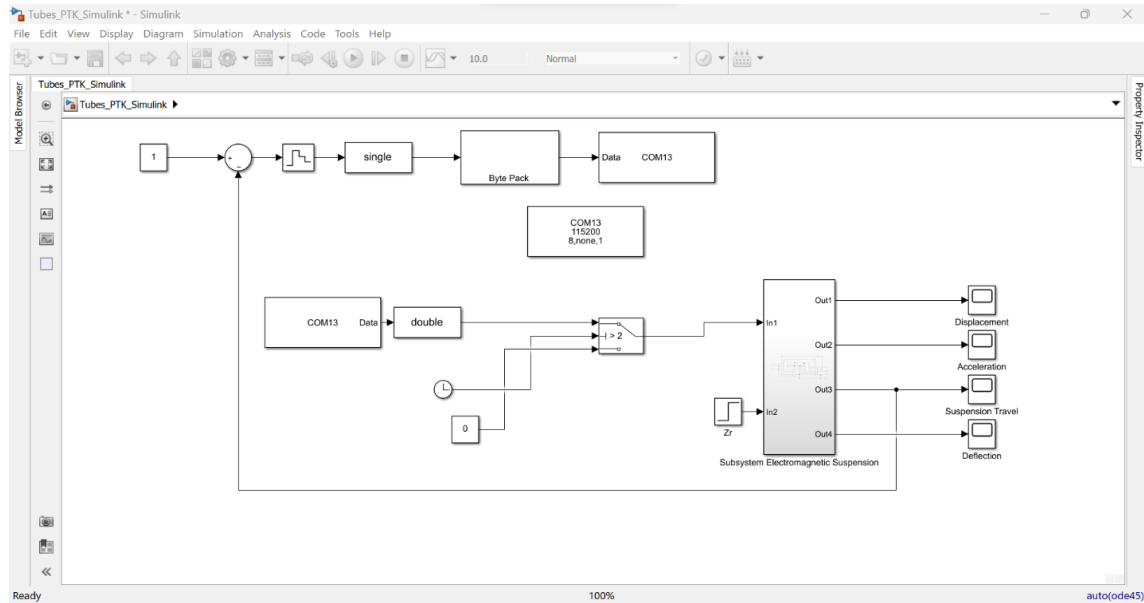
Gambar 2. passive suspension

## 2.2 Active Suspension

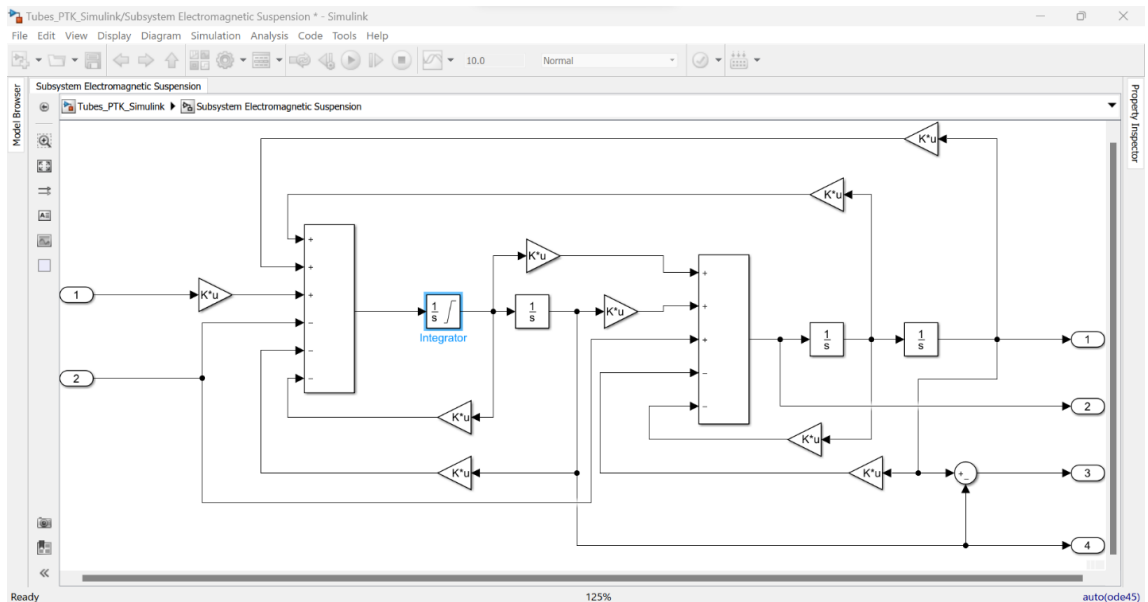
Suspensi aktif adalah jenis sistem suspensi kendaraan yang menggunakan aktuator elektronik atau hidrolis untuk menyesuaikan perilaku suspensi sebagai respons terhadap kondisi berkendara atau input pengemudi. Aktuator ini dapat mengubah kekakuan atau redaman suspensi, memungkinkan suspensi merespons lebih cepat dan efektif terhadap perubahan permukaan jalan atau masukan pengemudi. Suspensi aktif dapat meningkatkan penanganan, stabilitas, dan kenyamanan kendaraan dengan membuatnya lebih efektif menyerap ketidaksempurnaan jalan dan mengontrol gerakan tubuh. Mereka umumnya ditemukan pada mobil sport dan kendaraan berperforma tinggi, tetapi juga dapat digunakan pada jenis kendaraan lain untuk meningkatkan karakteristik pengendalian dan penanganan.

### 3. Proportional-Integral-Derivative Controller (PID Controller) yang digunakan pada Hardware in The Loop (HIL)

Pengontrol PID umumnya tergantung pada teori loop kontrol umpan balik, yang diterapkan banyak industri manufaktur. Teknik utama dari jenis pengontrol ini adalah mencoba untuk membuat nilai error sama dengan nol yang mana nilai error adalah selisih antara suatu set-point dan nilai umpan balik dari resultan plant tersebut.



Gambar 3. Hardware in The Loop yang disimulasikan pada software Matlab

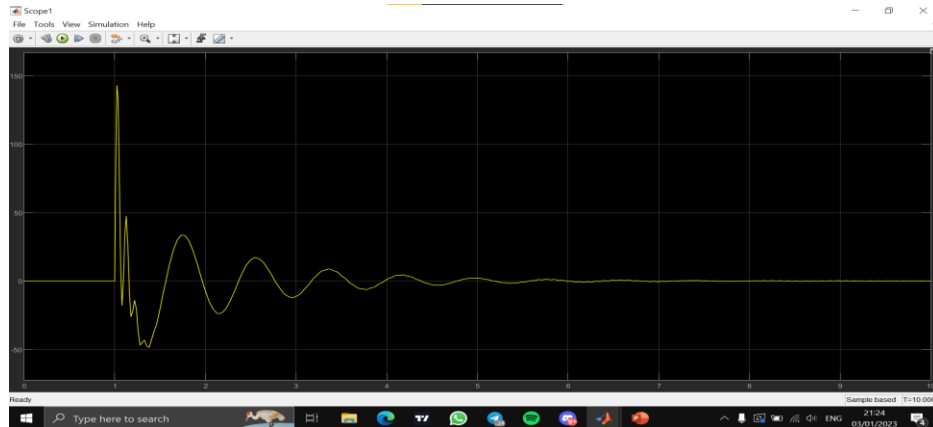


Gambar 4. Sub-block dari sistem suspensi

## 4. Hasil dan diskusi

Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mendapatkan kontroler optimal yang diharapkan dapat memberikan kenyamanan berkendara dan handling terbaik. Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah mencoba gunakan pengontrol yang berbeda, bukan sistem pasif. Hasil berikut menunjukkan Sistem suspensi aktif berkinerja tinggi yang menggunakan pengontrol PID

### a. Acceleration



Gambar 5. Hasil simulasi acceleration belum menggunakan controller



Gambar 6. Hasil simulasi acceleration menggunakan controller

Dari gambar diatas dapat kita lihat untuk nilai *acceleration* ketika tidak diberi *controller* dari sistem kontrol diatas yaitu :

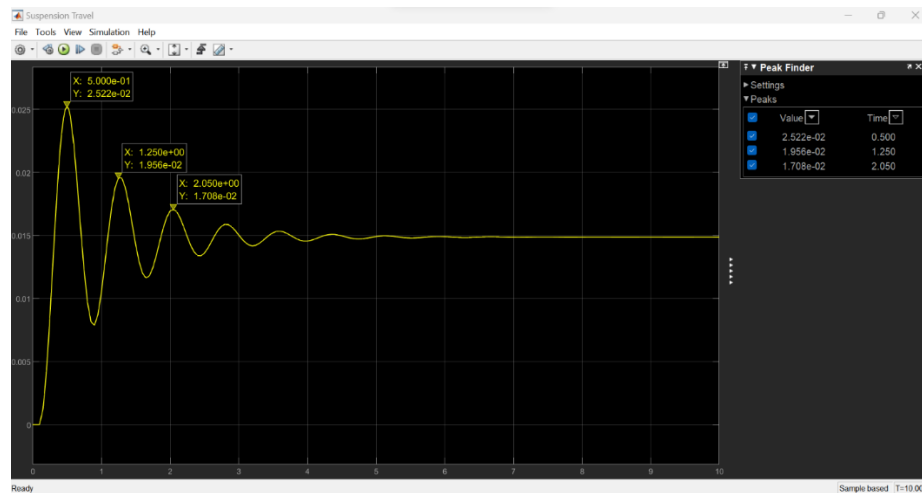
- PtP : 1.5
- Max : 1
- Min : -5

Ketika diberikan *controller* dengan *Hardware In the Loop (HIL)* nilai *acceleration* langsung teredam hingga mendekati nol daripada sebelum ada *controller*.

## b. Suspension Travel

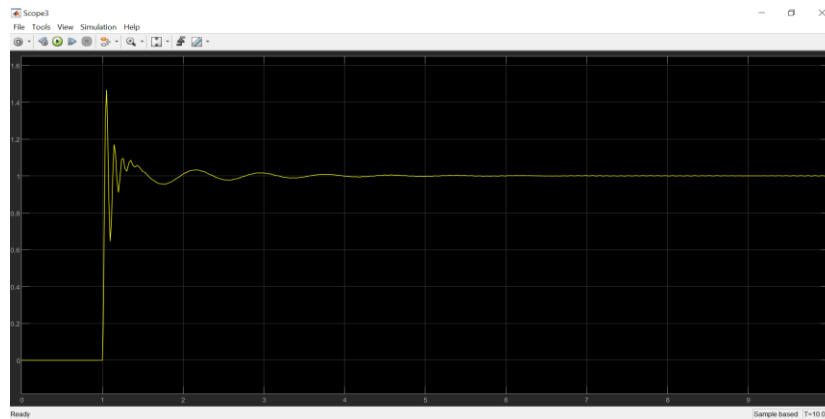


Gambar 7. Hasil simulasi suspension travel setelah diberikan nilai input step 0.01s tanpa kontroler

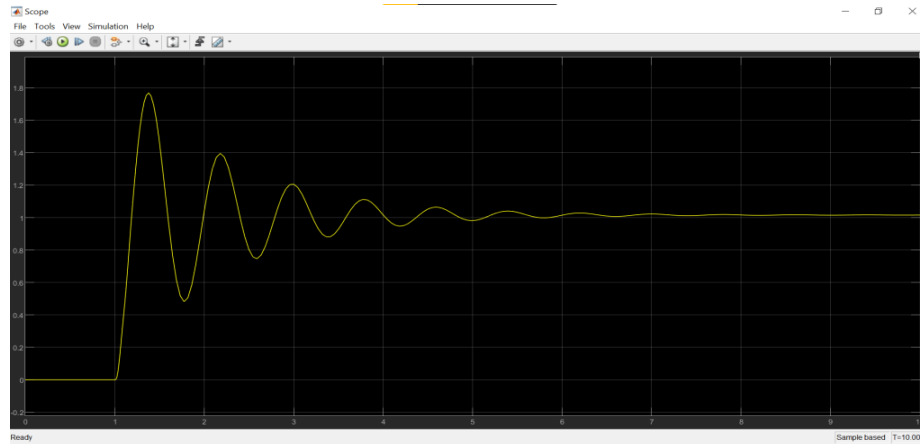


Gambar 8. Hasil simulasi suspension travel setelah diberikan nilai input step 0.01s menggunakan kontroler

## c. Deflection

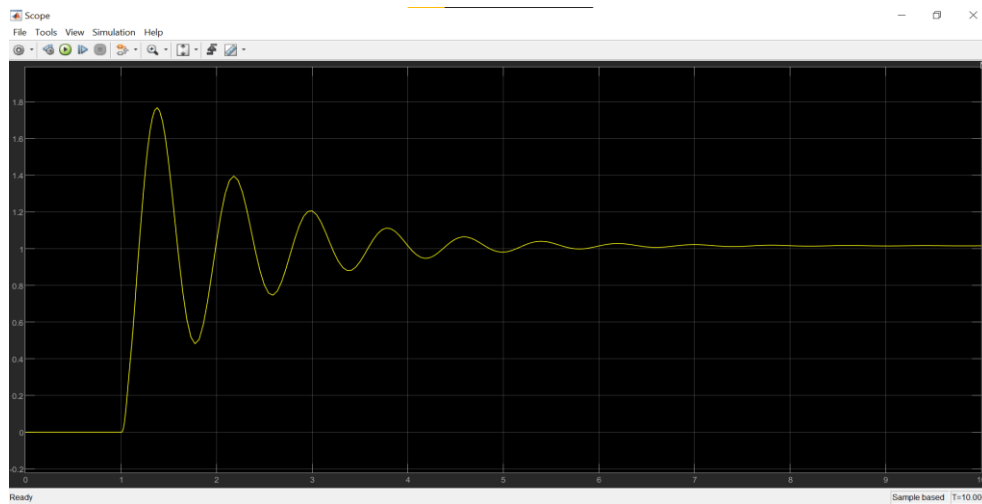


Gambar 9. Hasil simulasi deflection menggunakan kontroler

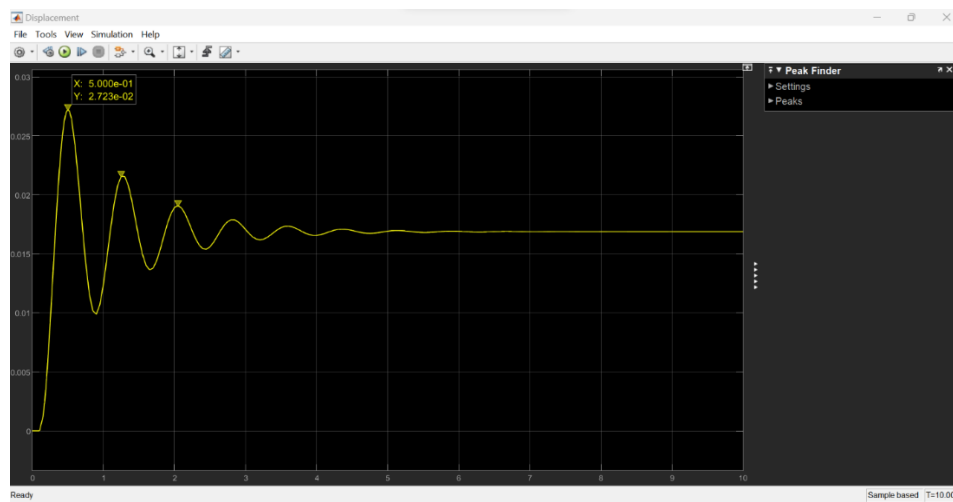


Gambar 10. Hasil simulasi deflection menggunakan kontroler

#### d. Body Displacement



Gambar 11. Hasil simulasi Body Displacement setelah diberikan nilai input step 0.01s dan amplitude 0.015m tanpa kontroler



Gambar 12. Hasil simulasi Body Displacement setelah diberikan nilai input step 0.01s dan amplitude 0.015m menggunakan kontroler

## 5. Kesimpulan

Pada Hardware in The Loop (HIL) yang dibuat dengan menggunakan software matlab dan PID kontroller, hasil simulasi menunjukkan bahwa performansi dan kestabilan electromagnetic suspension system lebih stabil dibandingkan yang tidak memakai kontroler. Pada HIL digunakan arduino dan ESP8266 yang dites sebagai controller dan terhubung dengan matlab sebagai plant. Pada hasil simulasi, nilai overshoot, settling time, dan rise time menampilkan hasil yang baik pada output acceleration, suspension travel, deflection, dan displacement yang terdapat electromagnetic suspension system menggunakan hardware in the loop (HIL) yang terhubung dengan matlab.

## Referensi

- [1] Polyakhov dkk, "Mathematical Model of Complete Electromagnetic Rotor Suspension," Saint-Petersburg state electrotechnical university LETI, Russia, 2016.
- [2] Ahmed A. Abdeen dkk, "Active Suspension System Design Using Fuzzy Logic Control and Linear Quadratic Regulator," Assiut University, Assiut, 2019.
- [3] J. Wang, A. C. Zolotas dan D. A. Wilson, "Active suspensions: a reduced-order  $H_\infty$  control design study," dalam *2007 Mediterranean Conference on Control & Automation*, Athens, 2007.
- [4] C. Lauwerys, J. Swevers dan P. Sas, "Design and experimental validation of a linear robust controller for an active suspension of a quarter car," dalam *Proceedings of the 2004 American Control Conference*, Boston, 2004.