

**Desain dan Analisis Sistem Suspensi Aktif model Seperempat kendaraan Dengan Metode *Hybrid PID-Fuzzy***

**Dewi Oktavia Prasetya**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail : dewi.18018@mhs.unesa.ac.id

**Muhamad Syariffuddien Zuhrie, Bambang Suprianto, Endryansyah**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail : zuhrie@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, endryansyah@unesa.ac.id

**Abstrak**

Dewasa ini kemajuan teknologi otomotif cukup pesat, salah satunya pada sistem suspensi untuk memberikan dampak kenyamanan serta keamanan pengendara atau penumpang kendaraan bermotor khususnya kendaraan roda empat. Suspensi merupakan mekanisme yang terletak diantara *chassis* (rangka mobil) dan roda, berfungsi untuk menopang *chassis* yang digunakan untuk mengurangi getaran atau guncangan yang diakibatkan oleh kontur alan yang tidak merata dan bergelombang. Artikel ini bertujuan untuk mendemonstrasikan penerapan tiga teknik kontrol yang berbeda, yaitu *Proportional Integral Derivative (PID)*, *Fuzzy Logic Control* dan pengontrol *hybrid PID-Fuzzy* untuk mengevaluasi dan mengontrol defleksi yang terjadi pada system mobil suspensi aktif. Kontrol pada sistem diperlukan untuk memberikan kinerja suspensi yang diinginkan dan karakteristik seperti kenyamanan dan keamanan penumpang, serta defleksi suspensi. Sistem kontrol ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB 2015 untuk melakukan pengujian operasional dengan data sekunder sebagai acuan parameter untuk komponen tersebut yang terdiri dari tiga bagian: sinyal *input* (gaya aktuator dan gangguan jalan), Pengendali, dan model sistem suspensi. Hasil simulasi menunjukkan perbandingan antara sistem suspensi yang tidak menggunakan kontrol dan sistem suspensi dengan pengontrol berbasis *PID*, *Fuzzy*, dan *hybrid PID-Fuzzy*. Berdasarkan hasil simulasi, kinerja kendali *hybrid PID-fuzzy* dapat mempercepat peningkatan waktu naik dan waktu transien dengan nilai *rise time* = 0.4 detik, *settling time* = 2.5detik, *time peak* = 0.3 detik, *max overshoot* = 0.4 %, *error steady state* = 0.0001%. Pada penelitian ini di dapatkan hasil respon dari kontrol *hybrid PID-Fuzzy* lebih baik dari kendli *PID* dan *Fuzzy*.

**Kata Kunci:** Seperempat Kendaraan, Sistem Suspensi Aktif, *Hybrid PID-Fuzzy*.

**Abstract**

Currently the advancement of automotive technology is quite rapid, one of which is the suspension system to provide the effect of comfort and safety for the driver or passenger of a motorized vehicle, especially four-wheeled vehicles. Suspension is a mechanism that is located between the chassis (car frame) and the wheels, serves to support the chassis which is used to reduce vibrations or shocks caused by uneven and bumpy terrain contours. This article aims to demonstrate the application of three different control techniques, namely *Proportional Integral Derivative (PID)*, *Fuzzy Logic Control* and *Hybrid PID-Fuzzy* controller to evaluate and control the deflection that occurs in the active suspension car system. Controls in the system are required to provide the desired suspension performance and characteristics such as passenger comfort and safety, and suspension deflection. This control system is carried out using Matlab 2015 software to perform operational testing with secondary data as parameter reference for the component which consists of three parts: input signal (actuator force and road disturbance), controller, and suspension system model. The simulation results show a comparison between a suspension system that does not use control and a suspension system with *PID*, *Fuzzy*, and *Hybrid PID-Fuzzy* based controllers. Based on the simulation results, the *PID-fuzzy* hybrid control performance can accelerate the increase in rise time and transient time with rise time = 0.4 seconds, settling time = 2.5 seconds, peak time = 0.3 seconds, max overshoot = 0.4%, steady state error = 0.0001%. In this study, the results of the response from the *PID-Fuzzy* hybrid control were better than the *PID* and *Fuzzy* control

**Keywords:** Quarter car, Active Suspension System, *Hybrid PID-Fuzzy*

**PENDAHULUAN**

Dewasa ini kemajuan teknologi otomotif cukup pesat. Kenyamanan serta keamanan pengendara sebagai aspek yang paling primer disamping kehandalan dari suatu mesin, contohnya mobil. Situasi ini mendorong industri

otomotif untuk saling bersaing membentuk produk otomotif yang berkualitas. Kenyamanan dan keamanan pengemudi atau penumpang sebuah mobil, khususnya kendaraan roda empat, harus terjamin secara langsung maupun tidak langsung.

Sistem suspensi kendaraan, khususnya kendaraan beroda empat seperti mobil, pada hal ini dilakukan sebagai pengontrolan, yang mana objektifnya agar pengendara merasa nyaman selama mengendarai mobil, sewaktu melewati jalan yang tidak rata (rusak). Sistem yang dipakai pada hal ini adalah sistem suspensi semi aktif, yang mana konstanta pegas (*spring*) serta damper mampu dirubah seketika. Penelitian mengenai sistem kontrol peformansi menurut sistem suspensi tunggangan pasif (PVSS), sistem tunggangan 1/2 aktif (SAVSS), serta sistem suspensi tunggangan aktif (AVSS) sudah banyak dikembangkan, salah satunya yang membahas mengenai perancangan dan analisis kontrol sistem suspensi menggunakan *PID* dan logika *fuzzy* pada *Simulink* Matlab (Rohmad, dkk, 2015).

Kontroler *Hybrid* PID-Fuzzy ialah metode kontrol yang terdiri dari pengendali konvensional dan kecerdasan buatan. Pada pengendali konvensional terdapat pengendali PID yang tersusun dari tiga jenis kontrol proporsional ( $K_p$ ), kontrol integral ( $K_i$ ) serta Kontrol Derivativ ( $K_d$ ) yang mana dengan bantuan parameter, bisa didapatkan stabilitas yang lebih baik (Saifi dan Kumar, 2021) namun keperluannya hanya untuk mengintegrasikan keluaran / *output* dari kendali. Sedangkan, *Fuzzy* berperan sebagai kecerdasan buatan dengan sifat yang meniru logika manusia dalam mempertimbangkan *output* kendali bukan sebagai perubahan sinyal kontrol.

Mengoptimalkan performa sistem merupakan langkah yang tepat untuk mengatasi masalah gaya kontrol yang berlebihan. Kontrol ini berperan penting sehingga membuat sistem anda berjalan sesuai standar desain peralatan yang idealis dan menghemat biaya yang terkait dengan pemeliharaan dan perbaikan sistem dengan osilasi yang berlebihan.

Pada penelitian ini dirancang menggunakan pengendali *hybrid* PID-Fuzzy dan disimulasikan. Keunggulan *fuzzy logic* seperti disebutkan diatas harus diimbangi dengan pengendali *PID* yang tepat agar dapat meningkatkan kinerja proses sistem suspensi yang lebih efektif, dan hasilnya akan dianalisa terkait kehandalan dari kontroler.

## METODE

### Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu.

- Tahap persiapan terdiri dari perancangan model matematis sistem hingga penentuan kinerja sistem suspensi aktif.
- Tahap perancangan sistem, terdiri dari perancangan model sistem suspensi aktif ¼ kendaraan, sistem kendali

PID dan FLC, penetapan desain kriteria, dan analisis hasil kerja sistem menggunakan *Simulink* MATLAB.

Pada penelitian ini memanfaatkan *software* MATLAB 2015b kemudian di simulasikan menggunakan kendali *hybrid* PID-Fuzzy yang diterapkan pada *plant* dan hasil simulasi akan dianalisa untuk dilaporkan.

### Rancangan Penelitian

Susunan rancangan penelitian desain dan analisis sistem suspensi aktif ¼ kendaraan dapat dilihat pada Gambar 1.

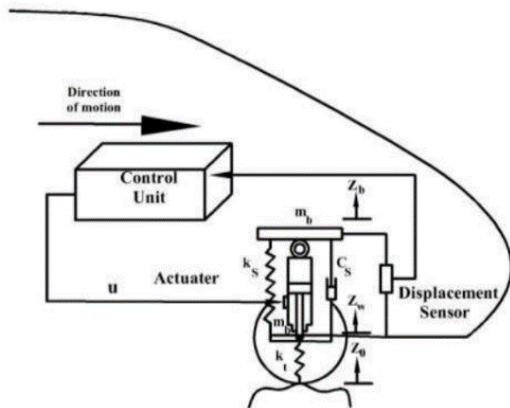


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Desain Dan Analisis Sistem Suspensi Aktif ¼ Kendaraan.

### Desain Plant

Sistem suspensi aktif ¼ merupakan suspensi pasif dengan aktuator, sehingga digunakan untuk merancang desain yang lebih sederhana dalam sistem peredam pegas 1 dimensi yang dipasang secara paralel dengan pegas peredam sehingga aktuator dapat dikendalikan. Terdapat pegas ( $k_s$ ,  $k_t$ ) serta peredam ( $c_s$ ) sebagai elemen utama, aktuator hidrolik ( $u$ ) sebagai elemen tambahan yang gaya kompesinya akan dikontrol oleh *control unit*. Sedangkan ( $Z_b$ ,  $Z_u$ ,  $Z_o$ ) menunjukkan defleksi kendaraan arah vertikal yang keseluruhan nilai error diumpankan kembali ke sensor *displacement*. Pada prinsipnya komponen-komponen yang digunakan pada sistem suspensi aktif hampir sama dengan suspensi

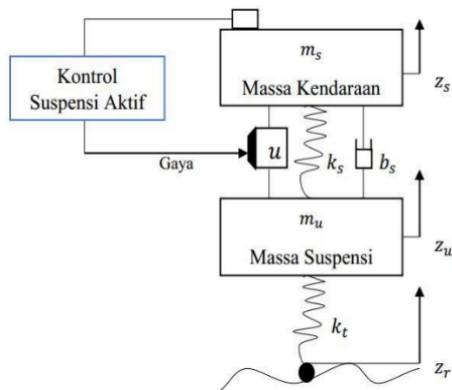
pasif, namun terdapat beberapa komponen yang dikontrol secara elektronik sehingga memiliki beberapa komponen tambahan.



Gambar 2. Sistem Suspensi Aktif ¼ kendaraan.  
(Sumber: Ashraf, 2014)

### Model Plant

Metode Newton merupakan salah satu cara untuk memodelkan sistem plant ini menurut hukum Newton. Gaya reaksi yang diterima oleh badan kendaraan akan sepadan dengan aksi. Oleh karena itu, diupayakan untuk meminimalkan gaya redaman saat kendaraan bergerak ke bawah agar gaya yang diterima penumpang juga minimal (Putra, 2017).



Gambar 3. Sistem ¼ Suspensi Aktif Kendaraan

Penjelasan dari parameter pada Gambar 3.

- $m_s$  = Massa Bodi kendaraan/*Body Sprung* (kg)
- $m_u$  = Massa Suspensi/*Body Unsprung* (kg)
- $k_s$  = Koefisien Pegas bodi Sistem Suspensi (N/m)
- $k_t$  = Konstanta Pegas dari Roda dan Ban (N/m)
- $b_s$  = Konstanta Peredam Sistem Suspensi (Ns/m)
- $u$  = Gaya Keluaran Aktuator/control input (N)
- $z_s$  = Perpindahan Defleksi Badan Kendaraan (m)
- $z_u$  = Defleksi Massa Ban (m)
- $z_r$  = Zona Permukaan Gangguan

Pemodelan matematis pada suspensi aktif ¼ kendaraan dapat ditemukan dengan menggunakan rumus hukum kedua Newton.

Untuk  $m_s$  (massa *sprung*),

$$\begin{aligned}\Sigma F &= m \alpha \\ -k_s(z_s - z_u) - b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u &= m_s \ddot{z}_s \\ \ddot{z}_s &= \frac{k_s(z_s - z_u) - b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u}{m_s}\end{aligned}\quad (1)$$

Untuk  $m_u$  (massa *unsprung*),

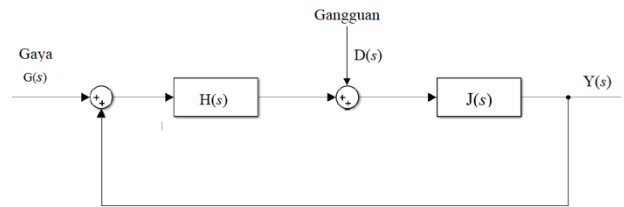
$$\begin{aligned}\Sigma F &= m \alpha \\ k_t(z_u - z_r) + b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) - u &= m_u \ddot{z}_u \\ \ddot{z}_u &= \frac{-k_t(z_u - z_r) + b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) - u}{m_u}\end{aligned}\quad (2)$$

Dengan memaksimalkan *variable state* menjadi:

$$Z_1 = z_s - z_u, Z_2 = \dot{z}_s, Z_3 = z_r - z_u, Z_4 = \dot{z}_u \quad (3)$$

yangmana,

- $z_s - z_u$  = Defleksi Suspensi (m)
- $\dot{z}_s$  = Kecepatan badan kendaraan (m/s)
- $\ddot{z}_s$  = Percepatan Badan Kendaraan (m/s<sup>2</sup>)
- $z_u - z_r$  = Defleksi Roda (m)
- $\dot{z}_u$  = Kecepatan Roda (m/s)



Gambar 4. Diagram Blok *Closed-Loop System*.

$$C(s) = G(s) H(s) E(s) \quad (4)$$

$$C(s) = H(s) [U(s) - C(s)]$$

$$C(s) \{1 + G(s) H(s)\} = G(s) H(s) U(s)$$

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{G(s)H(s)}{1+G(s)H(s)}$$

Hubungan pada keluaran dan masukan suatu sistem bisa digambarkan dengan suatu diagram blok yang memuat fungsi transfer. Bentuk *plant* yang dikontrol dijelaskan dalam blok dengan kendali yaitu  $H(s)$ . Masukkan yang di fungsikan berupa gangguan atau  $N(s)$  serta masukkan gaya  $U(s)$  dengan *output* yang diperoleh berupa defleksi kendaraan atau  $C(s)$ . Sinyal  $e$  adalah sinyal *error*, yang menyatakan selisih antara input  $U(s)$  dengan keluaran  $C(s)$ .

Berdasarkan data dari beberapa jurnal yang di kaji, tabel di bawah ini menunjukkan parameter dan nilai mobil yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 1. Parameter model mobil seperempat.

| Parameter                     | Nilai/satuan |
|-------------------------------|--------------|
| Massa Bodi kendaraan (ms)     | 290 kg       |
| Massa Suspensi (mu)           | 59kg         |
| Konstanta Pegas Suspensi (ks) | 16,800N/m    |
| Konstanta Pegas Roda (kt)     | 190,000 N/m  |
| Koefisien redaman ban (bt)    | 450 N.s/m    |
| Konstanta Peredam             | 1000 N.s/m   |

### PID (Proportional-Integral-Derivative)

Pengendali *PID* adalah gabungan dari beberapa jenis kendali, yaitu kendali proporsional, kendali integral, dan kendali derivatif. Penggabungan ketiga jenis pengendali tersebut bertujuan untuk memperbaiki kinerja sistem setiap kontrol dengan melengkapi dan menutupi satu sama lain dengan kelebihan dan kekurangan setiap pengendali (Madyanto, 2010).

Pengontrol *PID* banyak digunakan karena konstruksinya yang *simple* dan bekerja dengan stabil. Fungsi Transfer kontroler *PID* ialah.

$$G_{PID}(s) = K \left( 1 + \frac{1}{T_i} + T_d \right) \quad (5)$$

Keterangan :

- $K$  = Proportional Gain  
 $T_i$  = Integral Time Constant  
 $T_d$  = Derivative Time Constant

Pada dasarnya perancangan kontroler *PID* dimaksudkan untuk menentukan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  agar respons sistem hasil perancangan sesuai kriteria desain ideal instrument yang diinginkan. Pada penyusunan pengendali *PID* secara analitis memiliki beberapa langkah, yaitu.

1. Menentukan model matematis *plant*.
2. Menentukan perancangan ukuran kualitas respon waktu yaitu *Settling Time (ts)*, *Over-shoot*, dan *Error Steady State*.
3. Menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ .

### Fuzzy Logic Controller

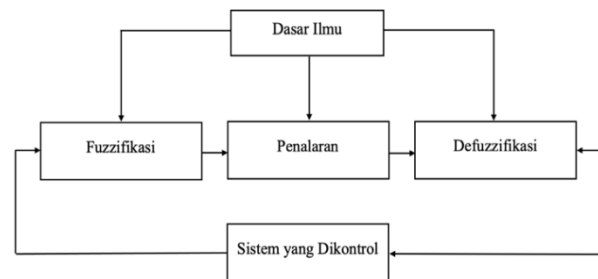
Fuzzy memiliki arti samar atau tidak jelas, sehingga logika fuzzy merupakan logika yang samar atau mengandung unsur ketidakpastian. Pada logika tegas atau Boolean, kita hanya mengenal dua nilai, 1 dan 0, atau benar dan salah. Sedangkan pada logika Fuzzy mengenali nilai antara benar dan salah. Inti dari logika fuzzy dapat dinyatakan dengan derajat kebenaran dalam rentang 0 sampai 1 (Ramadhani, 2016).

Fuzzy Logic Controller atau FLC adalah salah satu penerapan dari logika fuzzy di bidang sistem kontrol. Salah satu kelebihan dari FLC adalah tidak dibutuhkannya model matematika dari *plant* yang akan dikontrol. Metode pengambilan keputusan diberikan pada kontroler sebagai aturan dasar saat pengendalian berlangsung.

Sistem inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System / FIS*) ialah sistem yang bisa menyimpulkan naluri dengan prinsip yang sama dengan manusia (Harefa, 2017). Ditemukan beberapa macam FIS yang umum digunakan yaitu, Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno. FIS tersebut beroperasi berdasarkan ajaran-ajaran ilmu

bahasa dan mempunyai algoritma fuzzy yang memiliki sebuah aproksimasi untuk dimasuki analisa matematis.

Konfigurasi kontrol fuzzy logic terdiri dari beberapa susunan seperti pada gambar berikut:

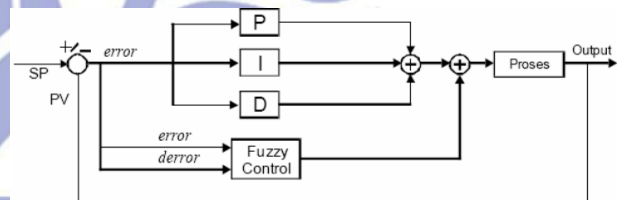


Gambar 5. Konfigurasi kontrol Logika Fuzzy.

### Hybrid Proportional Integral Derivativ-Fuzzy (PID-Fuzzy)

*PID-Fuzzy* adalah gabungan dari 2 metode pengendali yaitu *PID* dan *Fuzzy* yang mana *PID* yang terdiri dari nilai  $K_p$  (Kontrol proporsional),  $K_i$  (Kontrol integral) serta  $K_d$  (Kontrol Derivativ) akan diatur nilai *set point* dari nilai variabelnya oleh *Fuzzy*. Kontrol  $K_p$  bertujuan untuk mengatur nilai variabel *set point* dan nilai variabel saat ini. Kontrol  $K_i$  berfungsi untuk mengurangi *error steady state* dan  $K_d$  bisa mengurangi dampak respon berlebihan (*overshoot*) saat menuju *steady-state*.

Sistem utamanya adalah kontroler *PID*, sedangkan kontroler fuzzy disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* (Bachri, 2004) terhadap gangguan seperti yang digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kontroler Hybrid PID-Fuzzy

Kontroler *Hybrid PID-Fuzzy* adalah sistem pengontrol yang terdiri dari kontrol konvensional dan kecerdasan buatan. Pada kontrol konvensional memiliki kontrol *PID* yg terdiri dari kendali *proportional* ( $K_p$ ) yang mana salah satu memiliki *error* dan juga perubahan *error* masukkan, kendali integral ( $K_i$ ) kebutuhan hanya mengintegrasikan *output* dari pengendali dan pengendali *derivative* ( $K_d$ ) yang dapat memperkirakan *error* yang akan terjadi menjadi dampak berdasarkan *error* yang telah dihitung sebelumnya. Sedangkan, pada Kontrol fuzzy memiliki sifat yang dapat meniru logika manusia sehingga mampu mempertimbangkan *output* dari kontroler bukan sebagai perubahan frekuensi kontrol. Pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* digunakan untuk mengembalikan respon *setpoint*

## Desain dan Analisis Sistem Suspensi Aktif Model Seperempat Kendaraan Dengan Metode Hybrid PID-FUZZY

yang diinginkan, meskipun jika variabel *setpointnya* telah dirubah.

Sinyal *input* yang digunakan dalam menganalisis respon sistem menggunakan perangkat lunak simulasi ditentukan terlebih dahulu Sebelum menentukan nilai parameter dari *PID* (Abdi dan Diah, 2017). Sinyal masukan berbentuk gundukan atau gangguan dengan besaran *magnitude* maksimal 0,1 m kemudian menentukan parameter kontrol *PID* pada sistem. suspensi aktif Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah Metode *Auto Tuning*.

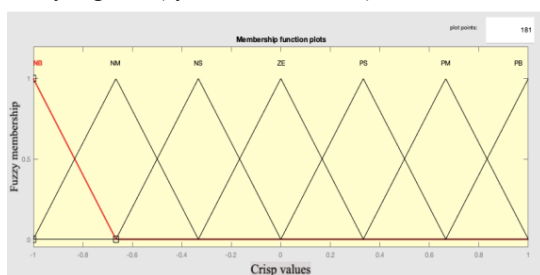
Pada penelitian ini, *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dibangun berbasiss *Simulink* pada MATLAB yang berisi file FIS (*Fuzzy Inference System* yang tersedia pada MATLAB. Tabel 2 menunjukkan variabel *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Variabel *Fuzzy* Sistem ¼ Suspensi Aktif

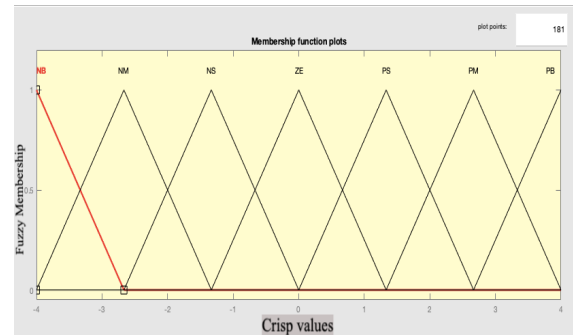
| Input                             | Output        |
|-----------------------------------|---------------|
| $e(z_s - z_u)$ Defleksi Suspensi  | Gaya Aktuator |
| $de(z_s - z_u)$ Defleksi Suspensi |               |

Variabel linguistik dari himpunan *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*), PM (*Positive Medium*), PB (*Positive Big*). Penentuan jumlah maksimal aturan *fuzzy* berdasarkan pada jumlah himpunan *fuzzy* untuk masing-masing masukkan. *Input* himpunan *fuzzy* pada kedua variabel *fuzzy* yang digunakan terdapat 7 buah, sehingga keseluruhan aturann *fuzzy* maksimal yang bisa dibangun sebanyak  $7^2 = 49$  aturan.

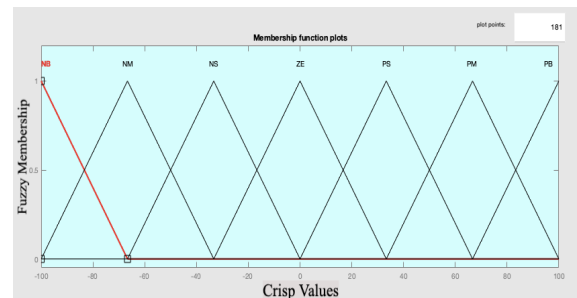
Himpunan *fuzzy* dan pengaturan fungsi keanggotaan *fuzzy* bersifat independen. Pengujian. yang dilaksanakan menggunakan kurva segitiga dengan *input Error* yaitu  $[-1 \ 1]$  serta *input dError*  $[-4 \ 4]$ . Penetapan *range* pada kendali fuzzy mempengaruhi hasil performansi sistem. *Membership function input Error* ditunjukkan pada Gambar 7, fungsi keanggotaan *input dError* ditunjukkan pada Gambar 8 dan *output* berupa gaya ditunjukkan pada Gambar 9. Untuk mendapatkan hasil respon yang optimal, maka kemudian dapat menyesuaikan parameter kontrol *fuzzy*, atau fungsi keanggotaann (*range e-max* dan *de-max*), dengan cara *try* dan *error* serta aturan-aturan yang ada (syechu, dkk, 2021).



Gambar 7. Input pertama (*error*).



Gambar 8. Input kedua (*derror*).



Gambar 9. Output (*Gaya*).

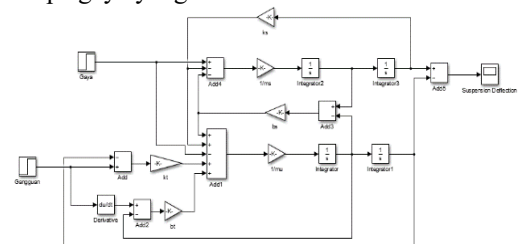
Jumlah *rules fuzzy* yang digunakan dalam merancang FLC (*Fuzzy Logic Controller*) untuk sistem ¼ suspensi aktif ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rules Fuzzy 49 Aturan.

| U ( <i>Gaya</i> )                           | $e(Z_s - Z_u)$ Defleksi Vertikal Kendaraan |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                                             | NB                                         | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
| $de(Z_s - Z_u)$ Defleksi Vertikal Kendaraan | NB                                         | NB | NB | NB | NM | NS | ZE |
|                                             | NM                                         | NB | NB | NM | NS | ZE | PS |
|                                             | NS                                         | NB | NM | NS | ZE | PS | PM |
|                                             | ZE                                         | NB | NM | ZE | PS | PM | PB |
|                                             | PS                                         | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
|                                             | PM                                         | NS | ZE | PS | PM | PB | PB |
|                                             | PB                                         | ZE | PS | PM | PB | PB | PB |

### Desain Sistem

Desain sistem prototipe Suspensi Aktif ¼ Kendaraan dengan pengendali *hybrid* PID-Fuzzy seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Rangkaian Simulink memiliki 2 input berupa aktuator dan gangguan serta output berupa gaya yang dihasilkan.



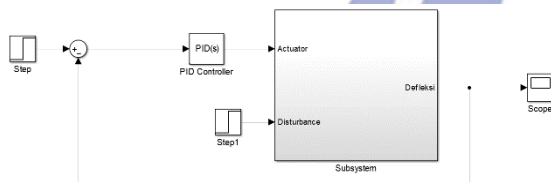
Gambar 10. Simulink Sistem Suspensi Aktif ¼ Kendaraan.

(Sumber: Ahmed, 2021)

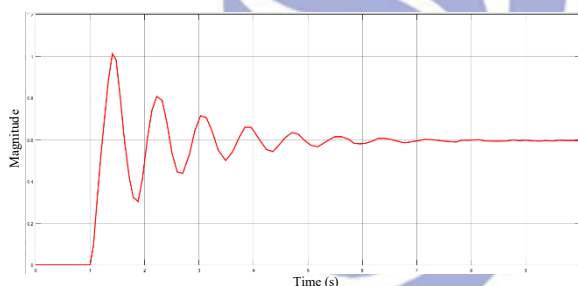
Sistem yang di uji adalah sistem yang berdasarkan kaidah sistem loop tertutup. Nilai *input* sistem (*setpoint*) berupa gaya dan gangguan. Nilai *output* sistem berupa defleksi suspensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan aplikasi MATLAB 2015b menggunakan *Simulink* dan menggunakan *toolbox Fuzzy Logic Designer* yang tersedia pada aplikasi. Permodelan blok diagram *Simulink* dirancang dengan mengacu pada pemodelan sistem suspensi aktif ¼ kendaraan. Pengujian *plant* dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu: (1) pengujian *plant* tanpaa kendali; (2) pengujian *plant* dengan kendali PID dan Fuzzy; (3) pengujian *plant* dengan kendali *hybrid PID-Fuzzy*.



Gambar 11. *Simulink Plant* dengan kontroler PID.

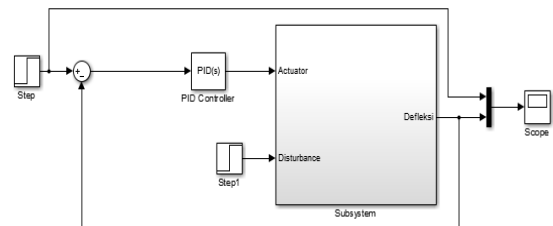


Gambar 12. Grafik Sistem Tanpa Kontroler.

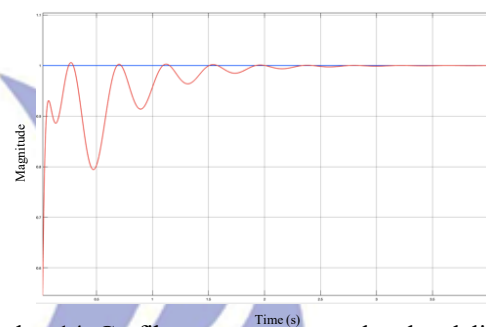
Pada Gambar 12 menunjukkan bahwasanya hasil grafik respon tanpa menggunakan kendali berada dibawah nilai *set point* yang sebelumnya sudah ditentukan. Dapat dilihat bahwa sistem yangg tidak menggunakan kendali akan menunjukan kendaraan mengalami osilasi sebesar  $1,2 \times 10^{-4}$  dan *settling time* menuju stabil sebesar 9 detik.

Pada penelitian ini penulis menggunakan beberapa kontroler seperti, pengendali *fuzzy*, pengendali PID dan pengendali *hybrid PID-Fuzzy*. Setelah mendapatkan nilai untuk parameterr PID dengan.menggunakan metode *Auto Tuning* dan untuk logika *fuzzy* menggunakan metode Mamdani, langkah selanjutnya ialah menggabungkan kedua kontroler pada sistem untuk mengontrol performansi sistem suspensi. dalam hal kualitas pengendalian dan kenyamanan mobil akan diamati, di mana gangguan jalan diasumsikan sebagai

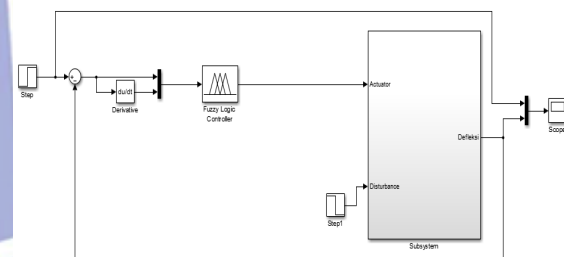
*input* untuk sistem. Parameter yang akan diamati adalah defleksi suspensi untuk seperempat kendaraan.



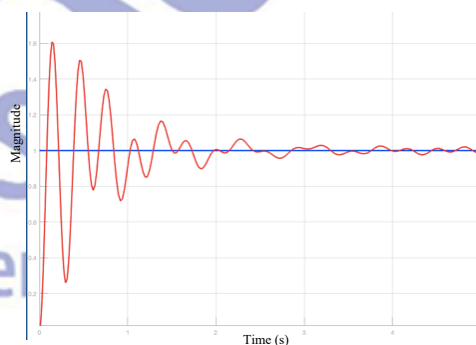
Gambar 13. *Simulink Plant* dengan kontroler PID.



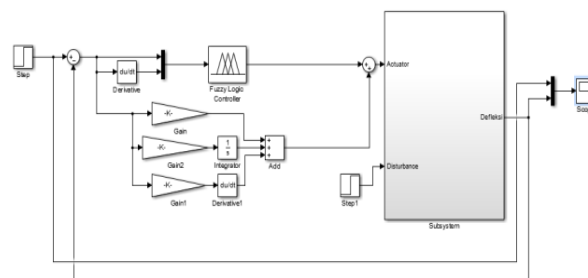
Gambar 14. Grafik respon menggunakan kendali PID.



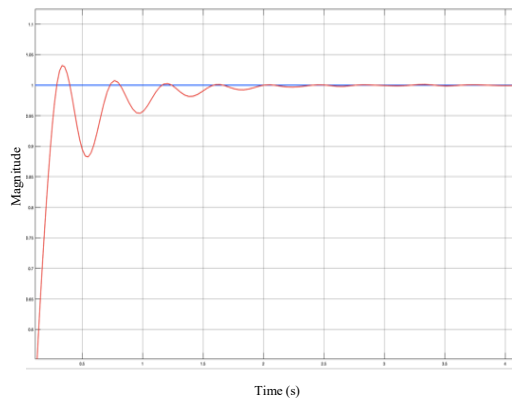
Gambar 15. *Simulink Plant* dengan kontroler fuzzy.



Gambar 16. Grafik respon menggunakan kendali fuzzy.



Gambar 17. *Simulink Plant* dengan kontroler hybrid PID-Fuzzy.



Gambar 18. Grafik respon menggunakan kendali *hybrid PID-Fuzzy*.

Untuk menentukan sistem beroperasi dengan baik maupun tidak, bisa ditentukan berdasarkan rancangan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu : *Overshoot* = 2% - 5%, *Rise time* = 2 sekon, *Settling time* = 3 sekon, dan *steady state error* = 0%. Parameter *PID* yang berhasil didapatkan dengan mendapatkan hasil performansi sistem yang baik dan sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Parameter kendali *PID*

| Parameter Kontrol | Nilai Parameter |
|-------------------|-----------------|
| P                 | 71012.873       |
| I                 | 156434.839      |
| D                 | 7014.527        |

Gambar 13 dan Gambar 14 merupakan pengujian sistem suspensi dengan menggunakan kendali *PID*, dan didapat hasil respon menunjukkan kenaikan *rise time* yang cukup cepat. Sedangkan pada Gambar 15 dan Gambar 16 merupakan pengujian sistem suspensi dengan menggunakan kendali *Fuzzy*, dan didapatkan hasil respon menuju *settling time* lebih cepat dibanding dengan tanpa menggunakan kontroler.

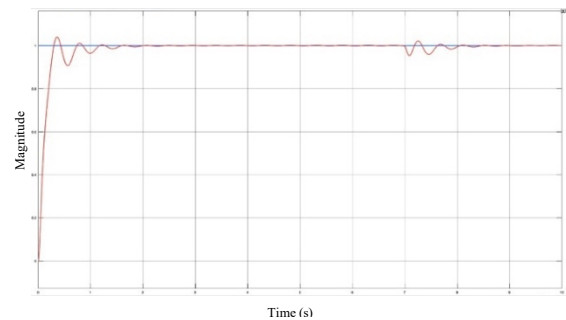
Gambar 17 dan Gambar 18 adalah hasil simulasi sistem dengan memanfaatkan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* yang mana hasil respon sistem telah sesuai dengan nilai *setpoint* yang ditentukan. Stabilitas yang lebih baik ditunjukkan oleh respon sistem dengan osilasi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan rangkaian suspensi tanpa kontroler. Respon sistem mencapai nilai *setpoint* yang ditetapkan sebelumnya dengan nilai *error* yang kecil.

Performa sistem dari simulasi dan pemodelan dalam sistem pengontrol *PID*, pengendali *fuzzy*, serta pengendali *hybrid PID-Fuzzy* dengan memanfaatkan *Simulink* MATLAB seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan respon sistem tiap kontroler

| Parameter Respon   | PID    | Fuzzy | PID-Fuzzy | Satuan |
|--------------------|--------|-------|-----------|--------|
| Rise Time          | 0.533  | 0.480 | 0.400     | Detik  |
| Settling Time      | 3.5    | 5     | 2.5       | Detik  |
| Max Overshoot      | 0.06   | 6     | 0.4       | %      |
| Time Peak          | 0.07   | 0.15  | 0.3       | Detik  |
| Error Steady State | 0.0001 | 0.001 | 0.0001    | %      |

Dari Tabel 5 terlihat bahwa respon sistem yang memanfaatkan *hybrid PID-Fuzzy* mendapatkan respon yang lebih cepat dibanding dengan kedua pengendali lainnya. Dengan kata lain, ada *rise time* = 0.4, *settling time* = 2.5, dan *error steady state* yang lebih kecil = 0.0001%. Dari pengujian ini terbukti bahwa *hybrid PID-Fuzzy controller* untuk sistem 349system349i aktif ¼ kendaraan mempunyai respon sistem yang lebih baik dibanding dengan kendali *PID* maupun kendali *Fuzzy*.



Gambar 19. Grafik respon hasil uji *disturbance* dengan kendali *hybrid PID-Fuzzy*.

Pengujian respon sistem juga dilakukan dengan memberikan gangguan sebagai beban pada simulasi yang dilakukan. Hasil simulasi respon sistem ditunjukkan pada Gambar 19. Saat performansi 349sistem terganggu sehingga respon sistem menurun dari kondisi tunak untuk sementara waktu, dan kemudian respon kembali ke kondisi semula dalam kondisi *steady-state*. Hasil pengujian sistem suspensi aktif dengan beban mempunyai nilai *error steady-state* sebesar 0,0001%.

## PENUTUP

### Simpulan

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa sistem sistem suspensi aktif ¼ kendaraan dengan pengontrol *hybrid PID-Fuzzy* dapat bekerja dengan baik. Dapat dilihat, ketika kontroler *fuzzy* digabungkan dengan kontroler *PID*, respon sistem mencapai nilai input yang ditentukan (*setpoint*) dan nilai *error steady-state* dapat dikurangi. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, kontroler *hybrid PID-Fuzzy*. menunjukkan respon sistem yang lebih baik dibandingkan kontroler lainnya dengan nilai *rise time* (waktu naik) = 0.4,

*settling time* (waktu tunak) = 2.5, dan *error steady state* (ess) yang lebih kecil = 0.0001%.

#### Saran

Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya, sistem suspensi aktif kendaraan ini dapat menggunakan metode pengendalian lainnya seperti JST (Jaringan Syaraf Tiruan), ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*), atau MPC (*Model Predictive Control*) agar hasil nilai respon sistem yang dapat lebih baik. Pada penelitian selanjutnya dapat dianalisa dengan memanfaatkan GUI (*Graphical User Interface*) dengan perangkat lunak lain seperti SciLab, LabView, dan lain-lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed. Abdussalam Ali. 2021. *Quarter car model optimization of active suspension system using fuzzy PID and linear quadratic regulator controllers*. Global Journal Engineering and Technology Advancement (GJETA).
- Ashraf. E. 2014. *Desain a semi-Active Suspension System for a Quarter Vehicle Model using Fuzzy Logic Control (FLC)*. International Research Journal of Scientific Findings, Vol. 1(2), pp. 030-036.
- Abdi. Ferly Isnomo, dan Diah. Wulandari. 2017. *Desain Dan Analisis Sistem Suspensi Aktif Model Seperempat Kendaraan Dengan Kendali PID (Proportional Integral Derivative)*. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin (JPTM), Vol.6(2), pp. 160–165.
- Bachri. Samsul. 2004. *Sistem Kendali Hybrid PID – Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC*. Makara Teknologi, Vol.8(1), pp 25-34.
- Harefa. Kecitaan. 2017. *Penerapan Fuzzy Inference System untuk Menentukan Jumlah Pembelian Produk Berdasarkan Data Persediaan Dan Penjualan*. Jurnal Informatika Universitas Pamulang, Vol. 2(4).
- Madyanto. T. 2010. *Pengontrolan Suhu Menggunakan Metode FUZZY-PID pada Model Sistem Hipertermia*. Transmisi, Vol.12(1), pp. 21–26.
- Putra. Muhamad Rai Anggara. 2017. *Pemodelan dan Analisis Pengaruh Penggunaan Adaptive Shock Absorber Menggunakan Variabel Orifice Terhadap Karakteristik Gaya Redam dan Respon Dinamis Kendaraan*. Surabaya : Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Sepuluh November.
- Ramadhani. Nirwana. 2016. *Perancangan Sistem Pengendali Temperatur Pada Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr) Menggunakan Kontroler Pi-Fuzzy*. Surabaya : Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- Rohmad, Sunarno, dan Edie. Sukiswo Supeni. 2015. *Desain Dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan Pid Dan Logika Fuzzy Dengan Simulink Matlab*. Semarang: Jurusan Fisika Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Saifi. Danish, dan Kumar. Pramod. 2021. *Modelling Of Active Suspension System For Quarter Car (Pid Control, Matlab)*. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology Vol. 5 (10), pp. 155-160.
- Syeichu. Muhammad Mukhlis, Endryansyah, R. Puput Wanarti, dan Asto. I Gusti Putu. 2021. *Desain Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Prototipe Elevator Menggunakan Hybrid FUZZY-PID Controller*. Jurnal Teknik Elektro, Vol.10 (2), pp. 405–412.