

Analysis Of Parameter Changes In Controlling The Quarter-Car Active Suspension With PID Controller

Analisis Perubahan Parameter Dalam Pengaturan Suspensi Aktif Quarter-car Dengan Pengontrol PID

Aprildy Randy Andrew Ferdinandus, Nindy Gaby Sepang

Faculty of Engineering, Sariputra Indonesia Tomohon University, Kakaskasen, Tomohon, 95416 ,
Indonesia

e-mails : aprildy.ferdinandus@gmail.com

Received: 27 April 2021; revised: 09 December 2021; accepted: 21 December 2021

Abstrak — Suspensi mobil adalah salah satu bagian dari mobil yang menghubungkan antara badan mobil dan roda mobil yang menapak pada permukaan jalan. Salah satu fungsi dari suspensi mobil adalah menjamin kenyamanan pengguna mobil karena bertugas untuk meminimalisir getaran badan mobil akibat pengaruh dari permukaan jalan. Suspensi mobil dikendalikan dengan sistem kendali sehingga bisa meminimalisir getaran badan mobil yang disebabkan oleh permukaan jalan. Dalam pengoperasian mobil akan terdapat perubahan parameter yang terjadi antara lain karena ada perubahan beban muatan dari mobil dan tekanan ban pada mobil dan tentunya mempengaruhi bentuk dari plant suspensi. Suspensi mobil akan dikendalikan menggunakan PID Controller secara simulasi dalam program Simulink Matlab dan setelahnya dilakukan perubahan nilai parameter berkaitan dengan beban dan tekanan ban. Dilakukan analisis perbandingan dalam pengendalian suspensi tanpa perubahan parameter dan suspensi dengan perubahan parameter. Hasil simulasi menunjukkan PID controller mampu mengendalikan suspensi dengan kondisi permukaan jalan yang terdapat gundukan jalan setinggi 20cm dan hanya menyebabkan perpindahan badan mobil sebesar 2,3cm. Selanjutnya simulasi dengan suspensi yang parameternya berubah, PID controller juga mampu meredam gangguan gundukan jalan sebesar maksimal 2,6cm tetapi dengan settling time yang bertambah. Dengan demikian maka PID controller mampu mengendalikan suspensi aktif quarter-car baik secara normal maupun dengan parameter yang berubah secara signifikan. Suspensi yang dikendalikan dengan PID controller mampu meredam gangguan lebih dari 85%.

Kata kunci — perubahan parameter; pid controller; suspensi aktif quarter-car

Abstract — Car suspension is one part of the car that connects the car's body and the car's wheels that tread on the road surface. One of the functions of a car suspension is to ensure the

comfort of car users because it is in charge of minimizing the vibration of the car's body due to the influence of the road surface. The car suspension is controlled by a control system so that it can minimize the vibration of the car body caused by the road surface. In the operation of the car, there will be parameter changes that occur, such as the changes in the load of the car and the tire pressure so that it can affect the model of suspension's plant. The car suspension will be controlled using a PID controller in a simulation in the Simulink Matlab program and after that the parameter values are changed related to vehicle load and tire pressure. Comparative analysis was carried out in controlling the suspension without changing the parameters and in controlling the suspension with changing the parameters. The simulation results show that the PID controller is able to control the suspension where there are road bumps as high as 20cm and only causes a car's body displacement of 2,3cm. Furthermore, the simulation with a suspension whose parameters change, the PID controller is also able to reduce the disturbance and only causes a car's body displacement of 2,6cm but with an increase in settling time. Thus, the PID controller is able to control the quarter-car active suspension either normally or with parameters changes. Suspension controller by a PID controller is able to reduce interference more than 85%.

Keywords — parameter changes; pid controller; quarter-car active suspension

I. PENDAHULUAN

Suspensi pada mobil dapat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu suspensi pasif, suspensi semi aktif dan suspensi aktif. Teknologi suspensi aktif saat ini semakin banyak dimanfaatkan dalam sistem suspensi mobil. Sistem suspensi aktif menawarkan performa yang lebih baik dalam menghadapi berbagai kondisi permukaan jalan dibandingkan dengan suspensi pasif dan suspensi semi aktif jika dikendalikan dengan baik. Hal ini disebabkan oleh adanya aktuator force pada suspensi aktif yang dapat menyesuaikan dengan kondisi dari permukaan jalan yang dilalui oleh mobil.

Dalam pemanfaatan suspensi aktif, diperlukan sistem pengendalian yang baik agar suspensi aktif dapat bekerja maksimal untuk meredam gangguan dari permukaan jalan.

A. R. A. Ferdinandus is with the Department of Engineering, Sariputra Indonesia Tomohon University (phone: +62 813 4007 9409; e-mail: aprildy.ferdinandus@gmail.com, aprildy.ferdinandus@unsrittomohon.ac.id)

N. G. Sepang is with the Department of Engineering, Sariputra Indonesia Tomohon University (phone: +62 852 4009 0900; e-mail: nindysepang@unsrittomohon.ac.id)

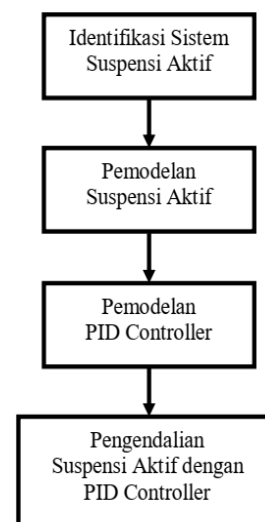
Ikenaga, S. et al melakukan penelitian tentang pengendalian suspensi aktif sehingga dapat menghasilkan performa yang baik dalam menghadapi berbagai permukaan jalan dan dilakukan secara simulasi [1]. Chen, P. Huang, A. melakukan penelitian tentang pengendalian suspensi dengan mempertimbangkan perubahan muatan kendaraan sesuai waktu [2]. Dizo, J. et al meneliti secara tersendiri tentang roda yang rusak dan *flat-tyre* serta adanya perubahan tekanan roda dan pengaruhnya terhadap getaran dari badan kendaraan di atasnya [3]. Hamed, M. et al juga meneliti tentang bagaimana pengaruh dari tekanan roda mobil pada performansi suspensi [4]. Penulis juga pernah meneliti tentang mengendalikan suspensi aktif menggunakan metode pengendalian Neuro Fuzzy PID control dalam kondisi plant suspensi normal [5]. Berdasarkan penelitian terdahulu maka penulis mencoba meneliti tentang bagaimana mengendalikan suspensi aktif quarter-car untuk dapat bekerja secara optimal dengan memperhitungkan perubahan parameter berupa beban kendaraan dan tekanan pada roda secara bersamaan sehingga gangguan ketinggian permukaan jalan dapat ditekan dan tidak mempengaruhi perubahan ketinggian badan mobil.

Dalam ilmu pengendalian, ada berbagai jenis sistem pengendalian yang dapat digunakan, mulai dari sistem pengendalian PID, sistem pengendalian adaptif, sistem pengendalian cerdas yang memanfaatkan metode kecerdasan buatan bahkan hingga sistem pengendalian robust/kokoh. Penelitian pengendalian menggunakan PID control yang disebut sebagai metode klasik masih banyak dilakukan oleh peneliti, hal ini dikarenakan masih sangat banyak masalah pengendalian yang bisa diselesaikan menggunakan PID control juga PID control dapat dikombinasikan dengan metode pengendalian yang lain. Penelitian menggunakan metode pengendalian PID yang ada antara lain dilakukan oleh Zhang, J. Guo, L. yang meneliti tentang studi teori pengendali PID yang terfokus pada *linear deterministic systems* [6]. Rao, C. Santosh, S. Ram, D.V. meneliti tentang bagaimana mengatur secara optimal disain dan nilai dari pengendali PID [7]. Penelitian juga dilakukan untuk mempelajari Pole-Placement sistem dinamik dengan menggunakan PID control yang dilakukan oleh Boussaada, I. et al [8]. Pengendalian menggunakan PID control pun terus dilakukan dengan memastikan sifat kekokohnya seperti yang dilakukan oleh Li, Y. dan Ma, D. pada sistem nonlinier orde-2 [9]. Berdasarkan penelitian-penelitian tentang pengendalian menggunakan PID control yang masih terus dilakukan maka penulis akan menggunakan metode pengendalian PID control untuk memecahkan masalah yang ada yaitu pengendalian suspensi aktif quarter-car dengan memperhitungkan perubahan parameter berupa beban kendaraan dan tekanan pada roda secara. Salah satu pendukung mengapa penulis mengambil sistem pengendalian ini adalah bahwa ada penelitian sebelumnya tentang pengendalian menggunakan PID control pada prinsip pengendalian tekanan aktif [10], yang juga berhubungan dengan suspensi karena salah satu bagian suspensi mengatur tekanan pada aktuatornya.

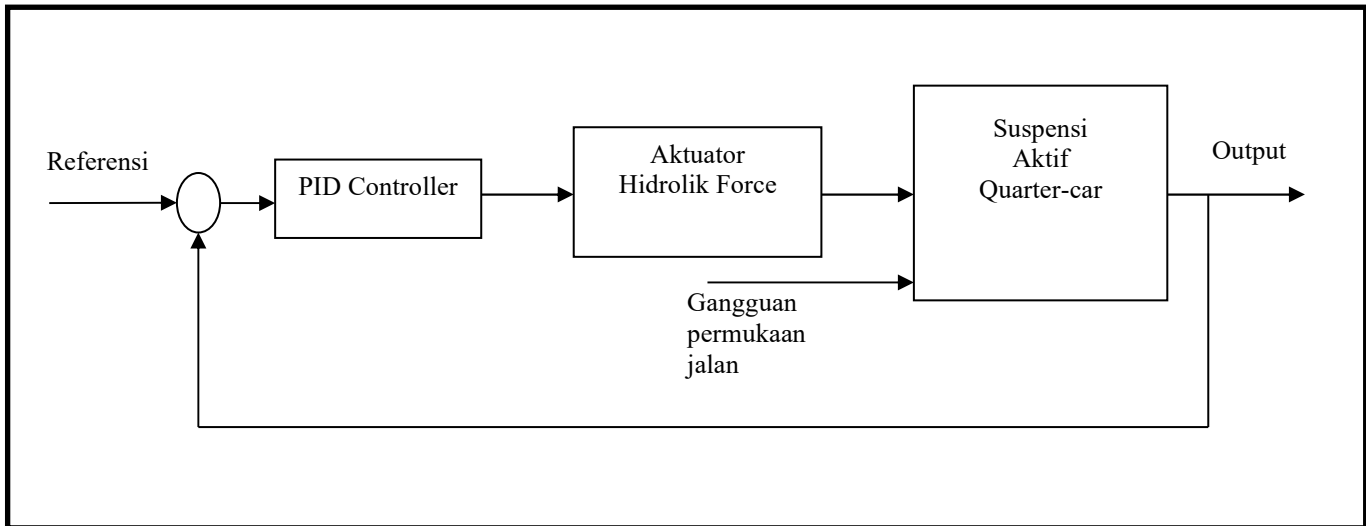
II. METODE PENELITIAN

Dilakukan beberapa tahapan dalam memperoleh hasil penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Tahapan penelitian yang ada yaitu pada awalnya digambarkan bentuk diagram blok untuk penelitian (Gambar 2) yang akan menjadi panduan bentuk sistem yang diteliti. Selanjutnya dilakukan Identifikasi sistem suspensi aktif secara mekanik. Hasil dari identifikasi sistem suspensi tersebut dimodelkan dalam model matematik dan dimasukkan ke dalam program Simulink Matlab. Selanjutnya dilakukan pemodelan sistem pengendalian PID yang digunakan dalam penelitian. Sistem pengendali PID dimodelkan dalam bentuk model matematik dan dimasukkan dalam program Simulink Matlab. Setelah semua model plant dan sistem pengendalian telah dimasukkan dalam program Simulink Matlab maka dilakukan simulasi pengendalian. Simulasi dilakukan dengan beberapa kondisi yaitu simulasi sistem suspensi tanpa pengendalian, simulasi sistem suspensi dengan pengendali PID serta simulasi sistem suspensi dengan pengendali PID beriringan dengan mengubah parameter plant suspensi pada bagian beban muatan dan tekanan roda mobil.

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem pengendalian suspensi aktif quarter-car menggunakan PID controller yang diteliti. Dalam simulasi sistem, masukan sistem berupa setpoint untuk dapat menjaga posisi badan mobil tetap diam dan gangguan untuk sistem berupa sinyal perubahan posisi roda mobil yang dianggap sebagai perpindahan roda akibat perubahan permukaan jalan. Akibat adanya perubahan karena terjadi gangguan, maka sinyal keluaran akan berubah, sinyal keluaran tersebut diumpan balik untuk bisa dibandingkan dengan sinyal setpoint. Hasil perbandingan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran disebut sinyal error yang nantinya menjadi masukan pada sistem pengendali. Sinyal kendali dari PID control dikirimkan ke aktuator hidrolis untuk dapat mengatur suspensi aktif untuk menyesuaikan dengan kondisi jalan yang dilalui.



Gambar 1. Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram Blok Pengendalian Suspensi menggunakan PID Control

A. Identifikasi Sistem dan Pemodelan

1) Suspensi Aktif Quarter-car

Model mekanik dari suspensi aktif quarter-car (1 roda) ditunjukkan pada gambar 2, dimana M_s sebagai sprungmass dan M_u sebagai unsprungmass. K_s sebagai konstanta pegas suspensi, K_t sebagai konstanta pegas ban, C_s adalah konstanta damper suspensi, C_t adalah konstanta damper ban dan F adalah force dari aktuator. Juga pada gambar 2 ditunjukkan Z_r sebagai posisi dari jalan, Z_u sebagai posisi dari poros ban dan Z_s sebagai posisi dari badan mobil.

Berdasarkan gambar 3 dapat diturunkan persamaan model matematik dari suspensi aktif quarter-car sebagai persamaan (1), (2) dan (3)

$$Fk(z) = KZ + Knz^3 \quad (1)$$

$$Fc(\dot{z}) = CZ + Cn\dot{z}^2 \operatorname{sgn}(\dot{z}) \quad (2)$$

$$F = u \quad (3)$$

Persamaan (1), (2) dan (3) diturunkan dan diperoleh persamaan (4) dan (5) di bawah ini

$$M_s\ddot{Z}_s + Fcs + Fks = u \quad (4)$$

$$M_u\ddot{Z}_u + Kt(Z_u - Z_r) + Ct(\dot{Z}_u - \dot{Z}_r) - Fcs - Fks = -u \quad (5)$$

dengan

$$Fks = Ks(Z_s - Z_u) + Kns(Z_s - Z_u)^3 \quad (6)$$

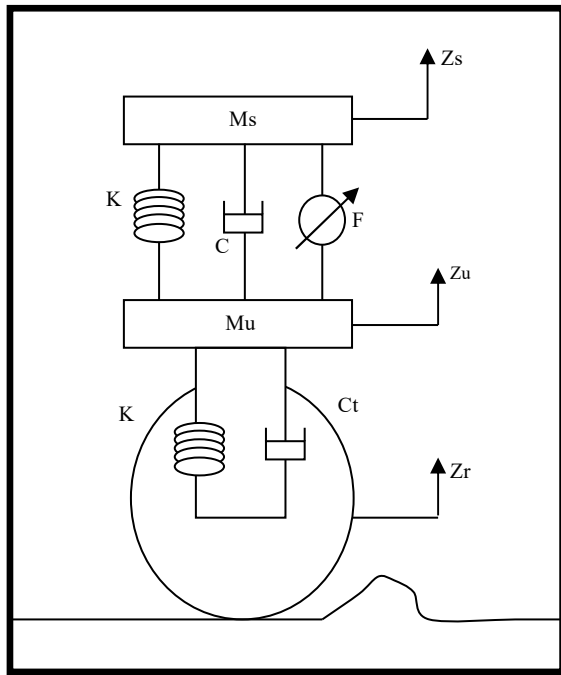
$$Fcs = Cs(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + Cns(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u)^2 \operatorname{sgn}(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) \quad (7)$$

Pada suspensi aktif terdapat aktuator force dengan sistem hidrolik yang digunakan untuk menggerakkan suspensi selain gaya dari pegas dan damper sehingga suspensi lebih mudah untuk dikendalikan. Aktuator force hidrolik pada suspensi aktif dapat dilihat pada gambar 4, dimana A_p adalah piston area, C_{di} adalah koefisien discharge, α adalah koefisien hidrolik, w adalah lebar spool valve, selanjutnya P_s adalah tekanan suplai, P_L adalah tekanan yang disebabkan oleh beban, ρ adalah gravitasi fluid hidrolik dan C_{tm} adalah koefisien terbuang. Persamaan matematik dari aktuator hidrolik dituliskan pada persamaan (8)

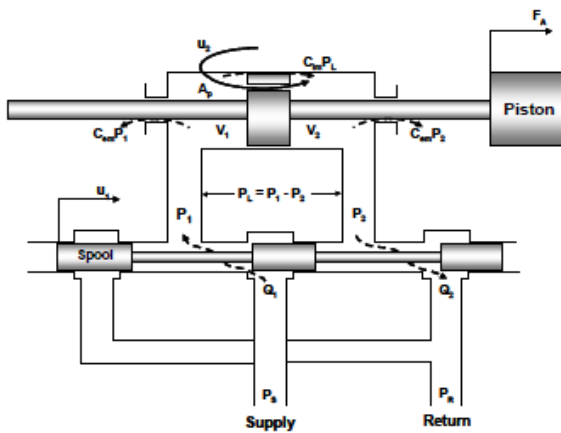
$$\dot{F}_A = A_p \alpha C_{d1} w u_1 \sqrt{\frac{P_s - \operatorname{sgn}(u_1) P_L}{\rho}} - A_p \alpha C_{d2} u_2 \operatorname{sgn}(P_L) \sqrt{\frac{2P_L}{\rho}} - A_p \alpha C_{tm} P_L - A_p^2 \alpha (x_s - \dot{x}_u) \quad (8)$$

$$\pi \dot{u} + u = kv \quad (9)$$

$$P_L = \frac{F_A}{A_p} \quad (10)$$



Gambar 3. Skema Suspensi Aktif



Gambar 4. Skema Aktuator Hidrolik

Persamaan model matematik dari suspensi aktif yang ada digunakan sebagai model dalam simulasi yang dilakukan menggunakan program Simulink Matlab. Setiap nilai parameter dari suspensi aktif dapat dilihat pada tabel I dan dimasukkan nilainya pada model matematik simulasi dalam program Simulink Matlab

Simulasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter yang diberikan di tabel I, setelah itu akan diubah nilai parameter untuk pengujian selanjutnya yaitu nilai sprungmass (Ms) dan nilai konstanta pegas ban mobil (Kt), kemudian sebagai gangguan dalam sistem adalah permukaan jalan dengan gundukan setinggi 20 cm (centimeter).

2) PID Controller

Sistem pengendalian yang digunakan dalam penelitian ini adalah PID controller. PID controller adalah pengendali yang terdiri dari pengendali proporsional P, integral I serta derivative D. Sinyal kendali $u(t)$ dari PID controller dituliskan pada persamaan (11)

TABEL I
Parameter suspensi

Parameter	Nilai (SI)
Ms	360 kg
Mu	25 kg
Cs	500 N s/m
Ks	1000 N/m
Ct	0
Kt	300000 N/m
Ap	0.0044 m ²
Cdi	0.7
α	2.273e9 N/m ⁵
w	0.008 m
Ps	20684 kN/m ²
ρ	3500
Ctm	15e-12

kg = Kilogram, N = Newton, s = second, m = meter, kN = kilo Newton

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{11}$$

dengan $e(t)$ adalah error, pada persamaan (12)

$$e(t) = yr(t) - y0(t) \tag{12}$$

$yr(t)$ adalah sinyal atau respon referensi yang diinginkan dan $y0(t)$ adalah sinyal atau respon keluaran, K_p adalah gain proporsional, K_i adalah gain integral dan K_d adalah gain derivative.

PID controller akan digunakan untuk mengendalikan suspensi aktif quarter-car, dengan nilai K_p , K_i dan K_d yang ditentukan dan akan dibandingkan hasil pengendaliannya terhadap plant suspensi aktif quarter-car dengan parameter yang berubah.

B. Sistem Pengendalian Suspensi Aktif Quarter-car dengan PID Controller

Plant suspensi aktif quarter-car akan dikendalikan menggunakan PID controller dengan metode pengendalian open loop. Nilai dari konstanta PID controller ditentukan dengan cara *trial and error* dimana dilakukan pengujian nilai masing-masing konstanta dan dipilih konstanta yang terbaik dari beberapa nilai konstanta dalam pengendalian plant suspensi aktif quarter-car.

Dalam pengendalian plant suspensi aktif quarter-car, diberikan gangguan sinyal berupa perubahan permukaan jalan, perubahan tersebut langsung diberikan kepada suspensi sehingga akan bisa dilihat bagaimana pengendali bekerja untuk tetap mempertahankan nilai referensi dengan adanya gangguan.

Simulasi dilakukan dengan sistem seperti yang ditampilkan pada gambar 2. Simulasi awal yaitu dengan melakukan pengendalian plant suspensi aktif quarter-car menggunakan

PID controller dengan nilai parameter sesuai dengan yang ditunjukkan pada tabel I.

Setelah dilakukan simulasi pengendalian suspensi aktif menggunakan PID controller maka dilakukan simulasi selanjutnya yang tetap menggunakan model plant suspensi aktif yang sama dan juga menggunakan sistem pengendali PID yang sama konstantanya tetapi akan mengubah parameter plant suspensi aktif.

Simulasi dilakukan dengan cara mengubah parameter dari plant suspensi aktif yang dalam hal ini parameter yang berubah adalah parameter massa dari mobil yang diakibatkan oleh sebab adanya perubahan beban muatan mobil. Beban muatan mobil berubah disebabkan oleh perubahan dari jumlah orang yang menaiki mobil juga disebabkan oleh adanya tambahan muatan berupa barang yang diangkut oleh mobil.

Simulasi selanjutnya dilakukan dengan mengubah parameter konstanta pegas yang dipengaruhi oleh tekanan udara dari ban mobil. Hal ini karena tidak semua pengguna mobil memperhatikan tekanan udara dari ban mobil yang digunakan. Dengan adanya perubahan tekanan udara ban mobil maka konstanta pegas dari ban mobil akan berubah menjadi berkurang.

Setelah dilakukan simulasi pada masing-masing perubahan parameter plant suspensi aktif baik itu massa mobil dan konstanta pegas ban mobil maka dilakukan simulasi selanjutnya yaitu simulasi pengendalian plant suspensi aktif menggunakan PID controller dengan mengubah kedua parameter secara bersama-sama, baik itu massa mobil maupun konstanta pegas dari ban mobil.

Hasil dari simulasi ditunjukkan pada bab III dan dilihat performansi dari pengontrol yang ada berkaitan dengan

berubahnya parameter plant suspensi aktif.

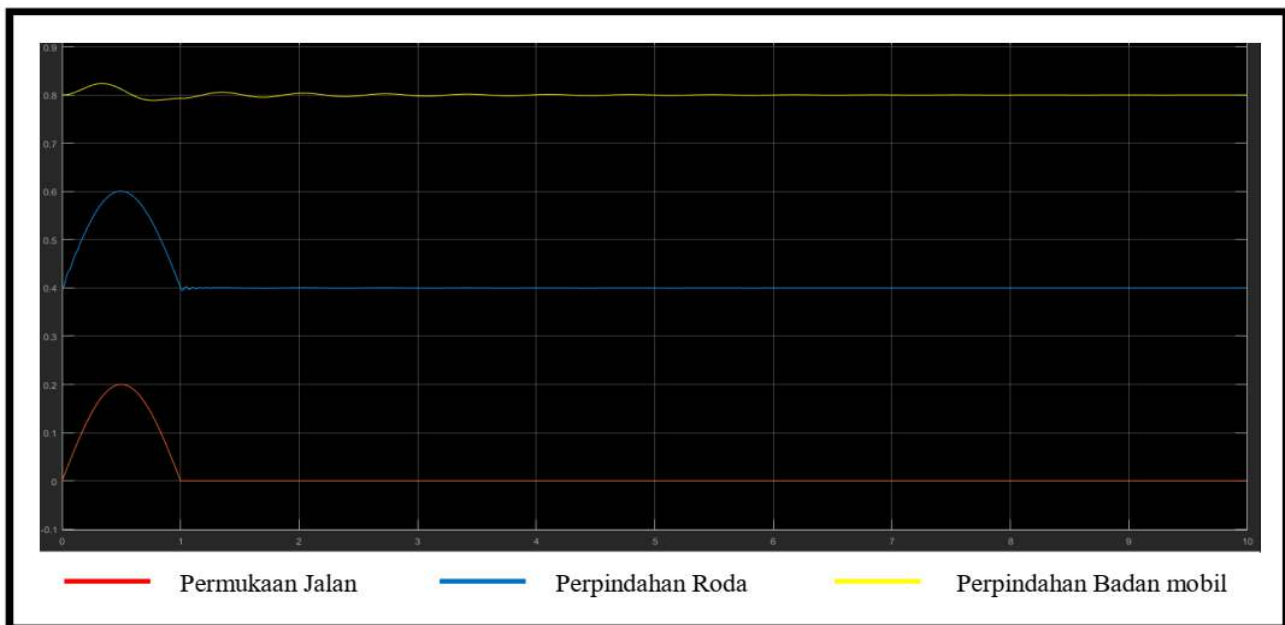
Pada akhirnya akan dijabarkan hasil analisis perbandingan antara pengendalian plant suspensi aktif parameter normal dengan pengendalian plant suspensi aktif parameter massa dan konstanta pegas berubah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

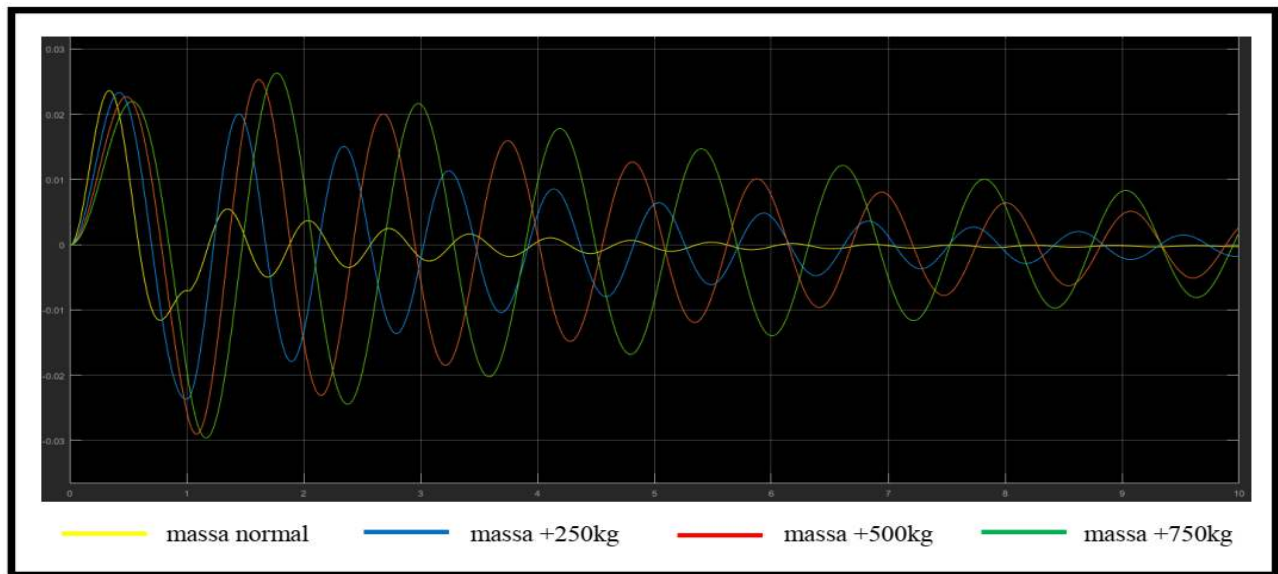
Sistem pengendali PID diaplikasikan pada sistem suspensi aktif quarter-car secara simulasi komputer dengan menggunakan program Simulink pada Matlab. Model simulasi dibuat seperti dengan persamaan matematik suspensi beserta dengan aktuator dan setiap nilai parameter berdasarkan pada data tabel I. Dalam simulasi nilai dari parameter massa kendaraan dan konstanta pegas ban mobil diubah-ubah untuk melihat hasil pengendalian oleh sistem pengendali PID.

Nilai konstanta PID controller yang digunakan adalah Konstanta Proporsional (K_p) bernilai 1, Konstanta Integral (K_i) bernilai 0.1 dan Konstanta Derivative (K_d) bernilai 10. Hasil pengendalian suspensi aktif quarter-car menggunakan PID controller dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada gambar 5 menunjukkan hasil pengendalian suspensi dimana terdapat gangguan permukaan jalan berupa gundukan setinggi 20cm, dapat terlihat perpindahan roda dari mobil sebesar tingginya gangguan jalan dan hasilnya menunjukkan bahwa PID controller mampu mengendalikan suspensi aktif sehingga perpindahan posisi badan mobil menjadi senilai 2.35cm atau jika dibandingkan maka perpindahan badan mobil hanya sebesar 11,75% dari besarnya gangguan jalan.



Gambar 5. Hasil simulasi pengendalian suspensi menggunakan PID controller



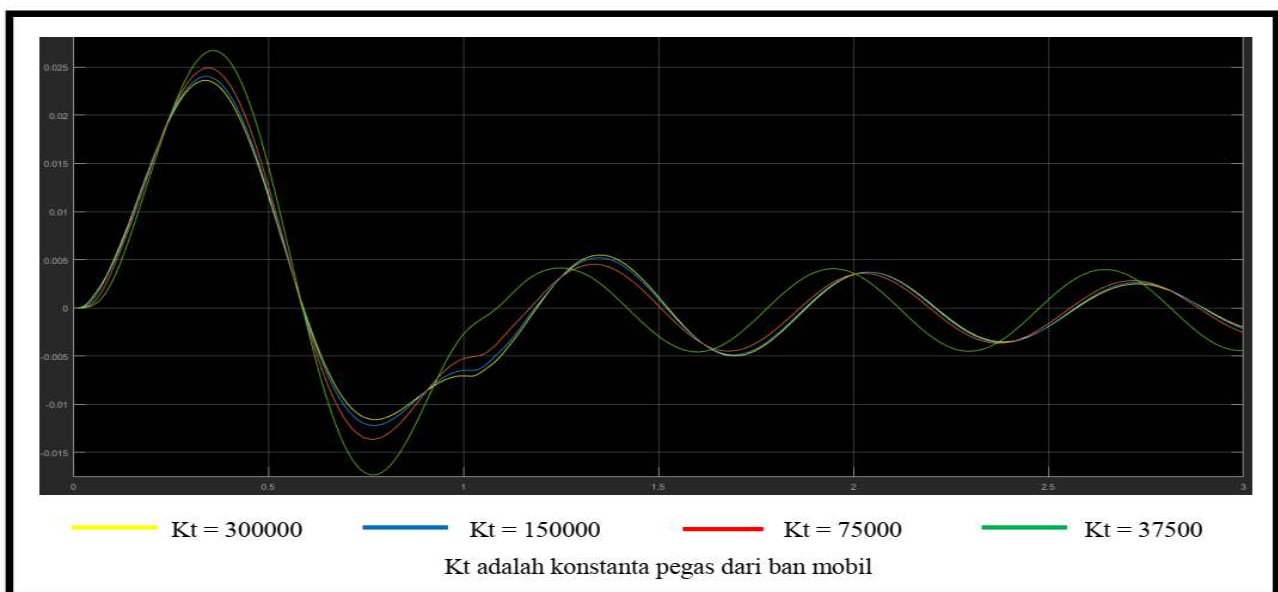
Gambar 6. Hasil simulasi pengendalian dengan parameter sprungmass berubah

Gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan hasil pengendalian suspensi aktif quarter-car yang dikendalikan dengan pengendali PID dan nilai dari parameternya diubah.

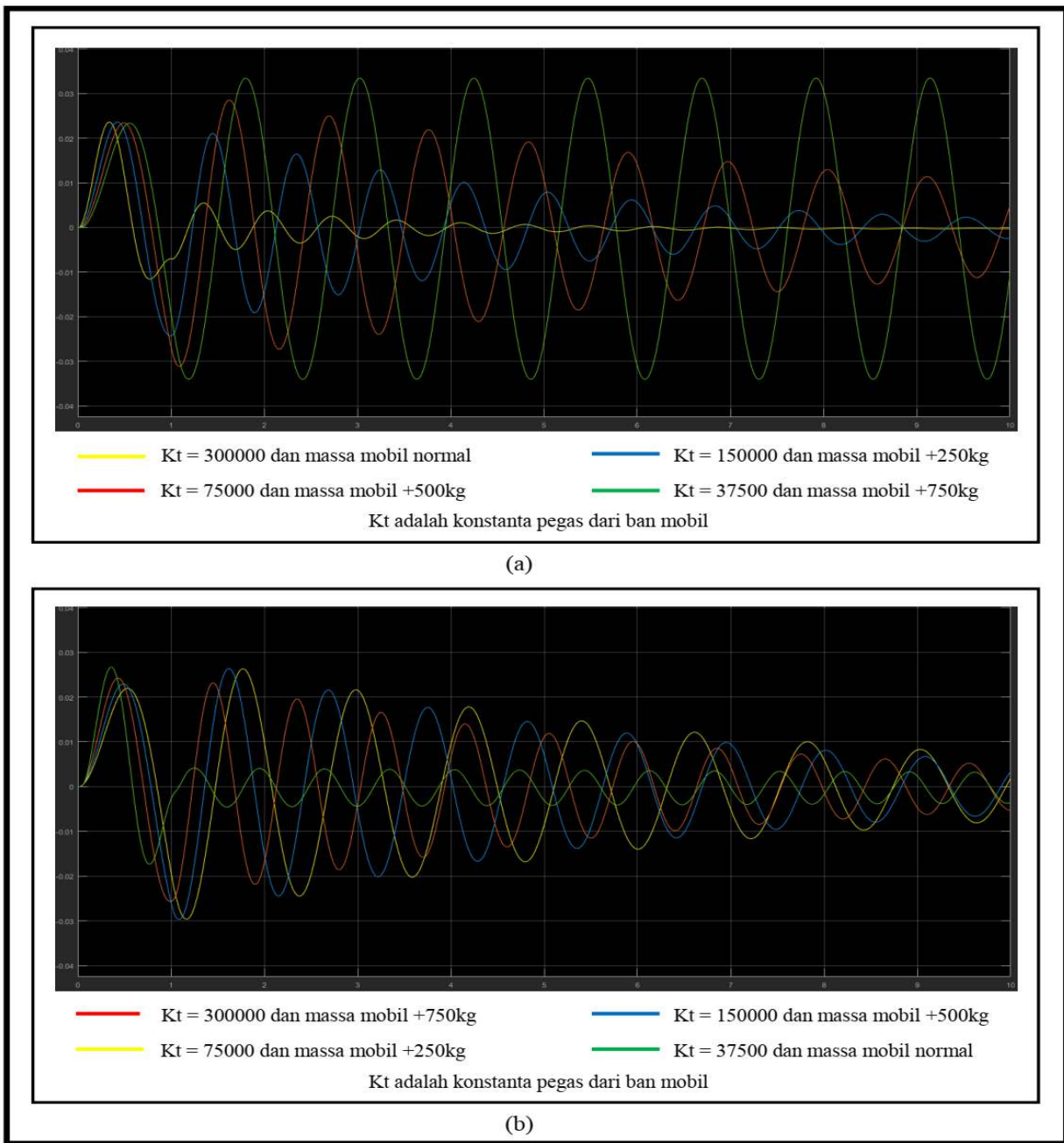
Parameter yang diubah pada gambar 6 adalah parameter massa dari mobil (sprungmass), dibandingkan antara massa normal, massa ditambahkan 250kg, massa ditambahkan 500kg dan massa ditambahkan 750kg. Pada massa yang bertambah 250kg, menunjukkan perubahan maksimal tinggi badan mobil sebesar 2,3cm, sedangkan pada massa yang bertambah 500kg perubahan maksimal tinggi badan mobil adalah sebesar 2,5cm dan pada massa yang bertambah 750kg, perubahan maksimal tinggi badan mobil adalah sebesar 2,65cm. Hasil pengendalian dengan parameter massa berubah menunjukkan bahwa sistem pengendali mampu mengendalikan suspensi dengan meredam gangguan permukaan jalan yaitu menghasilkan pergerakan

badan mobil sebesar 2,65cm tetapi dengan semakin bertambahnya massa maka waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan tunak (steady state) semakin panjang.

Parameter yang diubah pada gambar 7 adalah parameter konstanta pegas ban mobil yang berubah disebabkan oleh tekanan udara pada ban mobil. Parameter konstanta pegas ban mobil dibandingkan dengan nilai masing masing nilai normal 300000, nilai konstanta berkurang 50%, nilai konstanta berkurang 75% dan nilai konstanta berkurang 87,5%. Hasil dari konstanta normal, berkurang 50% ($K_t = 150000$) dan berkurang 75% ($K_t = 75000$) hampir sama (berbeda 0,2cm) dan tidak terlalu mempengaruhi keluaran sistem, sedangkan pada konstanta berkurang 87,5% ($K_t = 37500$) hasil simulasi menunjukkan adanya perubahan setinggi 0,5cm dan juga perubahan pada waktu untuk mencapai keadaan tunak.



Gambar 7. Hasil simulasi pengendalian dengan parameter konstanta pegas ban mobil berubah



Gambar 8. Hasil simulasi dengan parameter konstanta pegas ban mobil dan sprungmass berubah

Gambar 8 (a) dan (b) menunjukkan hasil pengendalian dengan parameter massa mobil dan konstanta pegas ban mobil yang berubah. Sistem pengendali mampu mengendalikan suspensi aktif dengan parameter yang berubah tetapi overshoot menjadi besar seiring besarnya perubahan dari parameter dan waktu untuk mencapai keadaan tunak (steady state) semakin panjang.

Gambar 8 (a) pada kondisi perubahan pertama massa bertambah 250kg dan $K_t = 150000$ overshoot maksimal adalah sebesar 2,35cm dan settling time bertambah dibandingkan dengan kondisi normal. Pada kondisi perubahan kedua massa bertambah 500kg dan $K_t = 75000$, overshoot maksimal adalah sebesar 2,85cm dan settling time bertambah dibandingkan kondisi normal dan kondisi perubahan pertama. Pada kondisi

perubahan ketiga massa bertambah 750kg dan $K_t = 37500$, overshoot maksimal adalah sebesar 3,3cm namun terus terjadi osilasi. Kondisi pada perubahan ketiga inilah kondisi yang harus dihindari untuk terjadi pada mobil.

Gambar 8 (b) pada kondisi perubahan pertama massa bertambah 500kg dan $K_t = 150000$ dapat terlihat bahwa overshoot maksimal sebesar 2,6cm dan settling time lebih lama dibandingkan dengan kondisi normal. Pada kondisi perubahan kedua massa bertambah 250kg dan $K_t = 75000$, overshoot maksimal sebesar 2,6cm dan settling time lebih panjang dibandingkan kondisi normal dan perubahan pertama pada gambar 8 (b).

Berdasarkan hasil pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perubahan parameter

pada plant suspensi, maka hasil pengendalian dengan PID controller akan berbeda dibandingkan dengan kondisi normal atau parameter tetap.

Sistem pengendali PID yang digunakan untuk mengendalikan suspensi aktif quarter-car dapat menekan gangguan perubahan jalan berupa gundukan setinggi 20cm dan hanya menyebabkan badan mobil mengalami getaran yang tingginya maksimal 2,7cm atau dapat dikatakan bahwa suspensi dapat menekan amplitudo gangguan perubahan jalan lebih dari 85%.

Sistem pengendali PID yang nilai konstantanya adalah tetap tidak dapat menyesuaikan dengan perubahan yang dialami oleh plant suspensi aktif. Hal ini dapat menyebabkan PID controller performansinya tidak akan efektif lagi suatu saat nanti yaitu pada saat terjadi perubahan parameter plant yang besar dalam nilainya baik itu massa mobil, konstanta pegas ban mobil seperti terlihat pada kondisi ketiga di gambar 8 (a).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada pengendalian suspensi aktif quarter-car menggunakan PID controller dengan parameter beban dan tekanan ban yang berubah, sistem pengendali mampu mengendalikan suspensi aktif sehingga menekan gangguan permukaan jalan lebih dari 85%. Perubahan parameter pada plant suspensi aktif quarter-car yang dikendalikan oleh PID controller menyebabkan terjadinya perubahan output berupa nilai overshoot yang semakin besar sebanding dengan besar nilai perubahan parameter dan settling time semakin besar sebanding dengan besar nilai perubahan parameter.

Disarankan dalam pengendalian plant dengan parameter yang berubah dibutuhkan sistem kendali yang mampu untuk menyesuaikan dengan kondisi plant sehingga performansi yang dihasilkan oleh sistem pengendali tetap mampu mengendalikan plant suspensi aktif.

V. KUTIPAN

- [1] S. Ikenaga, F. L. Lewis, J. Campos, and L. Davis, "Active suspension control of ground vehicle based on a full-vehicle model," in *Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No. 00CH36334)*, 2000, vol. 6, pp. 4019–4024 vol.6, doi: 10.1109/ACC.2000.876977.
- [2] P. C. Chen and A. C. Huang, "Adaptive sliding control of non-autonomous active suspension systems with time-varying loadings," *J. Sound Vib.*, vol. 282, no. 3–5, pp. 1119–1135, Apr. 2005, doi: 10.1016/J.JSV.2004.03.055.
- [3] J. Dižo, S. Steišunas, and M. Blatnický, "Vibration Analysis of a Coach with the Wheel-flat Due to Suspension Parameters Changes," *Procedia Eng.*, vol. 192, pp. 107–112, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.06.019.
- [4] M. Hamed, B. Tesfa, F. Gu, and A. D. Ball, "Effects of Tyre Pressure on Vehicle Suspension Performance," *Int. Lett. Chem. Phys. Astron.*, vol. 55, pp. 102–111, 2015, doi: 10.18052/www.scipress.com/ILCPA.55.102.

- [5] A. R. A. Ferdinandus, A. T. Nugraha, and J. Jamaaluddin, "Setting Neuro-Fuzzy PID Control in Plant Nonlinear Active Suspension," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1114, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1114/1/012063.
- [6] J. Zhang and L. Guo, "PID Control of Nonlinear Stochastic Systems with Structural Uncertainties**This work was supported by the National Natural Science Foundation of China under Grants 11688101. (Corresponding author: Lei Guo.)," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 2, pp. 2189–2194, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.002>.
- [7] C. S. Rao, S. Santosh, and D. R. V, "Tuning optimal PID controllers for open loop unstable first order plus time delay systems by minimizing ITAE criterion," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 1, pp. 123–128, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.06.021>.
- [8] I. Boussaada, D. Ma, J. Chen, C. Bonnet, S.-I. Niculescu, and J. Chen, "Insights on Pole-Placement of Dynamical Systems by PID Control with Guaranteed Delay Robustness," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 18, pp. 115–120, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.11.125>.
- [9] Y. Li and D. Ma, "Robust PID Control of Second-Order Uncertain Nonlinear System with Time-Varying Delay: An Input-Output Approach**This work was supported by NSFC under Grant 61973060.,," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 18, pp. 70–75, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.11.118>.
- [10] P. V Kosenkov and G. M. Makaryants, "Control Algorithm Design of the Active Pneumatic Vibration Isolator," *Procedia Eng.*, vol. 176, pp. 653–660, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.309>.



Aprildy Randy Andrew Ferdinandus lahir di Manado pada tanggal 11 April 1987. Penulis mendapatkan gelar Magister Teknik saat menempuh studi strata-2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia pada tahun 2012. Bidang yang digeluti oleh penulis adalah bidang Teknik Kendali dan Artificial Intelligence.

Penulis adalah dosen pada Fakultas Teknik Universitas Sariputra Indonesia Tomohon. Dalam penelitiannya penulis sering meneliti tentang metode sistem kendali dengan memanfaatkan kecerdasan buatan.