

Analisa Kinerja Stabilitas Arah Kendaraan Dengan Menambahkan Kontrol Proporsi Gaya Pengereman

I Ketut Adi Atmika^{a,1}, IGAK Suriadi^b, I Nyoman Budiarsa^a

^{a,c} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, Bali, 80361

^b Program Studi Teknik Industri, Universitas Udayana, Bali, 80361

¹tutadi@unud.ac.id

ABSTRACT

The performance of vehicle directional stability on both straight and curved roads is one of the crucial aspects considered in designing automotive products. An anti-lock braking system, better known as the Antilock Breaking System (ABS), has been developed on straight roads. However, on curved roads, the performance of this standard ABS could be better to overcome oversteer or understeer vehicle conditions. The less-than-optimal vehicle directional stability is caused by the magnitude of the braking force of each wheel being the same. In contrast, in curved conditions, each wheel's braking force requirements differ. One strategy to overcome this weakness is to control the proportion of braking force on each wheel. The study was conducted by translating the physical model of the system into a mathematical model, then simulated with a computer program. The braking force proportion control system model and the vehicle model were made completely and then integrated into the vehicle directional stability performance plant/system. The simulation results show that at a relatively high speed of 80 km/h, the braking system with braking force proportion controls the vehicle's directional stability is still quite good, while with standard ABS at speeds above 60 km/h, the vehicle condition tends to oversteer (difficult to control).

Keywords: Antilock Breaking System (ABS), standard ABS, braking force proportion, oversteer, under-steer

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590651

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif mengakibatkan masyarakat semakin selektif dalam memilih kendaraan untuk memenuhi kebutuhannya. Kemudian para produsen secara terus menerus berusaha untuk meningkatkan kualitas produknya agar dapat memenuhi keinginan konsumen dan bersaing dipasaran. Seperti yang dapat kita lihat saat ini, banyak kendaraan baru yang ditawarkan dengan berbagai keunggulan yang dimiliki oleh masing-masing jenis kendaraan. Kenyamanan dan kestabilan arah kendaraan ketika berbelok menjadi salah satu aspek penting dalam menentukan daya saing suatu produk otomotif. Performa tersebut tentunya harus dirancang secara iteratif untuk mendapatkan suatu produk otomotif yang berkualitas. Pada kondisi pengereman di jalan lurus telah dikembangkan suatu sistem pengereman anti-lock brake atau yang lebih dikenal dengan nama Antilock Breaking System (ABS). Namun pada kondisi jalan berbelok, kinerja ABS standar kurang optimal untuk mengatasi kondisi kendaraan oversteer maupun understeer [1], hal ini dikarenakan proporsi gaya pengereman pada masing-masing roda masih sama sedangkan pada kondisi

berbelok membutuhkan proporsi gaya pengereman yang berbeda-beda pada masing-masing roda.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terkait sistem pengereman dan kontrol traksi, namun belum terfokus pada besarnya proporsi gaya pengereman pada masing-masing roda. Sistem pengereman semi-lock mekanik-hidrolik dengan kombinasi *load sensing proportional valve* dan membran dapat meningkatkan kemampuan belok kendaraan dan stabilitas arah kendaraan [2], [3]. Sistem ini dapat memberikan efek *Anti-Breaking System (ABS)* yang baik dengan rata-rata *slip* pada roda saat pengereman sebesar 33% yang memastikan roda tidak terkunci saat pengereman. Jarak pengereman dapat dikurangi antara 6-10% dan stabilitas arah kendaraan dapat sedikit ditingkatkan [4]. Kontrol spin atau traksi ban dengan *engine throttle by-pass* pada mesin bensin dapat meningkatkan stabilitas arah kendaraan [5], [6], [7].

Konsep pengendalian stabilitas kendaraan dengan pengaturan gaya pada masing-masing roda dan torsi roda penggerak dilakukan dengan menambahkan sensor *yaw*, sensor putaran roda, sensor sudut kemudi, dan sensor *throttle*. Stabilitas dikontrol dengan memberikan torsi yang sesuai pada roda penggerak [7]. Studi lain yang mengungkap konsep

pengendalian stabilitas kendaraan dengan memanfaatkan parameter *yawrate* dan sudut *side slip* sebagai parameter pengendali, menunjukkan bahwa selain *yawrate*, sudut *side slip* juga merupakan parameter pengendali penting dalam mengendalikan stabilitas arah kendaraan [8], [9].

Ahmadian et.all, 2020, telah mengembangkan konsep pengendalian stabilitas arah kendaraan secara terintegrasi dengan *Direct Yaw Moment Control (DYC)* dan sudut belok roda depan dan belakang sebagai parameter pengendali. [10]. Sistem Kemudi Empat Roda telah dimanfaatkan untuk meningkatkan stabilitas dan diintegrasikan dengan parameter lain [11], sudut kemudi sebagai input dan sudut *side slip* serta *yaw rate* sebagai parameter pengendali dengan secara aktif mengendalikan sudut kemudi depan dan belakang [12].

Bera et.all, 2011, merancang komponen elastis untuk meningkatkan kinerja pengereman ABS dan meningkatkan stabilitas arah kendaraan [13]. Studi ini menunjukkan peningkatan stabilitas kendaraan dengan membandingkan perilaku kendaraan dengan dan tanpa ABS. Sistem ABS menggunakan *active fault* toleransi dan multi kontrol parameter yaitu persentase (%) *wheel slip*, *understeer index*, dan *yaw control index* dalam upaya meningkatkan kinerja pengereman dan stabilitas kendaraan. [14], [15].

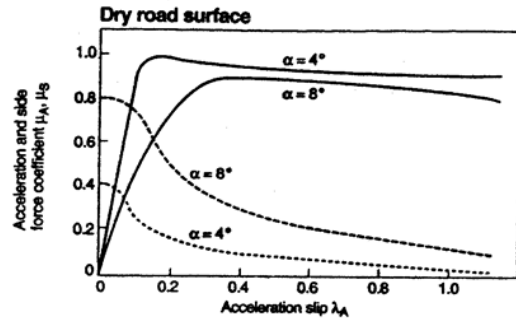
Dalam artikel ini dibahas mengenai Sedan Mazda 3 khas Indonesia dengan mengekstrak parameter respon dinamik menggunakan metode analisis pada MATLAB dan Simulink [16]. Sistem pengereman ditambahkan untuk mengatur proporsi gaya pengereman pada masing-masing roda yang selanjutnya disebut *ABS plus*. Respon dinamik meliputi *yawrate ackerman* dan *yawrate actual* [17], [12].

METODOLOGI

▪ Pengaturan Rasio Slip Untuk Kontrol Pengereman

Gaya gesek disebabkan oleh adanya *slip* yang terjadi antara roda dengan permukaan jalan, yang pada saat pengereman akan mengakibatkan terjadinya slip pada roda yang besarnya mengikuti persamaan (1) dan ilustrasi *slip*nya seperti pada Gambar 1 [18].

$$\lambda = \frac{(r \cdot \omega - V)}{V} \quad (1)$$



Gambar 1. Pengaruh *slip* terhadap koefisien adhesi

Respon Arah Kendaraan

Respon atau perilaku arah kendaraan saat melakukan pengereman pada berbagai kondisi jalan menggambarkan kestabilan arah kendaraan, dimana pergerakan kendaraan pada kondisi jalan berbelok merupakan kondisi yang paling kritis. Oleh karena itu, *yawing* menjadi parameter yang penting untuk ditinjau. Respon arah kendaraan yang berbelok direpresentasikan sebagai *yawrate* aktual yang ditangkap oleh sensor dan dikoreksi jika terjadi penyimpangan. Penyimpangan ini menyebabkan kendaraan mengalami *understeer* atau *oversteer*. Pengaturan momen *yaw* akibat *understeer* atau *oversteer* dilakukan dengan cara mengatur proporsi *slip* antara roda kanan dan kiri. Penguatan input set *yawrate* untuk sistem kemudi 2 roda (2WS) digunakan standar *Ackerman* persamaan 2, sedangkan penguatan *yawrate* aktual yang terjadi dipengaruhi oleh sudut slip persamaan 3 dan 4 [19].

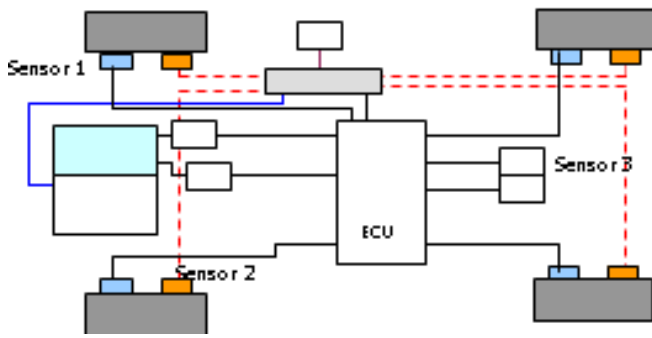
$$\omega_a = \frac{V \cdot \delta_f}{57,29 \cdot (L_1 + L_2)} \quad (2)$$

$$\omega_{act} = \frac{V \cdot (\delta_f + \alpha_f - \alpha_r)}{57,29 \cdot (L_1 + L_2)} \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx_i}}{C_{roi}} \left[0,087935(F_{yi})^{0,79008} - 0,005277(F_{zi}) \right] \quad (4)$$

Pemodelan dan Simulasi

Sistem kendali pengereman termasuk dalam *link system* kendali kendaraan yang sebagian akan dibahas, ditunjukkan pada gambar 2. Sistem kendaraan memiliki sensor sudut kemudi (sensor 1), sensor kecepatan kendaraan (sensor 2), sensor *yawing* dan sensor gaya sentrifugal (sensor 3) yang dipasang untuk mendapatkan respon yang terkait dengan perilaku arah kendaraan.



Gambar 2. Skema tata letak kontrol pengereman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Dinamik Kendaraan

1. Parameter masukan dan keluaran

Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak *Simulink* Matlab, dan dalam pembuatan skema blok *simulink* ada beberapa hal yang harus diperhatikan, parameter yang diambil adalah yang paling penting atau pengaruhnya cukup signifikan terhadap respon. Data masukan yang dimasukkan diusahakan mendekati keadaan sebenarnya sehingga tidak terjadi respon yang *singular*. Parameter *input* yang dipilih untuk memasukkan data antara lain; persentase sudut *side slip*, kecepatan kendaraan, sudut kemudi, jarak sumbu roda dan berat kendaraan. Kemudian parameter kondisi operasional, antara lain; kemiringan jalan, posisi pusat gravitasi kendaraan, dan gaya angin. Sedangkan parameter *output* yang dipilih adalah

respon kendaraan yang direpresentasikan sebagai laju *yaw* aktual.

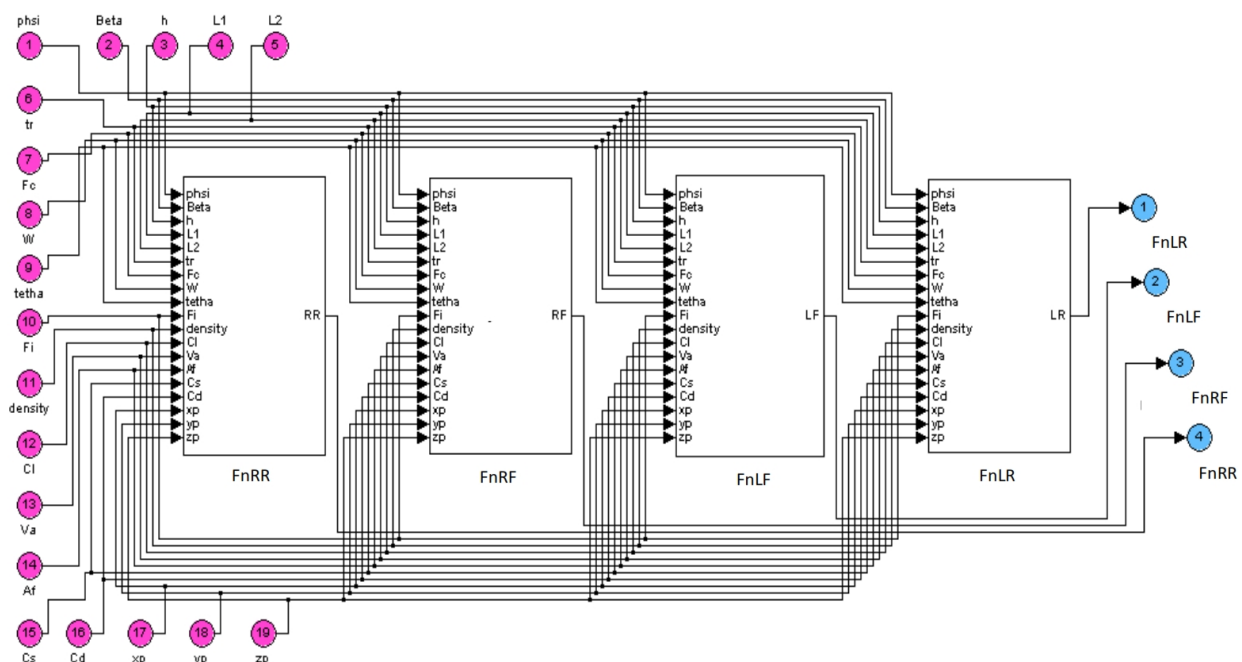
2. Model dan analisis Simulink

Rangkaian skema blok simulasi disusun dengan struktur bertingkat.

- Blok pengolah gaya normal, yang terdiri dari sub blok gaya normal belakang kiri, sub blok gaya normal depan kiri, sub blok gaya normal depan kanan, dan sub blok gaya normal belakang kanan.
- Blok pengolah kontrol rem.
- Blok input *signal processing* yang berfungsi untuk memunculkan karakteristik Ackerman.
- Blok utama merupakan blok yang mengendalikan momen *yawing* sesuai dengan besarnya momen respon, momen akibat kondisi operasional jalan, dan momen *Ackerman* sehingga *yawrate* respon mendekati *yawrate Ackerman*.
- Blok memori berisi kurva medan, yaitu; empat kurva hubungan persen *slip* terhadap sumbu lateral dan empat kurva hubungan persen *slip* terhadap sumbu longitudinal.

Gambar 3, 4, dan 5 masing-masing merupakan blok pengolahan gaya normal, blok pengendali proporsi gaya pengereman, dan blok utama yang telah diintegrasikan dengan plant kinerja perilaku arah kendaraan.

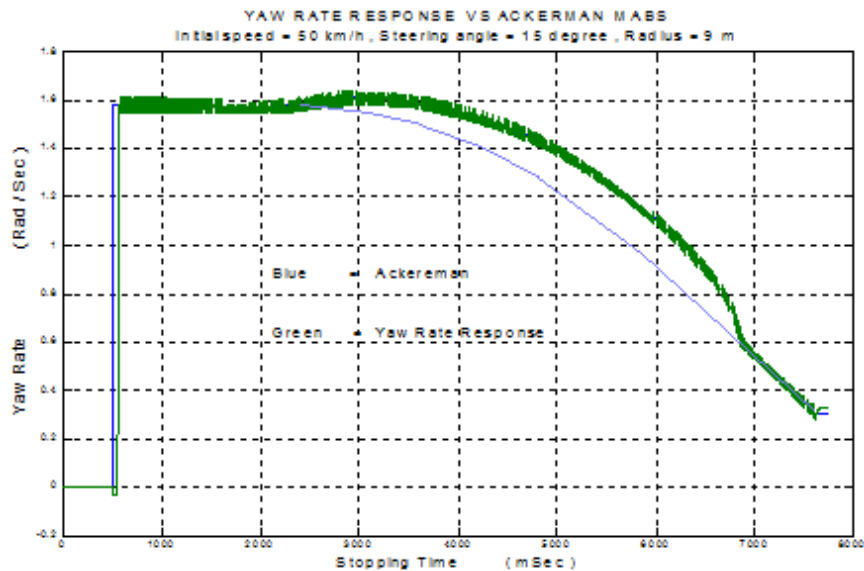
Parameters of four Normal Force



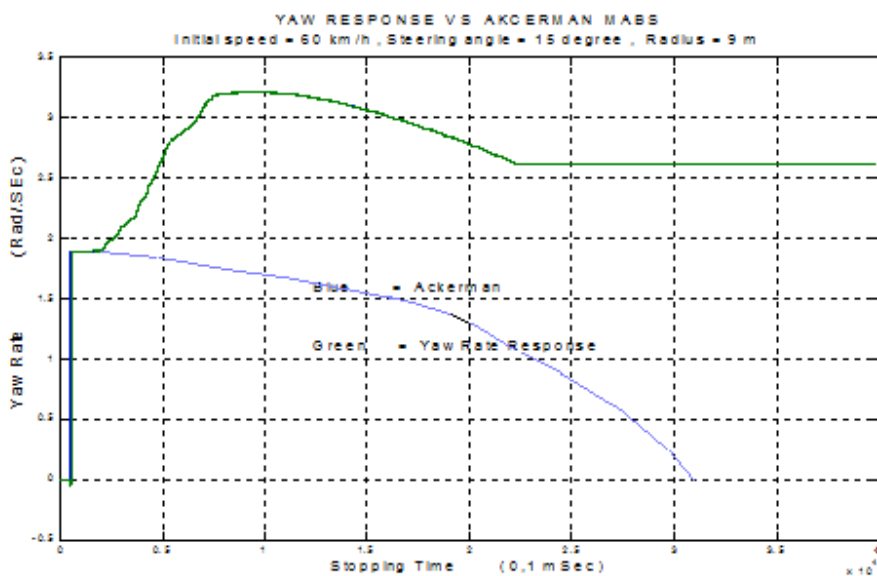
Gambar 3. Blok Pemrosesan Gaya Normal

Simulasi dilakukan pada persen slip (λ) = 0,2, di mana diharapkan slip akan sekecil mungkin tetapi tetap dengan koefisien gesek longitudinal yang besar dan koefisien lateral yang besar (Gambar 1). Kecepatan kendaraan yang diambil adalah 50 km/jam dan 60 km/jam untuk ABS standar, sedangkan untuk ABS dengan kontrol proporsi gaya pengereman

(ABS plus) diambil pada kecepatan 60 km/jam dan 80 km/jam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Ditunjukkan pula karakteristik kecepatan roda terhadap kecepatan kendaraan, untuk ABS standar dan ABS plus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

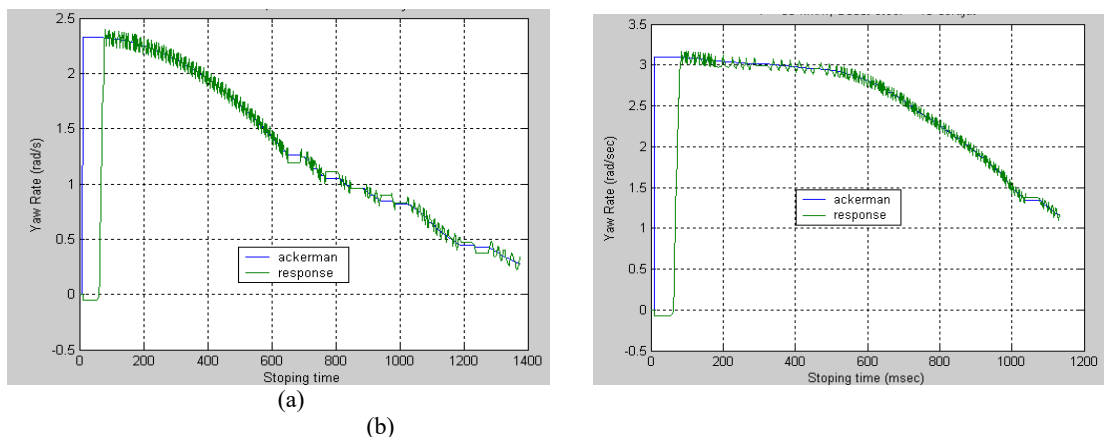


(a)

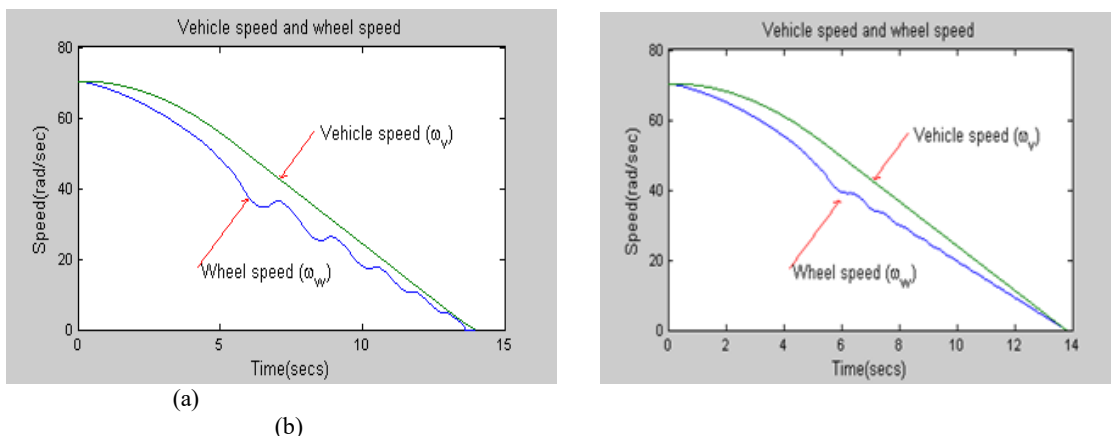


(b)

Gambar 6. Respon ABS Standard; (a) speed 50 km/h, (b) speed 60 km/h



Gambar 7. Respon ABS plus; (a) speed of 60 km/h, (b) speed of 80 km/h



Gambar 8. Karakteristik *Wheel speed*; (a) ABS standard, (b) ABS plus

Kondisi pengereman pada jalan belok kinerja stabilitas arah kendaraan dengan ABS standard hasilnya masih cukup baik, pada kecepatan 60 km/jam respon *yawrate* masih dapat mendekati *yawrate Ackerman*, namun pada kecepatan 80 km/jam kondisi kendaraan cenderung *oversteer* (susah dikendalikan). Kemudian karakteristik kecepatan roda dengan kecepatan kendaraan hasilnya masih sangat baik. Sementara itu respon kendaraan dengan pengaturan proporsi gaya pengereman (ABS plus), sampai dengan kecepatan cukup tinggi (80 km/jam) masih cukup baik, terlihat respon *yawrate* masih mendekati *yawrate Ackerman*. Begitu pula karakteristik kecepatan roda dengan kecepatan kendaraan, juga tampak lebih halus.

KESIMPULAN

Pengereman pada kondisi jalan belok, kinerja perilaku arah kendaraan dapat ditingkatkan dengan mengatur proporsi gaya pengereman pada masing-masing roda. Pada kecepatan cukup tinggi (80 km/jam), sistem pengereman dengan pengaturan proporsi gaya pengereman, perilaku arah kendaraan masih cukup baik, sedangkan ABS standar pada ke-

cepatan 60 km/jam, kondisi kendaraan cenderung *oversteer* (susah dikendalikan). Karakteristik kecepatan roda terhadap kecepatan kendaraan pada sistem pengereman dengan pengaturan proporsi gaya pengereman lebih halus dibandingkan dengan ABS standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Pacejka, *Tire and vehicle dynamics*. Elsevier, 2005.
- [2] A. Goodarzi, M. Behmadi, and E. Esmailzadeh, "Optimized braking force distribution during a braking-in-turn maneuver for articulated vehicles," in *2010 International Conference on Mechanical and Electrical Technology*, 2010, pp. 555–559.
- [3] S. A. A. Albatlan, "Investigation Of Parameters Affecting Hydraulic Brake Sensing Valve Performance." UDC, 2013.
- [4] M. Cheng, J. Zhang, B. Xu, and R. Ding, "An Electrohydraulic Load Sensing System based

- on flow/pressure switched control for mobile machinery,” *Isa Trans.*, vol. 96, pp. 367–375, 2020.
- [5] F. Wang, H. Chen, K. Guo, and D. Cao, “A novel integrated approach for path following and directional stability control of road vehicles after a tire blow-out,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 93, pp. 431–444, 2017.
- [6] P. Banerjee, “Advanced Torque Control Strategy for the Maha Hydraulic Hybrid Passenger Vehicle.” Purdue University, 2018.
- [7] L. Chen, Z. Li, J. Yang, and Y. Song, “Lateral Stability Control of Four-Wheel-Drive Electric Vehicle Based on Coordinated Control of Torque Distribution and ESP Differential Braking,” in *Actuators*, 2021, vol. 10, no. 6, p. 135.
- [8] B. Li, H. Du, W. Li, and Y. Zhang, “Side-slip angle estimation based lateral dynamics control for omni-directional vehicles with optimal steering angle and traction/brake torque distribution,” *Mechatronics*, vol. 30, pp. 348–362, 2015.
- [9] A. Hac and M. D. Simpson, “Estimation of vehicle side slip angle and yaw rate,” *SAE Trans.*, pp. 1032–1038, 2000.
- [10] N. Ahmadian, A. Khosravi, and P. Sarhadi, “Integrated model reference adaptive control to coordinate active front steering and direct yaw moment control,” *ISA Trans.*, vol. 106, pp. 85–96, 2020.
- [11] C. I. Chatzikomis and K. N. Spentzas, “Comparison of a vehicle equipped with Electronic Stability Control (ESC) to a vehicle with Four Wheel Steering (4WS),” *Forsch. im Ingenieurwes.*, vol. 78, no. 1, pp. 13–25, 2014.
- [12] R. Paramhans and S. Palanivelu, “Yaw Stability Analysis of a Tractor Semitrailer Using Yaw Plane Model,” *Int. J. Veh. Struct. Syst.*, vol. 14, no. 2, 2022.
- [13] T. K. Bera, K. Bhattacharya, and A. K. Samantaray, “Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 19, no. 10, pp. 2131–2150, 2011.
- [14] O. Sename, J.-C. Tudon-Martinez, and S. Fergani, “LPV methods for fault-tolerant vehicle dynamic control,” in *2013 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (Sys-Tol)*, 2013, pp. 116–130.
- [15] K. Han, G. Park, G. S. Sankar, K. Nam, and S. B. Choi, “Model predictive control framework for improving vehicle cornering performance using handling characteristics,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 22, no. 5, pp. 3014–3024, 2020.
- [16] S. Palli, A. Duppala, R. C. Sharma, and L. V. V Rao, “Dynamic Simulation of Automotive Vehicle Suspension Using MATLAB Simulink,” *Int. J. Veh. Struct. Syst.*, vol. 14, no. 3, 2022.
- [17] M. Zamzamzadeh, A. A. Saifizul, R. Ramli, and M. F. Soong, “Dynamic simulation of brake pedal force effect on heavy vehicle braking distance under wet road conditions,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 3, 2016.
- [18] S. Saravanakumar, S. Selvarasu, T. Babu, R. Kamaleshkumar, and V. Dineshkumar, “Analysis on Ackermann Error of Steering System using Variable Length Tie-Rod mechanism,” *Int. J. Veh. Struct. Syst.*, vol. 14, no. 3, 2022.
- [19] J. Y. Wong, *Theory of ground vehicles*. John Wiley & Sons, 2022.
- [20] I. N. Sutantra and B. Sampurno, “Teknologi otomotif,” *Surabaya Guna Widya*, 2010.