

Kendali Jelajah Adaptif Berbasis Logika Fuzzy

Noor Cholis Basjaruddin^{a,b}, Kuspriyanto^b, Didin Saefudin^a,
Edi Rakhman^a, Ilham Khrisna Nugraha^a

^aJurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : noorcholis@polban.ac.id

^bSekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132
E-mail : noorcholis@students.itb.ac.id

ABSTRAK

Situasi monoton dan kecepatan kendaraan yang tinggi akan meningkatkan resiko terjadinya kecelakaan di jalan bebas hambatan. Sebuah perangkat dibutuhkan untuk membantu pengemudi dalam mengatur kecepatan kendaraan selama melaju di jalan bebas hambatan. Perangkat tersebut dikenal sebagai Kendali Jelajah Adaptif (*Adaptive Cruise Control, ACC*). ACC adalah bagian dari *Advanced Driver Assistance Systems (ADASs)* yang berguna untuk membantu pengemudi selama perjalanan jelajah dengan cara mengatur kecepatan kendaraan agar jarak aman (*safe distance*) dengan kendaraan di depannya terjaga. Paper ini membahas pengembangan algoritma ACC berbasis logika fuzzy. Metoda inferensi yang digunakan dalam algoritma ACC adalah metoda Mamdani. Uji coba yang dilakukan dengan menggunakan mobil *remote control* menunjukkan bahwa algoritma ACC berbasis logika fuzzy dapat bekerja sesuai rancangan

Kata Kunci : *adaptive cruise control, advanced driver assistance system, safe distance, logika fuzzy*

PENDAHULUAN

Pada jalan bebas hambatan kendaraan dapat melaju dengan kecepatan yang relatif tetap. Sebuah alat telah dikembangkan untuk membantu pengemudi dalam mempertahankan kecepatan agar tetap. Alat tersebut dikenal sebagai *cruise control system (CCS)* atau *speed control system* [[HYPERLINK \l "Wie02" 1](#)]. Alat ini dapat mengurangi kelelahan pengemudi dalam mengatur kecepatan kendaraan selama perjalanan panjang/jelajah (*cruise*).

Cruise control bekerja dengan menggunakan prinsip sistem kendali otomatis pada pengaturan posisi *throttle* [[HYPERLINK \l "Cru" 3](#)]. Pengemudi perlu memijit tombol ketika akan mengaktifkan *cruise control* pada kecepatan tertentu.

Ketika CCS diaktifkan maka secara otomatis kendaraan akan melaju pada kecepatan sesuai yang diinginkan tanpa pengemudi perlu menekan pedal gas.

Kelemahan alat ini adalah tidak bisa secara otomatis mengurangi kecepatan ketika situasi berbahaya seperti kendaraan di depannya tiba-tiba melambat atau berhenti.

Adaptive Cruise Control (ACC) adalah perangkat yang merupakan gabungan dari *cruise control* dan sistem penghindar tabrakan [4]. ACC dikenal dengan beberapa nama lain seperti *Active Cruise Control (BMW)*,

Distronic ACC (Mercedes), dan *Intelligent CruiseControl (Nissan)*.

Salah satu penyebab utama kecelakaan lalu lintas di jalan bebas hambatan adalah karena terlalu dekatnya jarak kendaraan dengan kendaraan lain di depannya [[HYPERLINK \l "Tra14" 5](#)]. Jenis kecelakaan karena terlalu dekatnya jarak tersebut dikenal sebagai *following too closely* atau *Assured Clear Distance Ahead (ACDA)*.

Penyempurnaan CCS menjadi ACC diharapkan dapat mengurangi kelemahan CCS terutama saat kendaraan pada situasi terlalu dekat dengan kendaraan di depannya (*following too closely*). Selain mempertahankan kecepatan, ACC juga dirancang untuk mencegah tabrakan depan belakang (*rear-end collision*) yang disebabkan karena *following too closely*. Pada kondisi *following too closely* jarak antar kendaraan lebih kecil dibanding jarak aman (*safe distance*). Kondisi ini menyebabkan pengemudi dapat gagal mengendalikan kendaraan untuk menghindari tabrakan ketika kendaraan di depannya melambat atau berhenti secara tiba-tiba. Pengaturan kecepatan dan jarak kendaraan yang dilakukan ACC pada akhirnya dapat meningkatkan kenyamanan pengemudi. Pengemudi tidak harus terganggu dengan mengatur kecepatan dan jarak kendaraan pada situasi monoton di jalan bebas hambatan.

Algoritma dan sensor yang digunakan pada ACC adalah dua hal yang menjadi perhatian bagi peneliti ACC. Keduanya berperan penting bagi terwujudnya ACC

yang handal. Penelitian yang berusaha mengembangkan algoritma antara lain dilakukan oleh 7}}, [[HYPERLINK \l "GJL10" 8](#)], dan 9}}. Sedangkan penelitian yang berusaha mengembangkan pada bagian sensor dilakukan oleh [[HYPERLINK \l "Abo03" 10](#)], 11}}, dan [[HYPERLINK \l "Joe05" 12](#)].

Beberapa kendaraan yang telah dilengkapi dengan ACC antara lain BMW seri 5 dan 6, Audi A8 dan Lexus LS 430. Sensor yang umum digunakan pada ACC yang saat ini terpasang pada kendaraan tersebut adalah sensor radar dan lidar 6}}.

Selain telah dipasang di berbagai kendaraan, ACC juga digunakan untuk mewujudkan kendaraan tanpa pengemudi (*driverless car*) yang direncanakan akan dipasarkan sekitar tahun 2020 oleh berbagai pabrikan mobil seperti BMW, Nissan, Toyota, Ford, dan Mercedes.

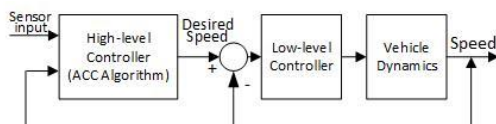
METODA PENELITIAN

Prinsip kerja ACC adalah pengendalian kecepatan kendaraan secara otomatis untuk mempertahankan jarak aman (*safe distance*) dari kendaraan di depannya. Oleh karena itu dibutuhkan sensor untuk mendeteksi jarak dan kecepatan kendaraan di depannya. Berdasarkan jarak dan kecepatan kendaraan di depannya ACC bekerja untuk mengendalikan kecepatan kendaraan.

Pada pembahasan berikut digunakan penamaan kendaraan ego (*ego vehilce, EV*) untuk menamai kendaraan yang dilengkapi ACC dan kendaraan di depan (*leading vehicle, LV*) untuk kendaraan yang melaju di depan EV pada lajur yang sama.

Sistem kendali pada ACC

Diagram blok umum ACC dapat dilihat pada Gambar 1[[HYPERLINK \l "Asher" 13](#)].



Gambar 1}: Diagram blok umum ACC

ACC menggunakan dua sistem kendali yaitu kendali tingkat rendah (*low level control*) dan kendali tingkat tinggi (*high level control*).

Kendali tingkat rendah

Kendali tingkat rendah berupa sistem kendali lingkaran tertutup dengan masukan dan keluaran berupa kecepatan. Kecepatan yang diinginkan merupakan hasil pengolahan dari kendali tingkat tinggi.

Sensor yang digunakan pada kendali tingkat rendah adalah sensor kecepatan yang ada pada kendaraan EV. Sedangkan aktuator yang digunakan adalah pedal rem dan pedal gas.

Bagian kendali tingkat rendah pada penelitian ini disederhanakan dengan sistem kendali kecepatan lingkaran terbuka berbasis *Pulse Width Modulation(PWM)*.

Kendali tingkat tinggi

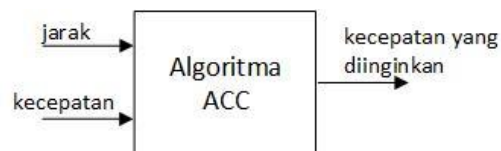
Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan kendali tingkat tinggi berupa algoritma ACC berbasis logika fuzzy.

Pada kendali tingkat tinggi terdapat dua konfigurasi umum yang digunakan seperti dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Pada kendali tingkat tinggi dengan satu masukan, kecepatan yang diinginkan yang akan dijadikan *set point* bagi kendali tingkat rendah merupakan hasil pengolahan dari jarak EV dan LV. Konfigurasi ini mempunyai kelemahan karena terjadi pengereman dan percepatan yang berlebihan. Konfigurasi kedua menggunakan dua masukan yaitu jarak dan kecepatan. Perubahan kecepatan yang biasa digunakan adalah kecepatan EV, kecepatan LV, atau kecepatan relatif antara EV dan LV. Pengukuran kecepatan LV dan kecepatan relatif EV dan LV membutuhkan sensor yang mampu mengukur kecepatan objek bergerak. Penghematan bisa dilakukan dengan cara melakukan perhitungan kecepatan dari informasi jarak EV dan LV.



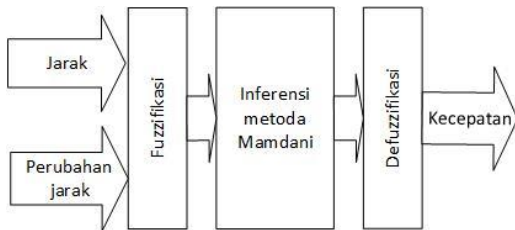
Gambar 2: Kendali tingkat tinggi ACC dengan satu masukan



Gambar 3: Kendali tingkat tinggi ACC dengan dua masukan

Algoritma ACC berbasis logika fuzzy

Diagram blok kendali tingkat tinggi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4[14] .



Gambar 4: Diagram blok kendali tingkat tinggi ACC berbasis logika fuzzy

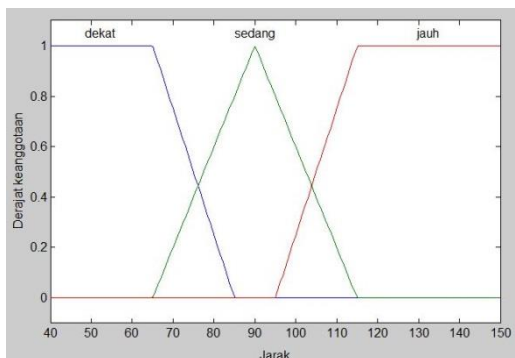
Masukan kendali logika fuzzy adalah jarak dan perubahan jarak antara EV dan LV yang didapat dari sensor. Kedua masukan diinferensi dengan metoda Mamdani setelah terlebih dahulu dilakukan fuzzifikasi. Keluaran bagian inferensi adalah nilai yang bersifat fuzzy sehingga untuk mendapatkan nilai kecepatan perlu dilakukan defuzzifikasi. Nilai kecepatan ini selanjutnya akan menjadi *set point* bagi sistem kendali tingkat rendah.

Fungsi Keanggotaan Masukan

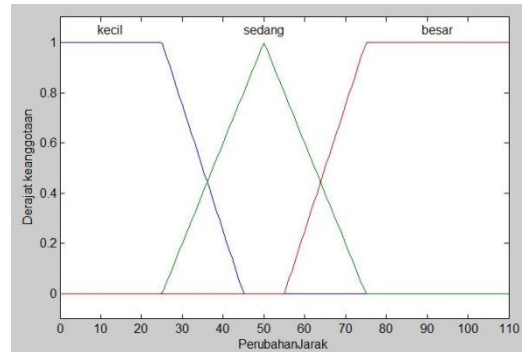
Fungsi keanggotaan masukan pada ACC adalah jarak dan perubahan jarak mobil EV dan LV. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan fungsi keanggotaan jarak dan perubahan jarak.

Fungsi Keanggotaan Keluaran

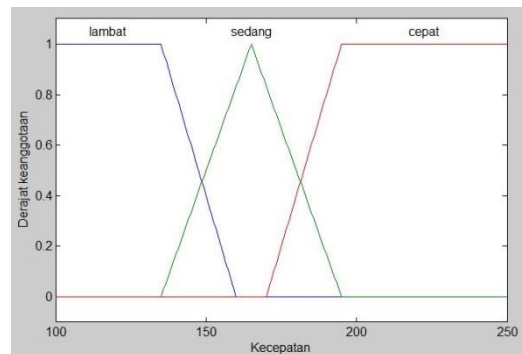
Gambar 7 menunjukkan fungsi keanggotaan keluaran berupa kecepatan lambat, sedang, dan cepat. Sebagai peubah keluaran adalah nilai PWM yang menunjukkan kecepatan yang diinginkan.



Gambar 5: Fungsi keanggotaan jarak



Gambar 6: Fungsi keanggotaan perubahan jarak



Gambar 7: Fungsi keanggotaan keluaran

Basis aturan

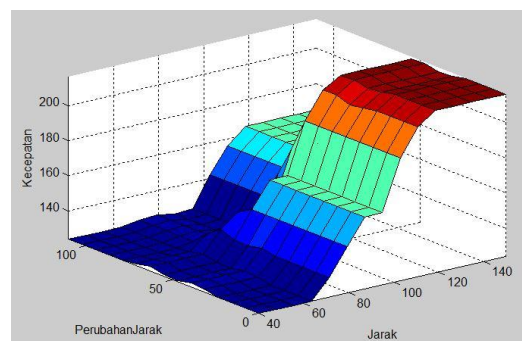
Basis aturan yang digunakan pada sistem kendali ACC dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Basis aturan

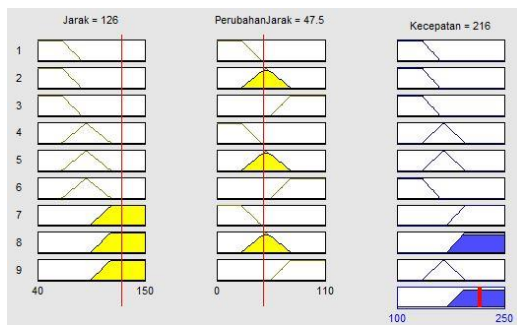
		Perubahan jarak		
		kecil	sedang	besar
Jarak	dekat	lambat	lambat	lambat
	sedang	sedang	sedang	lambat
	jauh	cepat	cepat	sedang

Simulasi

Hasil perancangan sistem kendali tingkat tinggi berupa hubungan masukan dan keluaran dapat dilihat pada Gambar 8. Sedangkan tampilan *rules* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8: Grafik hubungan masukan dan keluaran

Gambar 9: Tampilan *rules*

Simulasi perangkat keras

Simulasi perangkat keras dilakukan dengan menggunakan mobil *remote control* seperti diperlihatkan pada Gambar 10[14].

Gambar 10: Mobil *remote control*

Perbandingan mobil *remote control* dengan mobil nyata yang sejenis adalah 1:10.

Sensor

Pada simulasi perangkat keras dalam penelitian ini digunakan satu sensor ultrasonik yang dipasang pada bagian depan. Sensor tersebut digunakan EV untuk mengukur jarak mobil di depannya (LV).

Sistem mikrokontroler

Mobil *remote control* dikendalikan dengan menggunakan sistem mikrokontroler Arduino Uno R3 berbasis ATmega328. Sistem mikrokontroler ini memungkinkan dilengkapi dengan pustaka fungsi kendali logika fuzzy dengan metoda inferensi Min-Max Mamdani dan proses defuzzifikasi menggunakan *center of area*[15].

Kendali motor

Pengendalian motor utama mobil *remote control* dilakukan dengan menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Melalui PWM kecepatan mobil *remote control* dapat diatur sesuai keperluan.

Penyimpanan data percobaan

Data penting selama proses pengujian disimpan dalam memori *Secure Digital* (SD) *card*. Perangkat tambahan yang digunakan untuk proses penyimpanan adalah *Arduino SD card shield*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Algoritma ACC yang dikembangkan diuji dengan dua skenario berikut:

1. Di depan EV diberi objek bukan mobil yang diubah-ubah jaraknya
2. EV melaju dibelakang LV yang kecepatannya berubah-ubah

EV dan objek bukan mobil

Pengujian ini bertujuan untuk melihat tanggapan sistem ACC terhadap perubahan jarak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11: Data pengujian dengan objek bukan mobil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma ACC menanggapi dengan baik setiap perubahan jarak. Setiap terjadi perubahan jarak maka kecepatan mobil EV berubah, dengan cara demikian maka jarak aman antar mobil dapat dijaga dengan baik. Jika jarak terlalu dekat (lebih kecil dari jarak aman) maka kecepatan berkurang. Sebaliknya kecepatan EV bertambah jika jarak lebih besar dibanding jarak aman.

Pada pengujian ini jarak aman diset 40 cm, oleh karena itu jika jarak lebih kecil dari 40 cm maka kecepatan akan turun. Sebaliknya jika jarak lebih dari 40 cm, maka kecepatan akan naik.

EV melaju di belakang LV

Pada pengujian ini EV melaju dibelakang LV yang kecepatannya diubah-ubah secara otomatis melalui program. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12: Data pengujian dengan kecepatan LV berubah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak LV yang berubah-ubah karena kecepatannya berubah ditanggapi oleh EV dengan perubahan kecepatan. Jika jarak LV lebih jauh dibanding jarak aman, maka EV akan menambah kecepatan.

Pengujian juga memperlihatkan bahwa jarak aman yaitu 40 cm tetap terjaga selama simulasi dilaksanakan.

DISKUSI

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambah kecepatan mobil sebagai masukan algoritma ACC. Penambahan peubah masukan ini dapat meningkatkan tingkat keselamatan, kenyamanan, dan penghematan bahan bakar. Selain itu penambahan masukan tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan jarak aman yang berubah-ubah sesuai kecepatan. Penelitian ini dapat juga dikembangkan dengan menggunakan sensor dan wahana uji yang lain.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACC berbasis logika fuzzy dapat bekerja dengan baik. Penyempurnaan perlu dilakukan pada fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran agar didapat kinerja yang optimal. Selain itu perlu diperbaiki pada saat pengujian yaitu arah kendaraan agar mengikuti kendaraan di depannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Politeknik Negeri Bandung dan Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang membiayai penelitian ini dalam skema Penelitian Hibah Bersaing (PHB) Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Wieringa, *Design Methods for Reactive Systems: Yourdon, Statemate, and the UML*, 1st ed., Tim Cox, Ed. San Francisco, CA: Elsevier, 2003.
- [2] Karim Nice. (2014, September) HowStuffworks: How Cruise Control Systems Work. [Online]. <http://auto.howstuffworks.com/cruise-control.htm>
- [3] Karen Lie, "Cruise Control System in Vehicle," Calvin College,.
- [4] ir. H.M. Jagtman and drs E. Wiersma, "Driving with Adaptive Cruise Control in the Real World," in *16th ICTCT workshop, Delft University of Technology*, Delf.
- [5] _____. (2014, September) Traffic Safety Bulletin. [Online]. http://www.statepatrol.ohio.gov/doc/ACDA_2013.pdf
- [6] James W. Jenness, Neil D. Lerner, Steve Mazor, J. Scott Osberg, and Brain C.Tefft, "Use of Advanced In-Vehicle Technology By Young and Older Early Adopter: Survey Results on Adaptive Cruise Control Systems," USDOT/National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Final Report 2008.
- [7] Seungwuk Moon, Ilk iMoon, and KyongsuYi, "Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system," *Control Engineering Practice*, vol. 17, p. 442–455, 2009.
- [8] G.J.L. Naus, J.Ploeg, M.J.G.VandeMolengraft, W.P.M.H.Heemels, and M.Steinbuch, "Design and implementation of parameterized adaptive cruise control: An explicit model predictive control approach," *Control Engineering Practice*, vol. 18, p. 882–892, 2010.
- [9] Antonella Ferrara and Claudio Vecchio, "Cruise control with collision avoidance for cars via sliding modes," in *IEEE International Conference on Control Applications*, Munich, 2006, pp. 2808–2813.
- [10] Ramzi Abou-Jaoude, "ACC Radar Sensor] Technology, Test Requirements, and Test Solutions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, no. 3, pp. 115–121, September 2003.
- [11] Rainer Möbus, Mato Baotic, and Manfred Morari,] "Multi-Object Adaptive Cruise Control," in *DaimlerChrysler*, Denver, 2003.
- [12] Joerg Heerlein, Stefan Morgott, and Christian] Ferstl, "Laser diodes for sensing applications: adaptive cruise control and more," in *Photonics in the Automobile*, Geneva, 2005.

- [13 Ashish Gudhe. (September, 2014) Adaptive Cruise
] Control : Algorithms and System Issues. [Online].
[http://www.cse.iitb.ac.in/~erts/car/
documents/presentations/ashish-stage1.pdf](http://www.cse.iitb.ac.in/~erts/car/documents/presentations/ashish-stage1.pdf)
- [14 Ilham Khrisna Nugraha, "Simulasi Hardware
] Sistem Adaptive Cruise Control pada Mobil
Remote Control Berbasis Fuzzy Logic," Politeknik
Negeri Bandung, Bandung, Proyek Akhir 2014.
- [15 L. Msc.Marvin and AJ Alves. (2014, September)
] Github. [Online]. <https://github.com/zerokol/eFLL>
- [16 Tay Wilson and W. Besta, "Driving strategies in
] overtaking," *Accident Analysis & Prevention*, vol.
14, no. 3, p. 179–185, June 1982.