

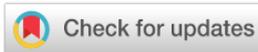
Purwarupa Radio *Beacon* sebagai Bagian dari Sistem *Intelligent Speed Assistance* untuk Manajemen Lalu Lintas

Radio Beacon Prototype as Part of Intelligent Speed Assistance System for Traffic Management

Randy Erfa Saputra*, Agus Virgono

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia.

*Corresponding author email: resaputra@telkomuniversity.ac.id



Kata Kunci:

pembatas kecepatan;
radio *beacon*; *handoff*

Abstrak

Kecelakaan lalu lintas mayoritas disebabkan karena pengemudi melebihi batas kecepatan aman. Penggunaan rambu batas kecepatan hanya akan membantu jika pengemudi patuh pada rambu yang terpasang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perancangan sebuah alat yang dapat memaksa pengemudi untuk patuh pada aturan batas kecepatan dapat menjadi sebuah solusi. Alat yang dimaksud terdiri atas tiga subsistem, yaitu pemancar dan penerima radio, pengolah informasi dan pengambil keputusan, serta kendali pembatas kecepatan kendaraan. Penelitian ini difokuskan pada perancangan purwarupa pemancar dan penerima radio menggunakan Arduino dan radio RS-232 pada frekuensi 433 MHz. Hasil penelitian menunjukkan purwarupa radio dapat diimplementasikan dengan daya jangkau radio antara 7 meter sampai dengan 10 meter untuk kondisi ada halangan, dan 10 meter sampai 15 meter untuk kondisi tanpa halangan. *Handoff* dapat berjalan dengan baik selama berada dalam jangkauan pemancar yaitu antara 10 meter sampai dengan 12 meter, dengan jarak antar dua pemancar yaitu 20 meter sampai 25 meter.

Keywords:

speed limiter; *radio beacon*; *handoff*

Abstract

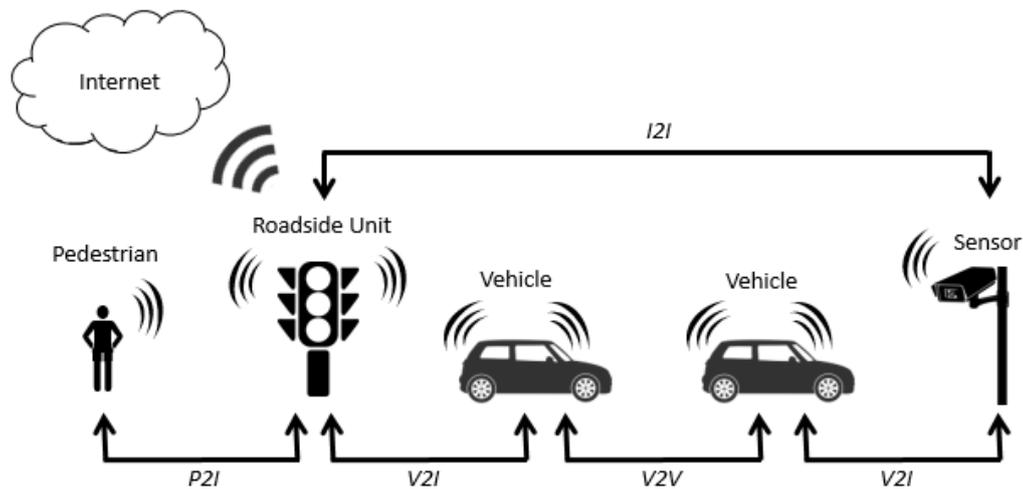
Traffic accidents are mainly caused by drivers exceeding the safe speed limit. The use of speed limit signs will only help if the driver complies with the installed signs. To overcome these problems, designing a tool that can force drivers to obey the speed limit rules can be a solution. The device consists of three subsystems: radio transmitters and receivers, information processors and decision makers, and vehicle speed limiting controls. This research is focused on designing a prototype of radio transmitter and receiver using Arduino and RS-232 radio at a frequency of 450 MHz. The results showed that the radio prototype can be implemented with radio coverage between 7 meters to 10 meters with obstacles, and 10 meters to 15 meters without obstacles. The handoff can run well as long as it is within the range of the transmitter which is between 10 meters to 12 meters, with the distance between the two transmitters is 20 meters to 25 meters.

PENDAHULUAN

Kenaikan jumlah kendaraan setiap tahunnya membuat mengemudi menjadi kegiatan yang lebih menuntut konsentrasi dan beresiko tinggi. Jalan menjadi penuh kendaraan, jarak aman dan kecepatan jarang dipatuhi (Sharmila et al., 2022), dan kurangnya perhatian pengemudi akibat stress di jalan (Delhomme & Gheorghiu, 2021), mengantuk (Hege et al, 2019), serta penggunaan telepon seluler (Phuksuksakul et al, 2021). Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah sebuah jaringan nirkabel yang disebut *Vehicular Ad-Hoc Network* (VANET) yang dikhususkan untuk komunikasi antar kendaraan (*vehicle to vehicle/V2V*) dan kendaraan ke perangkat komunikasi atau infrastruktur jalan (*vehicle to infrastructure/V2I*). Meskipun fungsi utama jaringan ini adalah meningkatkan keamanan dan keselamatan berkendara, fungsi manajemen lalu lintas dan hiburan dalam kendaraan juga menjadi harapan (Saleh & Hasson, 2019).

VANET memiliki arsitektur sedemikian rupa sehingga setiap *node* yang terdiri dari kendaraan, sensor, dan infrastruktur yang ada dapat berkomunikasi satu sama lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Infrastruktur tidak harus dipasang di semua tempat dengan alasan biaya maupun kesulitan geografis, sehingga pertukaran informasi dengan perangkat infrastruktur (V2I) hanya terjadi di daerah tertentu. Sedangkan pada komunikasi V2V, pertukaran data dilakukan langsung antar kendaraan tanpa perlu bantuan infrastruktur (Ksouri et al., 2022). Informasi dari sensor kendaraan menjadi penting untuk memberitahu

kendaraan lain tentang kondisi lalu lintas dan menolong polisi memecahkan pelanggaran hukum. Ketika unit komunikasi pinggir jalan (*roadside unit*) seperti menara selular dan *access point* tersedia, kendaraan dapat menggunakan infrastruktur untuk berkomunikasi dengan kendaraan lainnya dalam jarak yang lebih jauh dan mengakses berbagai aplikasi seperti pemantauan keselamatan daerah perkotaan (*urban monitoring safety*), bantuan untuk pengemudi (*driving assistance*) dan hiburan (*entertainment*), serta dapat digunakan untuk mengakses informasi yang kaya dan dinamis (Saleh & Hasson, 2019). Informasi tersebut ditampilkan pada *in-vehicle information systems* (IVIS) yang terpasang di dalam kendaraan (Naujoks et al, 2019).



Gambar 1. Arsitektur dasar VANET

Masalah kecelakaan lalu lintas umumnya disebabkan oleh perilaku pengemudi yang melebihi kecepatan aman dan kemampuan mengemudikan kendaraan (Truelove et al, 2022). Pengemudi seringkali tidak memperhatikan batas kecepatan aman terutama di dalam kota atau pemukiman (Thombare et al., 2018). Sebagian besar kecelakaan terjadi pada persimpangan jalan (Kovaceva et al, 2022), namun pejalan kaki berpeluang selamat lebih besar jika tertabrak kendaraan dengan kecepatan 30 km/jam atau kurang. Oleh karena itu, daerah dengan batas kecepatan 30 km/jam dapat mengurangi resiko terjadinya kecelakaan dan direkomendasikan untuk daerah seperti pemukiman, sekolah, dan pusat keramaian (WHO, 2022). Data dari sebuah publikasi di Eropa menyebutkan bahwa 30% dari semua kecelakaan fatal disebabkan oleh pelanggaran batas kecepatan (European Commission, 2020). Kecepatan kendaraan yang semakin tinggi tidak hanya meningkatkan peluang terjadinya kecelakaan, tetapi juga menambah tingkat keparahan kecelakaan tersebut (De Vos et al., 2022) Untuk mengatasi permasalahan di atas, diciptakan *Intelligent Speed Assistance* (ISA) yang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan pengguna.

Penerapan ISA di beberapa negara masih menggunakan pendekatan pasif, yaitu hanya sebagai pemberi peringatan (Ryan, 2019). Contohnya antara lain sistem peringatan pada persimpangan jalan (Zhang et al, 2022), sistem deteksi marka jalan (Utriainen et al, 2020), dan juga sistem peringatan audio visual yang terpasang di kendaraan (Ju et al, 2020), dimana sistem ini menuntut kepatuhan pengemudi terhadap peringatan yang diberikan (Unger & Schubert, 2018). Namun hal ini relatif sulit diterapkan di Indonesia karena ketidakpedulian pengemudi terhadap aturan sangat tinggi terutama pengemudi roda dua (Gunawan, 2022). Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut, kami melakukan penelitian berupa perancangan sebuah alat yang dapat memaksa pengemudi untuk patuh pada aturan batas kecepatan.

METODE PENELITIAN

Gambaran sistem ISA

Sistem ISA adalah subsistem dari *Intelligent Transportation System* (ITS) yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan berkendara. Sistem ISA merupakan sistem alat bantu mengemudi lanjut. Dari segi teknis, sangat memungkinkan untuk melakukan implementasi ISA dalam

jangka pendek. Berbagai jenis ISA yang berbeda memberikan efek ke perilaku dan keselamatan lalu lintas yang berbeda (Ryan, 2019) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Macam-macam *feedback* pada ISA

Level Dukungan	Jenis <i>Feedback</i>	Contoh
Memberi informasi	Umumnya visual	Batas kecepatan diperlihatkan pada pengemudi
Memberi peringatan Intervensi	Visual atau audio <i>Feedback</i> pada pedal gas	Sistem memberi peringatan pada pengemudi. Pengemudi bisa memilih untuk mengikuti informasi ini atau mengabaikannya Pengemudi merasakan perlawanan di pedal gas, tapi bisa melewati batas kecepatan dengan menambah tekanan di pedal gas
Kendali otomatis	<i>Feedback</i> pada pedal gas atau mengambil alih pedal gas	Kecepatan maksimum akan dipaksakan dan usaha pengemudi melewati batas kecepatan akan diabaikan

Jika melihat data yang ada, mengemudi melebihi batas kecepatan adalah penyebab utama terjadinya kecelakaan (Kriswardhana et al, 2020). Sehingga dengan mengendalikan batas kecepatan masing-masing kendaraan, diharapkan akan meningkatkan keselamatan jalan raya secara signifikan (Tankasem et al, 2022). ISA merupakan istilah umum yang digunakan untuk sistem lanjut yang membantu pengemudi memilih kecepatan yang tepat, dengan tujuan memenuhi batas kecepatan yang aman (Van Gent et al., 2019). Sistem ISA dapat menggunakan tiga jenis pembatas kecepatan yang legal, antara lain (a) batas kecepatan tetap, yaitu pengemudi diberi informasi batas kecepatan di tempat, (b) batas kecepatan dinamis, yaitu menggunakan batas kecepatan berdasarkan kondisi jalan (cuaca, kepadatan lalu lintas) sambil menggunakan batas kecepatan yang ditentukan sebagai batas kecepatan maksimum, (c) batas kecepatan variabel, yaitu pengemudi diberi informasi batas kecepatan di lokasi-lokasi tertentu seperti tempat pembangunan gedung, penyeberangan, tikungan tajam, dan lain-lain.

Secara umum, sistem ISA akan membandingkan batas kecepatan maksimum di lokasi dan kecepatan aktual dari kendaraan, kemudian akan memberikan informasi kepada pengemudi atau bahkan akan membatasi kecepatan kendaraan berdasarkan batas kecepatan tersebut (Winkler et al, 2018). Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, ISA setidaknya memiliki minimal tiga komponen atau subsistem sebagai berikut:

1. Subsistem infrastruktur radio *beacon*

Peranan infrastruktur radio *beacon* dalam ISA adalah sebagai pemberi informasi batas kecepatan kendaraan dengan jangkauan tertentu. Unit radio ini dapat diprogram memberi informasi tetap atau dinamis yang tergantung dari kondisi lalu lintas di daerah tersebut. Unit yang dinamis memerlukan saluran komunikasi dengan pusat kendali data yang akan memproses data atau dengan mendapatkan data dari laporan sensor-sensor yang berada di sekitar radio.

2. Subsistem penerima radio

Penerima radio dipasang di kendaraan untuk menerima informasi batas kecepatan di daerah tertentu. Sistem penerima radio harus mempunyai kemampuan *handoff* yaitu mampu menentukan batas kecepatan mana yang akan diambil jika mendapat banyak informasi dari beberapa pemancar yang berbeda.

3. Subsistem pemberi informasi ke pengemudi atau pengendali kecepatan kendaraan

Hasil dari proses penerimaan radio dapat diteruskan ke pengemudi sebagai informasi batas kecepatan atau diteruskan ke sistem yang mampu membatasi kecepatan kendaraan secara otomatis. Untuk pembatas kecepatan otomatis perlu dibuat sistem yang bisa memaksa kendaraan bergerak pada batas kecepatan yang ditentukan namun dapat tetap menjaga keselamatan pengemudi dengan cara tidak melakukan pembatasan kecepatan paksa secara mendadak, dapat menurunkan kecepatan secara bertahap, dan tetap memberi kesempatan kepada pengemudi untuk dapat melewati batas kecepatan ketika berada dalam kondisi darurat.

Penentuan Batas Kecepatan Kendaraan

Penentuan batas kecepatan kendaraan mengacu pada Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan yang mengatur batas kecepatan maksimum kendaraan bermotor sesuai dengan kelas jalan yang dilewati. Tujuan dari pembatasan kecepatan adalah untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan

mempertahankan mobilitas kendaraan di jalan raya. Aturan tersebut berlaku nasional dan diimplementasikan dalam bentuk rambu-rambu lalu lintas seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas kecepatan kendaraan

Kelas Jalan	Kecepatan Paling Rendah	Kecepatan Paling Tinggi
Bebas hambatan	60 km/jam	100 km/jam
Antarkota	-	80 km/jam
Perkotaan	-	50 km/jam
Pemukiman	-	30 km/jam

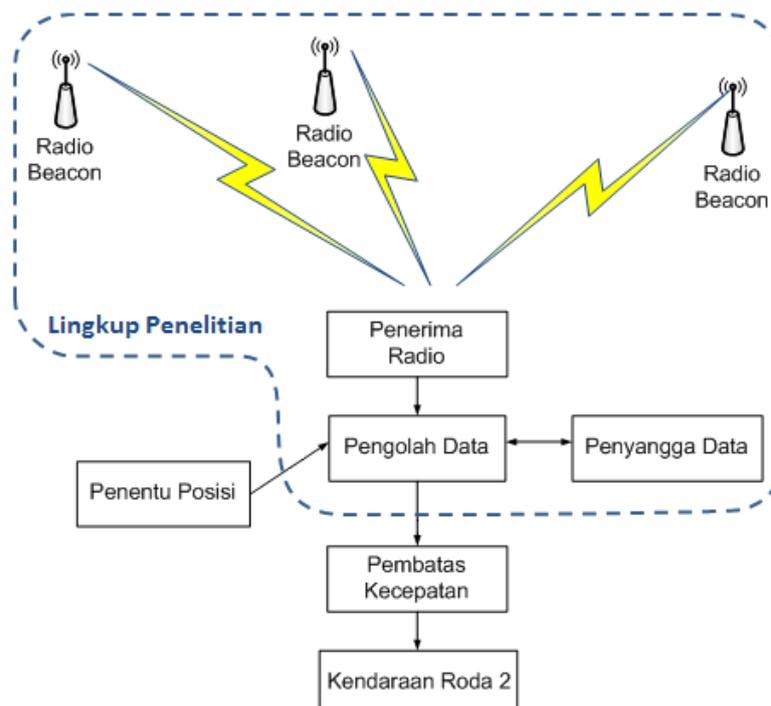
Batas kecepatan yang tertulis bukanlah nilai mutlak karena pada situasi tertentu dapat ditetapkan lebih rendah. Beberapa situasi tersebut antara lain berkaitan dengan frekuensi kecelakaan, kondisi jalan yang berubah, keadaan lingkungan di sekeliling jalan, dan berbagai masukan dari masyarakat yang disepakati dalam forum lalu lintas dan angkutan jalan (Ismail, 2018).

Perancangan Perangkat Keras

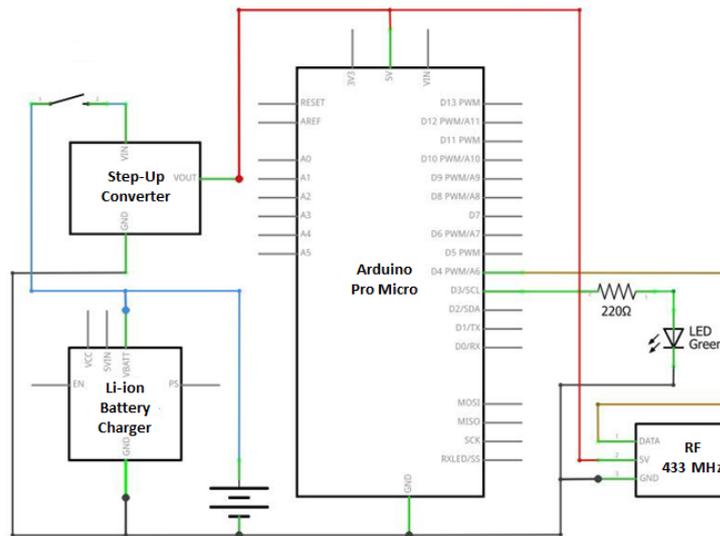
Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem ISA secara umum beserta lingkup penelitian yang dilakukan. Perancangan perangkat keras ISA pada penelitian ini terdiri atas dua subsistem, antara lain:

1. Subsistem pemancar radio *beacon* berbasis Arduino

Perancangan subsistem ini melibatkan proses pemilihan teknologi radio yang digunakan sebagai beacon dan dapat diprogram melalui mikrokontroler berbasis Arduino untuk memancarkan data-data kecepatan maksimum yang diperbolehkan di daerah tertentu. Diperlukan beberapa pemancar beacon yang mengirimkan data yang berbeda untuk digunakan dalam penelitian ini. Teknologi radio yang digunakan adalah radio digital karena harus mampu memancarkan data angka numerik sebagai data batas kecepatan yang diperbolehkan. Diperlukan juga cadangan daya pada radio beacon agar dapat tetap berfungsi bila terjadi gangguan pasokan daya PLN. Skematik rangkaian pemancar ini dapat dilihat pada Gambar 3.



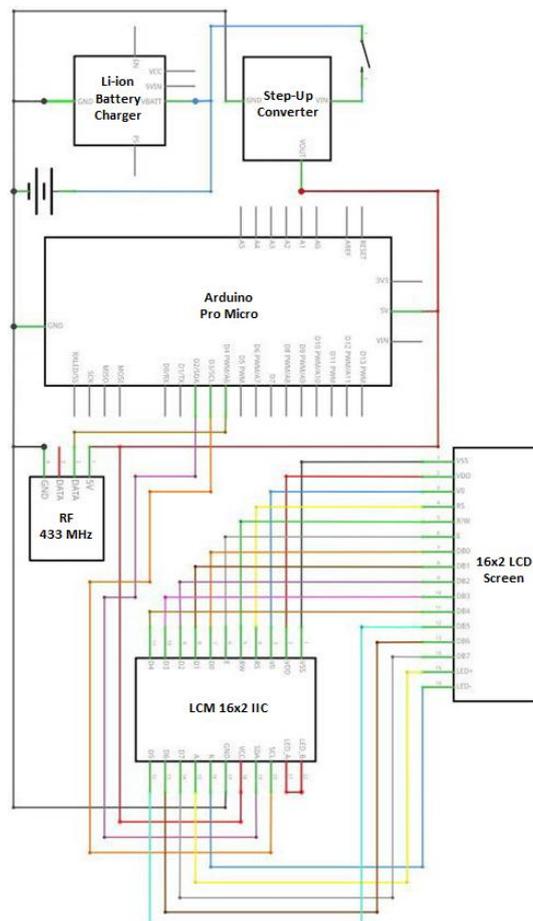
Gambar 2. Diagram blok sistem ISA dan lingkup penelitian



Gambar 3. Skematik rangkaian pemancar radio *beacon*

2. Subsistem penerima radio *beacon* berbasis Arduino dengan algoritma pemilihan data

Subsistem ini merupakan bagian penerima yang akan menerima beberapa sinyal radio sekaligus. Perlu dikembangkan algoritma pemilihan data yang valid untuk digunakan oleh sistem. Dalam penelitian ini, subsistem penerima dan pengolahan data akan menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino untuk kemudahan implementasi dan pengembangan algoritma pemilih kecepatan tersebut. Skematik rangkaian penerima ini dapat dilihat pada Gambar 4.

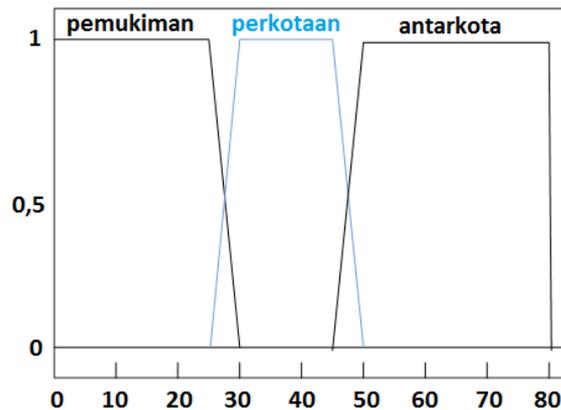


Gambar 4. Skematik rangkaian penerima radio *beacon*

Perancangan Sistem Fuzzy

Untuk mendukung subsistem penerima *beacon*, perlu dirancang algoritma untuk memilih data yang diterima lebih dari satu pemancar. Dari beberapa alternatif yang ada, dipilih sistem *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan penetapan batas kecepatan kendaraan pada Tabel 2.

Tahapan pertama dalam perancangan sistem *fuzzy* adalah proses fuzzifikasi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa penerima hanya menerima informasi batas kecepatan maksimum dari dua pemancar secara hampir bersamaan, sehingga yang menjadi *input fuzzy* adalah kecepatan kendaraan saat ini (CS), pembatas kecepatan 1 (LS1), dan pembatas kecepatan 2 (LS2) dengan fungsi keanggotaan yang sama seperti dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan CS, LS1, dan LS2 pada sistem *fuzzy*

Masing-masing fungsi keanggotaan tersebut dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$Pemukiman(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 25 \\ \frac{30-x}{5}, & 25 < x \leq 30 \end{cases} \quad (1)$$

$$Perkotaan(x) = \begin{cases} \frac{x-25}{5}, & 25 < x \leq 30 \\ 1, & 30 < x \leq 45 \\ \frac{50-x}{5}, & 45 < x \leq 50 \end{cases} \quad (2)$$

$$Antarkota(x) = \begin{cases} \frac{x-45}{5}, & 45 < x \leq 50 \\ 1, & 50 < x \leq 80 \end{cases} \quad (3)$$

Tahapan kedua dalam perancangan sistem *fuzzy* adalah menentukan aturan *fuzzy* dengan notasi yang didefinisikan sebagai berikut: pemukiman = P, perkotaan = K, antarkota = A, tidak ada perubahan kecepatan = NC, kecepatan berubah gradual = G, kecepatan berubah segera = S. Aturan *fuzzy* yang diterapkan pada sistem ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tahapan berikutnya dalam perancangan sistem *fuzzy* adalah penentuan tabel *output* berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan pada tahapan sebelumnya. Jika setiap keluaran dari aturan tersebut direpresentasikan dengan sebuah nilai yaitu: NC = 0, S = 0.5, dan G = 1, maka dapat disusun tabel *output* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tahapan terakhir dalam perancangan sistem *fuzzy* adalah defuzzifikasi. Pada tahap ini akan dihasilkan nilai yang berkisar antara 0 sampai 1 dan akan diklasifikasikan menjadi tiga keputusan. Tiga klasifikasi keputusan tersebut yaitu: NC (tidak ada perubahan kecepatan), G (perubahan kecepatan perlahan/gradual), dan S (perubahan kecepatan seketika). Nilai *range* dari setiap klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Aturan *Fuzzy*

<i>Rules no.</i>	<i>Input</i>			<i>Output</i>
	CS	LS1	LS2	
Rule 1	P	P	P	NC
Rule 2	P	P	K	NC
Rule 3	P	P	A	NC
Rule 4	P	K	P	NC
Rule 5	P	K	K	S
Rule 6	P	K	A	G
Rule 7	P	A	P	NC
Rule 8	P	A	K	G
Rule 9	P	A	A	G
Rule 10	K	P	P	S
Rule 11	K	P	K	NC
Rule 12	K	P	A	G
Rule 13	K	K	P	NC
Rule 14	K	K	K	NC
Rule 15	K	K	A	NC
Rule 16	K	A	P	G
Rule 17	K	A	K	NC
Rule 18	K	A	A	S
Rule 19	A	P	P	G
Rule 20	A	P	K	G
Rule 21	A	P	A	NC
Rule 22	A	K	P	G
Rule 23	A	K	K	S
Rule 24	A	K	A	NC
Rule 25	A	A	P	NC
Rule 26	A	A	K	NC
Rule 27	A	A	A	NC

Tabel 4. *Output Fuzzy*

	LS1	LS2		
		P	K	A
CS = P	P	0 Rule 1	0 Rule 2	0 Rule 3
	K	0 Rule 4	0.5 Rule 5	1 Rule 6
	A	0 Rule 7	1 Rule 8	1 Rule 9
CS = K	P	0.5 Rule 10	0 Rule 11	1 Rule 12
	K	0 Rule 13	0 Rule 14	0 Rule 15
	A	1 Rule 16	0 Rule 17	0.5 Rule 18
CS = A	P	1 Rule 19	1 Rule 20	0 Rule 21
	K	1 Rule 22	0.5 Rule 23	0 Rule 24
	A	0 Rule 25	0 Rule 26	0 Rule 27

Tabel 5. Klasifikasi hasil defuzzifikasi

Nilai defuzzifikasi	Keputusan
$0 \leq y_i < 0.33$	NC
$0.33 \leq y_i < 0.66$	S
$0.66 \leq y_i < 1$	G

Sebagai contoh, misalkan kendaraan memiliki kecepatan awal 70 km/jam ($CS = 70$), kemudian menerima informasi kecepatan maksimum dari pembatas kecepatan 1 sebesar 30 km/jam ($LS1 = 30$) dan dari pembatas kecepatan 2 sebesar 26 km/jam ($LS2 = 26$). Jika nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam fungsi keanggotaan, maka CS dinyatakan sebagai 100% A , $LS1$ sebagai 100% K , serta $LS2$ sebagai 80% P dan 20% K . Sehingga *rule* yang memenuhi semua kombinasi ketiga parameter tersebut adalah *Rule 22* dan *Rule 23*. Selanjutnya hitung *compatibility* yang merupakan perkalian dari masing-masing probabilitas parameter pada setiap *rule* yang disimbolkan dengan w_i dimana i adalah nomor *rule*, sehingga diperoleh nilai *compatibility* sebagai berikut:

$$w_{22} = 100\% \times 100\% \times 80\% = 0.8$$

$$w_{23} = 100\% \times 100\% \times 20\% = 0.2$$

Kemudian hitung nilai output dari setiap *rule* yang merupakan perkalian dari nilai *compatibility* terhadap nilai pada tabel *output* sesuai nomor *rule*, yang disimbolkan dengan y_i dimana i adalah nomor *rule*, sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

$$y_{22} = 0.8 \times 1 = 0.8$$

$$y_{23} = 0.2 \times 0.5 = 0.1$$

Terakhir hitung nilai *weighted mean* untuk mendapatkan satu nilai *output* dengan persamaan:

$$y_t = \frac{w_{22}y_{22} + w_{23}y_{23}}{w_{22} + w_{23}} \quad (4)$$

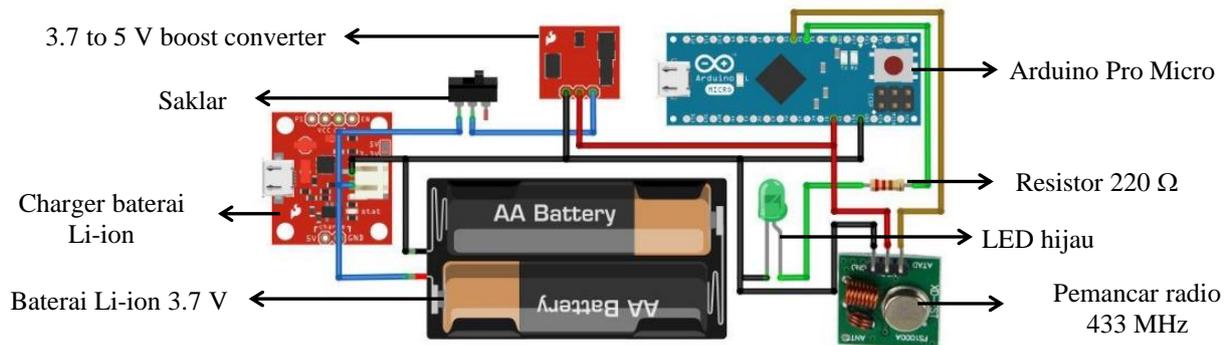
sehingga diperoleh nilai sebagai berikut:

$$y_t = \frac{0.8 \times 0.8 + 0.2 \times 0.1}{0.8 + 0.2} = 0.66$$

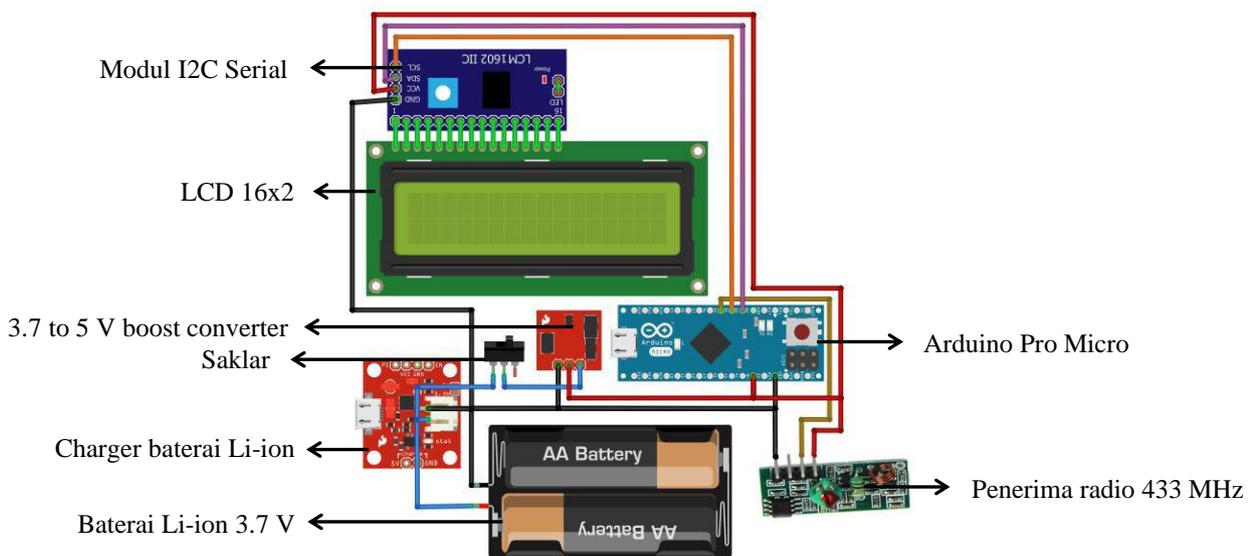
Nilai *output* $y_t = 0.66$ tersebut jika dimasukkan ke dalam klasifikasi seperti pada Tabel 5, maka akan diambil keputusan G yaitu perubahan kecepatan dilakukan secara perlahan-lahan/gradual.

Implementasi Sistem

Sistem ISA diimplementasikan menggunakan Arduino dan pemancar radio di frekuensi 433 MHz dengan daya pancar sekitar 10 mW. Hal ini dilakukan setelah percobaan dengan sistem pemancar lain di frekuensi 433 MHz dan daya pancar 100 mW mengalami kesulitan karena hanya bisa melakukan komunikasi *peer-to-peer* dan tidak dapat melakukan mode transmisi secara *broadcast*. Gambar 6 menunjukkan diagram rangkaian pemancar radio *beacon*, sementara Gambar 7 menunjukkan diagram rangkaian penerima radio *beacon*. LCD yang digunakan pada rangkaian penerima berfungsi untuk menampilkan data batas kecepatan yang diterima dari pemancar. Kedua subsistem juga diberikan catu daya berupa baterai *Li-ion* beserta satu set modul DC-DC *converter* yang berfungsi mengubah nilai tegangan sesuai spesifikasi rangkaian dan juga mengisi ulang baterai.



Gambar 6. Diagram rangkaian pemancar radio *beacon*



Gambar 7. Diagram rangkaian penerima radio *beacon*

HASIL DAN PEMBAHASAN

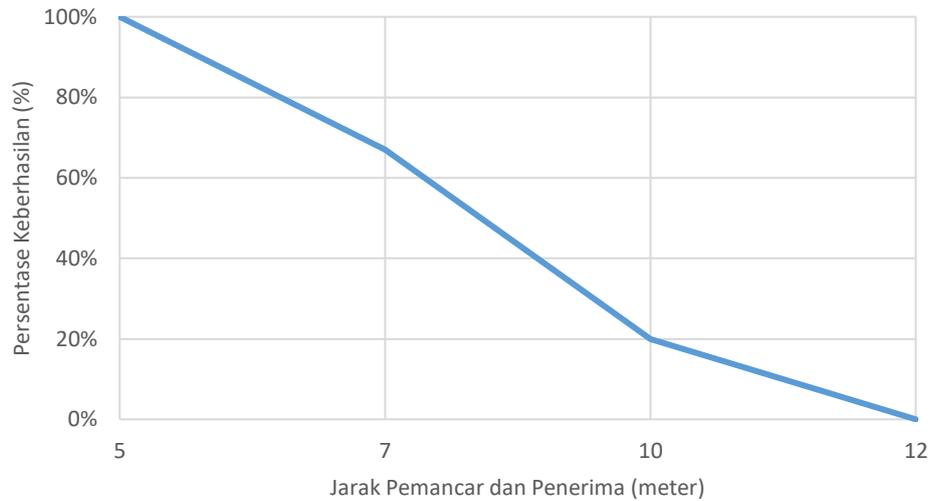
Pada bagian ini dibahas hasil implementasi dan pengujian sistem yang bertujuan untuk mengetahui performa dari sistem yang telah dirancang. Adapun pengujian sistem yang dilakukan adalah pengujian jangkauan dari sistem untuk melihat kemampuan dari sistem pemancar dan penerima, kemampuan menangani *handoff* antar pemancar yang berurutan atau berdekatan, dan pengujian sistem *fuzzy*.

Pengujian Jangkauan

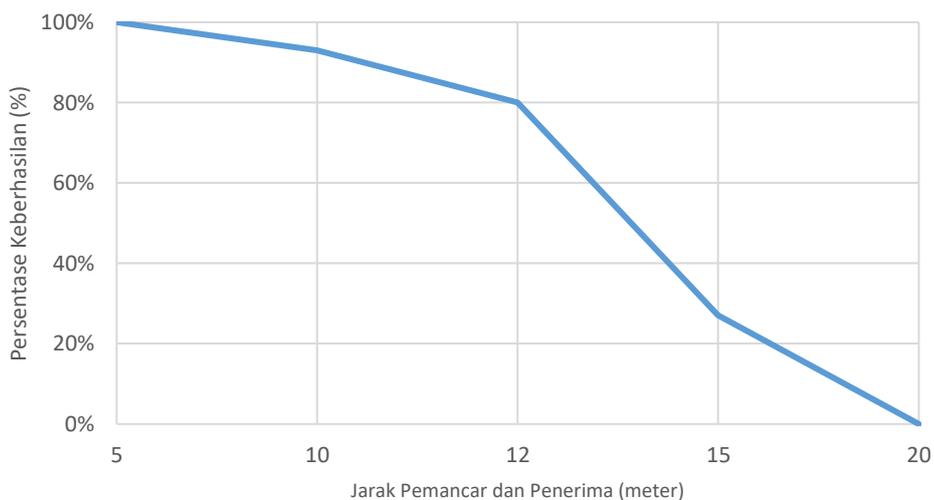
Pengujian jangkauan pemancar dan penerima dilakukan dengan 15 kali percobaan di dalam ruangan dan di luar ruangan. Untuk pengujian di dalam ruangan terdapat berbagai jenis penghalang termasuk partisi dan dinding kaca sesuai dengan kondisi ruangan. Pengujian dikatakan berhasil apabila penerima radio *beacon* dapat menerima dan menampilkan data kecepatan yang dikirimkan oleh pemancar. Hasil pengujian jangkauan di dalam ruangan ditunjukkan pada Gambar 8, sementara hasil pengujian jangkauan di luar ruangan ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil pengujian di dalam ruangan menunjukkan untuk jarak 5 meter semua percobaan berhasil, jarak 7 meter keberhasilan 67%, jarak 10 meter keberhasilan 20%, dan jarak 12 meter tidak ada percobaan yang berhasil. Hal ini disebabkan lemahnya daya pemancar yang hanya 10 mW sehingga gelombang radio tidak dapat menembus penghalang partisi kayu, aluminium, dan kaca. Berbeda halnya dengan hasil pengujian yang diperoleh pada pengukuran di luar ruangan dengan kondisi tanpa penghalang kecuali tembok gedung

di samping tempat pengukuran. Hasil pengujian di luar ruangan tersebut menunjukkan untuk jarak 5 meter semua percobaan berhasil, jarak 10 meter keberhasilan 93%, jarak 12 meter keberhasilan 80%, jarak 15 meter keberhasilan 27%, dan jarak 20 meter tidak ada percobaan yang berhasil.



Gambar 8. Hasil pengujian jangkauan di dalam ruangan



Gambar 9. Hasil pengujian jangkauan di luar ruangan

Pengujian Handoff

Pengujian kemampuan *handoff* dari pemancar pertama ke pemancar kedua dan sebaliknya dilakukan dengan cara meletakkan kedua pemancar pada jarak tertentu dan penerima diletakkan persis di antara kedua pemancar. Pemancar pertama mengirimkan data 50 (50 km/jam) dan pemancar kedua mengirimkan data 80 (80 km/jam). Pengujian dikatakan berhasil apabila penerima radio *beacon* menampilkan data 50 dan 80 secara periodik (pada tabel dituliskan 50/80). Namun pengujian dikatakan tidak berhasil apabila penerima radio *beacon* hanya menampilkan 50 atau 80 saja, ataupun tidak menampilkan data sama sekali. Hasil pengujian *handoff* dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari hasil pengujian tersebut terlihat pada jarak 10 meter keberhasilan *handoff* yaitu 93%, pada jarak 15 meter keberhasilan *handoff* yaitu 87%, pada jarak 20 meter keberhasilan *handoff* yaitu 80%, pada jarak 25 meter keberhasilan *handoff* menurun menjadi 60% dan pada jarak 30 meter tidak didapatkan terjadinya peristiwa *handoff*. Yang menarik adalah untuk jarak 10 meter, 15 meter dan 20 meter, ketidakberhasilan

handoff disebabkan oleh dominannya pemancar kedua karena penerima hanya menampilkan data 80 (80 km/jam) saja. Pada jarak 25 meter terjadi 7% kegagalan memperoleh sinyal, sedangkan tingkat dominasi pemancar kedua hanya 33%.

Tabel 6. Hasil pengujian *handoff*

Percobaan	Jarak antar pemancar (meter)				
	10	15	20	25	30
1	50/80	50/80	50/80	50/80	Tidak ada data
2	50/80	50/80	50/80	80	Tidak ada data
3	50/80	50/80	50/80	50/80	50
4	50/80	50/80	80	Tidak ada data	Tidak ada data
5	50/80	50/80	50/80	50/80	Tidak ada data
6	50/80	80	50/80	50/80	Tidak ada data
7	50/80	50/80	50/80	50/80	Tidak ada data
8	50/80	50/80	50/80	80	Tidak ada data
9	80	50/80	Tidak ada data	50/80	80
10	50/80	50/80	50/80	80	Tidak ada data
11	50/80	50/80	50/80	50/80	Tidak ada data
12	50/80	50/80	50/80	80	Tidak ada data
13	50/80	80	50/80	50/80	80
14	50/80	50/80	80	50/80	Tidak ada data
15	50/80	50/80	50/80	80	Tidak ada data

Pada jarak 30 meter sinyal pada pemancar kedua hanya didapat pada 2 dari 15 kali percobaan atau setara dengan 13%. Ketidakseimbangan penerimaan sinyal dari kedua pemancar disebabkan karena sedikit perbedaan kualitas sistem pemancar, atau bisa juga disebabkan oleh lingkungan yang berbeda antara pemancar pertama dan pemancar kedua. Hal itu dikarenakan kami melakukan pengujian tidak di ruang bebas terbuka tetapi di lorong gedung yang hanya terbuka di satu sisi saja.

Untuk lebih memahami perilaku *handoff*, maka kami melakukan percobaan dengan cara meletakkan kedua pemancar di jarak maksimum terjadinya *handoff* pada pengujian sebelumnya, yaitu di jarak 25 meter. Selanjutnya penerima digerakkan mulai dari pemancar pertama yang mengirimkan data 50 menuju pemancar kedua yang mengirimkan data 80, dan memperhatikan apa yang ditampilkan oleh penerima. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 7.

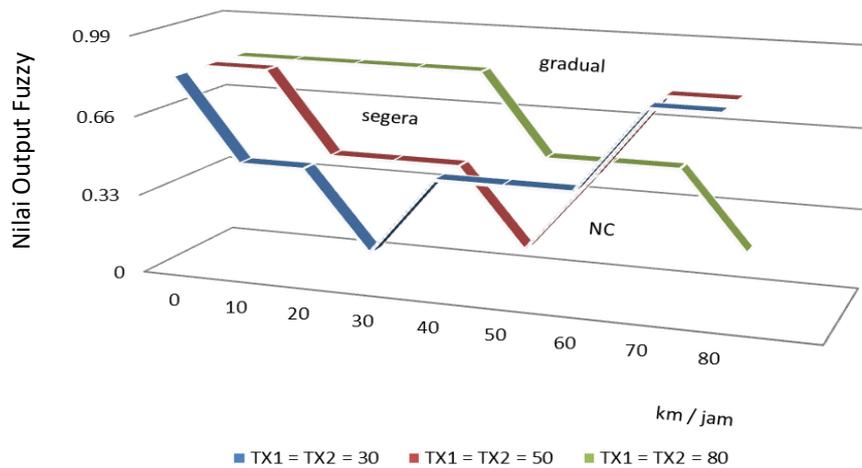
Tabel 7. Hasil pengujian jarak *handoff*

Percobaan	Jarak dari Pemancar Pertama (meter)							
	5	10	11	12	13	14	15	20
1	50	50	50/80	50/80	50/80	50/80	80	80
2	50	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	80
3	50	50/80	50/80	80	80	80	80	80
4	50	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	80
5	50	50/80	50/80	50/80	50/80	80	80	80
6	50	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	80
7	50	50/80	50/80	50/80	80	80	80	80
8	50	50/80	50/80	50/80	80	50/80	80	80
9	50	50/80	50/80	50/80	50/80	80	80	80
10	50	80	50/80	50/80	50/80	50/80	50/80	80

Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa *handoff* 100% mulai terjadi pada jarak 10 meter dari pemancar pertama, dan 40% mulai terlepas pada jarak 15 meter dari pemancar pertama (atau 10 meter dari pemancar kedua). Hal ini membuktikan bahwa memang terjadi ketidakseimbangan kualitas antara pemancar pertama dan pemancar kedua. Mengingat daerah *handoff* yang cukup luas yaitu 10 meter dari jarak maksimum 25 meter, maka disimpulkan radio yang kami gunakan pada sistem ini terlampaui lemah daya pancarnya sehingga kurang cocok untuk digunakan pada sistem ISA ini.

Pengujian Fuzzy

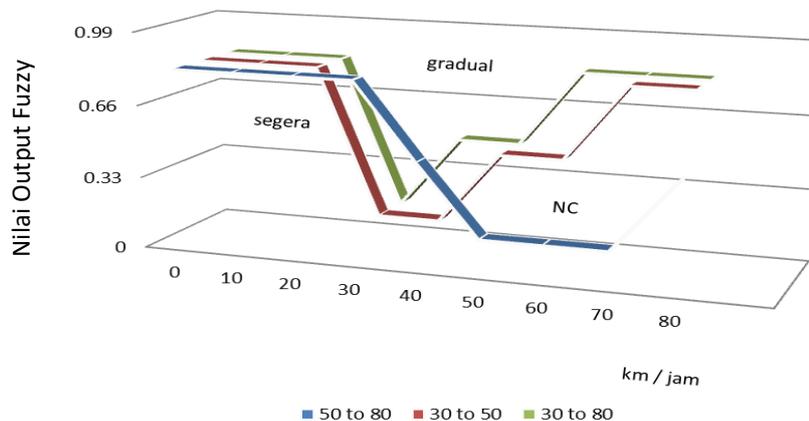
Pengujian sistem *fuzzy* dilakukan dengan membuat kendaraan yang memiliki kecepatan awal tertentu (0 s/d 100 km/jam) menemui dua buah pemancar (TX1 dan TX2) yang telah di-*set* memancarkan batas kecepatan yang sama, yaitu 30, 50 dan 80 km/jam. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 10, dengan sumbu-*x* adalah kecepatan kendaraan saat ini dan sumbu-*y* merupakan nilai *output fuzzy* yang dikeluarkan sistem.



Gambar 10. Hasil pengujian *fuzzy* dengan kedua pemancar di-*set* pada batas kecepatan yang sama

Dari hasil pengujian, sistem *fuzzy* memberikan *output* melakukan perubahan batas kecepatan segera selama kecepatan kendaraan saat ini masih berada di kisaran batas kecepatan. Sedangkan *output* melakukan perubahan kecepatan secara gradual diberikan jika kecepatan kendaraan saat ini berada jauh dari batas kecepatan. Hal ini sesuai dengan perancangan *fuzzy* yang disyaratkan untuk bisa memberikan perubahan gradual jika perbedaan kecepatan antara kendaraan dan batas kecepatan relatif besar.

Pengujian berikutnya dilakukan dengan mengubah batas kecepatan dari 30 ke 50, 30 ke 80 dan 50 ke 80 antara TX1 dan TX2 untuk mensimulasikan jika terjadi perubahan batas kecepatan sesuai kondisi jenis jalan seperti dari perumahan menuju jalan perkotaan, dari perumahan ke jalan raya antarkota dan dari perkotaan ke jalan raya antarkota. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengujian *fuzzy* dengan kedua pemancar di-*set* pada batas kecepatan yang berbeda

Dari hasil pengujian, sistem *fuzzy* memberikan *output* perubahan batas kecepatan secara gradual untuk kondisi perbedaan kecepatan kendaraan saat ini dan batas kecepatan pertama yang relatif besar, kemudian tetap saat kendaraan berkecepatan relatif sama dengan batas kecepatan pertama dan akan kembali gradual menuju batas kecepatan kedua. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem *fuzzy* memberikan keluwesan perubahan batas kecepatan dengan memberikan *output* perubahan kecepatan secara gradual yang dapat diaplikasikan pada sistem ISA untuk mencegah terjadinya akselerasi dan deselerasi yang terlampaui besar.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi radio pemancar dan penerima sistem ISA berhasil dilakukan dengan daya jangkau radio yang digunakan adalah sekitar 7 meter sampai dengan 10 meter untuk kondisi ada halangan dan 10 meter sampai dengan 15 meter untuk kondisi tanpa halangan. Proses *handoff* dapat berjalan dengan baik selama masih berada di dalam jangkauan pemancar yaitu antara 10 meter sampai dengan 12 meter (jarak antara dua pemancar 20 meter sampai 25 meter). Namun dengan daerah *handoff* yang berkisar 10 meter dari jarak maksimum kedua pemancar yaitu 25 meter, maka dapat disimpulkan bahwa perangkat radio yang digunakan kurang cocok untuk digunakan di sistem ISA. Di sisi lain, penggunaan sistem *fuzzy* yang diimplementasikan pada subsistem penerima radio dapat memberikan keluwesan *output* perubahan kecepatan untuk diproses pada subsistem pembatas kecepatan berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Telkom atas dukungan dan pendanaan penelitian berjudul “Purwarupa Radio *Beacon* sebagai Bagian dari Sistem *Intelligent Speed Assistance* untuk Manajemen Lalu Lintas” ini melalui hibah penelitian internal.

REFERENSI

- De Vos, B., Cuenen, A., Ross, V., Dirix, H., Brijs, K., & Brijs, T. (2023). The effectiveness of an intelligent speed assistance system with real-time speeding interventions for truck drivers: a Belgian simulator study. *Sustainability*, 15(6), 5226. <https://doi.org/10.3390/su15065226>
- Delhomme, P., & Gheorghiu, A. (2021). Perceived stress, mental health, organizational factors, and self-reported risky driving behaviors among truck drivers circulating in France. *Journal of Safety Research*, 79, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.10.001>
- European Commission (2020). Road safety thematic report: Speeding. *European Road Safety Observatory*. <https://www.roadsafetyfacility.org/publications/road-safety-thematic-report-speeding-european-road-safety-observatory-2020>
- Gunawan, H. (2022). Analisa etika dan keterampilan terhadap tingkat pelanggaran lalu lintas (roda dua) di Indonesia. *Jurnal Sosial Sains*, 2(8), 823–830. <https://doi.org/10.36418/jurnalsosains.v2i8.447>
- Hege, A., Lemke, M. K., Apostolopoulos, Y., & Sönmez, S. (2019). The impact of work organization, job stress, and sleep on the health behaviors and outcomes of US long-haul truck drivers. *Health Education & Behavior*, 46(4), 626-636. <https://doi.org/10.1177/1090198119826232>
- Ismail, N. (2018). Efektivitas undang-undang lalu lintas dan angkutan jalan meminimalisir fatalitas kecelakaan lalu lintas. *Journal of Indonesia Road Safety*, 1(1), 17-29. <https://doi.org/10.19184/korlantas-jirs.v1i1.14771>
- Ju, U., Chuang, L. L., & Wallraven, C. (2020). Acoustic cues increase situational awareness in accident situations: A VR car-driving study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(4), 3281-3291. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3035374>

- Kovaceva, J., Bärghman, J., & Dozza, M. (2022). On the importance of driver models for the development and assessment of active safety: a new collision warning system to make overtaking cyclists safer. *Accident Analysis & Prevention*, 165, 106513. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106513>
- Kriswardhana, W., Sulistyono, S., Ervina, I., Supriyanto, D., Hayati, N. N., Wicaksono, A., Mujanarko, S. W., & Ramadhani, R. A. (2020). Modeling the probability of speeding behaviour and accident involvement using binary logistic regression in East Java Province. *Journal of Indonesia Road Safety*, 2(3), 149-158. <https://doi.org/10.19184/korlant-as-jirs.v2i3.15048>
- Ksouri, C., Jemili, I., Mosbah, M., & Belghith, A. (2022). Hybrid routing for safety data with intermittent V2I connectivity. *Vehicular Communications*, 38, 100519. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100519>
- Naujoks, F., Wiedmann, K., Schömig, N., Hergeth, S., & Keinath, A. (2019). Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 121–136. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.012>
- Phuksuksakul, N., Kanitpong, K., & Chantranuwathana, S. (2021). Factors affecting behavior of mobile phone use while driving and effect of mobile phone use on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*. 151. <https://doi.org/105945.10.1016/j.aap.2020.105945>.
- Ryan, M. (2019). Intelligent speed assistance technologies: A Review. *Proceedings of the ITRN2019*.
- Saleh, H. H., & Hasson, S. T. (2019). A survey of routing algorithms in vehicular networks. *2019 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, 159–164. <https://doi.org/10.1109/ICOASE.2019.8723812>
- Sharmila, P., Nandhini, J. M., Anuratha, K., & Joshi, S. (2022). An IoT based intelligent transport and road safety system. *2022 International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT)*. <https://doi.org/10.1109/ICITIIT54346.2022.9744248>
- Tankasem, P., Satiennam, T., Satiennam, W., Jaensirisak, S., & Rujopakarn, W. (2022). Effects of automated speed control on speeding intention and behavior on mixed-traffic urban arterial roads. *IATSS Research*, 46(4), 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.08.002>
- Thombare, R. D., Sawant, P. M., Sawant, P. P., Sawant, P. A., & Naik, V. P. (2018). Automatic speed control of vehicle using video processing. *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 919–924. <https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473149>
- Truelove, V., Watson-Brown, N., Mills, L., Freeman, J., & Davey, J. (2022). It's not a hard and fast rule: A qualitative investigation into factors influencing speeding among young drivers. *Journal of Safety Research*, 81, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.01.004>
- Unger, T., & Schubert, A. (2018). Qualitative assessment of intelligent speed adaptation (ISA) systems. *Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH—VUFO*.
- Utriainen, R., Pöllänen, M., & Liimatainen, H. (2020). The safety potential of lane keeping assistance and possible actions to improve the potential. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 5(4), 556-564. <https://doi.org/10.1109/TIV.2020.2991962>
- Van Gent, P., Farah, H., Van Nes, N., & Van Arem, B. (2019). A conceptual model for persuasive in-vehicle technology to influence tactical level driver behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.004>
- Winkler, S., Kazazi, J., Vollrath, M. (2018). How to warn driver in various safety-critical situations—Different strategies, different reactions. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 410–426. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.040>
- World Health Organization (2022). Road traffic injuries. *Fact sheet No. 35*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

Saputra, R. E., & Virgono, A. (2023). *Semesta Teknika*, 26(1)

Zhang, Y., Li, X., Yu, Q., & Yan, X. (2022). Developing a two-stage auditory warning system for safe driving and eco-driving at signalized intersections: A driving simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 175, 106777. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106777>