

Studi Klasifikasi Gerakan Semaphore menggunakan Fuzzy Mamdani dari Data IMU Sensor

Tobias N. Budimartono¹ dan Romy B. Widodo¹

¹Human-Machine Interaction Research Center, Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung, Malang, Indonesia

Corresponding author: Romy B. Widodo (e-mail: romy.budhi@machung.ac.id).

ABSTRACT Often found in communication between ships and scouted the use of semaphore flags for long-distance communication media. Semaphore learning is generally done manually and using detection with digital images. However, both have limitations, namely the availability of experts/tutors and lighting problems. Given the importance of semaphores for long-distance communication, semaphore experts need a guidance system that can assess exercise movements. This study used fuzzy logic with the Mamdani inference system. The method used is to install inertial sensors on both wrists to obtain data on the angle of movement of the hands. The inertial sensor used produces three orientation angles, namely roll, pitch, and yaw; But this study used roll angles. The semaphore movement in this study pivoted on only one axis so that the roll angle data was used for analysis. Inertial sensors wirelessly deliver data to computers that already contain fuzzy machines. Semaphore movement has eight angular points, but in this study, a new method has been found using five areas to group the angles of both hands. Grouping five areas are beneficial for the creation of fuzzy rules. Fuzzy output is in the form of aligned or unaligned with the reference value. The experiment used five subjects who were asked to perform eight characters representing the letters A-Z, and spaces. The test results showed that the system successfully detected movement with an accuracy of 67.5%. The results of the analysis feedback showed that in the future a sensor was needed that could detect the tilt of the torso to compensate for the less upright posture when the subject experimented.

KEYWORDS Fuzzy Mamdani, Inertial Measurement Unit, Semaphore

ABSTRAK Sering dijumpai di komunikasi antar kapal dan dikepramukaan penggunaan bendera semaphore untuk media komunikasi jarak jauh. Pembelajaran semaphore umumnya dilakukan secara manual dan menggunakan pendeteksian dengan citra digital. Namun keduanya memiliki keterbatasan yaitu ketersediaan tenaga ahli/tutor dan permasalahan pencahayaan. Mengingat pentingnya semaphore untuk komunikasi jarak jauh maka ahli semaphore memerlukan *guidance system* yang dapat menilai gerakan latihan. Penelitian ini menggunakan fuzzy logic dengan mamdani inference system. Metode yang digunakan adalah memasang sensor inersial pada kedua pergelangan tangan untuk mendapatkan data sudut gerakan tangan. Sensor inersial yang digunakan menghasilkan tiga sudut orientasi yaitu roll, pitch, dan yaw; namun dalam penelitian ini digunakan sudut roll. Gerakan semaphore pada penelitian ini berporos hanya pada satu sumbu sehingga data sudut roll yang digunakan untuk analisis. Sensor inersial secara nirkabel memberikan data ke komputer yang telah berisi perangkat lunak fuzzy system. Pada dasarnya gerakan semaphore memiliki delapan titik sudut, namun dalam penelitian ini telah ditemukan metode baru menggunakan lima area untuk mengelompokkan sudut kedua tangan. Pengelompokan pada lima area bermanfaat untuk penciptaan rule fuzzy. Output fuzzy berupa skor sesuai atau tidak sesuai. Eksperimen menggunakan lima orang subjek yang diminta melakukan delapan karakter yang mewakili huruf A-Z, dan spasi. Hasil pengujian menunjukkan sistem berhasil mendeteksi gerakan dengan akurasi 67.5%. Hasil umpan balik analisis menunjukkan bahwa kedepannya diperlukan sebuah sensor yang dapat mendeteksi kemiringan torso untuk mengkompensasi postur tubuh yang kurang tegak saat subjek melakukan eksperimen.

KATA KUNCI Fuzzy Mamdani, Semaphore, Sensor Inersial

I. PENDAHULUAN

Arti kata komunikasi menyatakan pengiriman dan penerimaan pesan atau berita antara dua orang atau lebih sehingga pesan yang dimaksud dapat dipahami; juga berarti hubungan atau kontak. Komunikasi secara garis besar dapat dibagi menjadi dua berdasarkan cara menyampaikan pesan yaitu komunikasi secara verbal dan non-verbal. Komunikasi verbal bercirikan penggunaan kata-kata sebagai perantaranya baik secara lisan maupun tulisan. Sedangkan komunikasi non-verbal merupakan cara komunikasi yang tidak menggunakan kata-kata sebagai perantaranya melainkan menggunakan isyarat tubuh [1]–[5]. Adapun kendala dalam berkomunikasi secara non-verbal adalah memungkinkan perbedaan persepsi dalam mengartikan informasi berbentuk isyarat antara pengirim dan penerima. Akan tetapi ada komunikasi non-verbal yang telah ditentukan artinya secara luas sehingga tidak akan memungkinkan perbedaan arti antara pengirim dan penerima seperti isyarat tangan polisi dalam mengatur lalu lintas dan semaphore.

Semaphore merupakan salah satu komunikasi non-verbal yang menggunakan gerakan tangan atau bendera sebagai sarana penyampaian informasi [6]. Setiap kombinasi gerakan semaphore telah ditentukan sebelumnya sehingga siapapun dapat mengerti informasi yang disampaikan dengan baik bila gerakan tersebut dilakukan dengan benar. Adapun semaphore saat ini banyak digunakan dalam kegiatan kepramukaan sebagai alat komunikasi jarak jauh di alam terbuka. Penggunaan semaphore sangat dibutuhkan karena dapat memberikan informasi secara tepat dimana tidak memungkinkan untuk melakukan komunikasi menggunakan suara. Maka dari itu semaphore masih digunakan dalam kegiatan pramuka hingga saat ini. Dari hal tersebut diatas, perlunya gerakan semaphore dilakukan dengan benar. Pelatihan penggunaan semaphore kepada calon penggunanya adalah ujung tombak supaya menghasilkan pengguna yang benar-benar sempurna gerakan semaphore-nya.

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menerjemahkan gerakan semaphore. Klasifikasi gerakan semaphore dengan Kinect pada [7], [8]. Demikian juga pemanfaatan metode CNN pada data sensor IMU untuk klasifikasi semaphore [9]. Pemanfaatan pemrosesan gambar digital untuk meningkatkan pendeteksian semaphore dilakukan pada [10]. Pada penelitian ini permasalahan yang ingin dipecahkan adalah penerjemahan semaphore yang sebelumnya menggunakan gambar dari kamera, akan digantikan dengan sensor IMU yang bersifat wearable di tubuh penggunanya. Hal tersebut dikarenakan penerjemahan semaphore menggunakan kamera seperti pada Kinect memiliki beberapa kelemahan yaitu sensor tersebut dipengaruhi oleh jarak dan cahaya. Namun penggunaan IMU tidak dipengaruhi cahaya dan tidak membutuhkan konfigurasi ruangan khusus. Penggunaan IMU sesuai untuk deteksi gerakan semaphore sebab pengukuran gerakan semaphore tergantung dari besarnya sudut lengan terhadap

poros torso, di sisi yang sama IMU dapat mengukur sudut orientasi.

Penelitian ini menawarkan solusi klasifikasi gerakan semaphore menggunakan data sensor IMU yang dipasang pada lengan. Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan *Mamdani-type fuzzy-logic inference engine* untuk menentukan huruf berdasarkan karakteristik gerakan semaphore.

II. KAJIAN LITERATUR

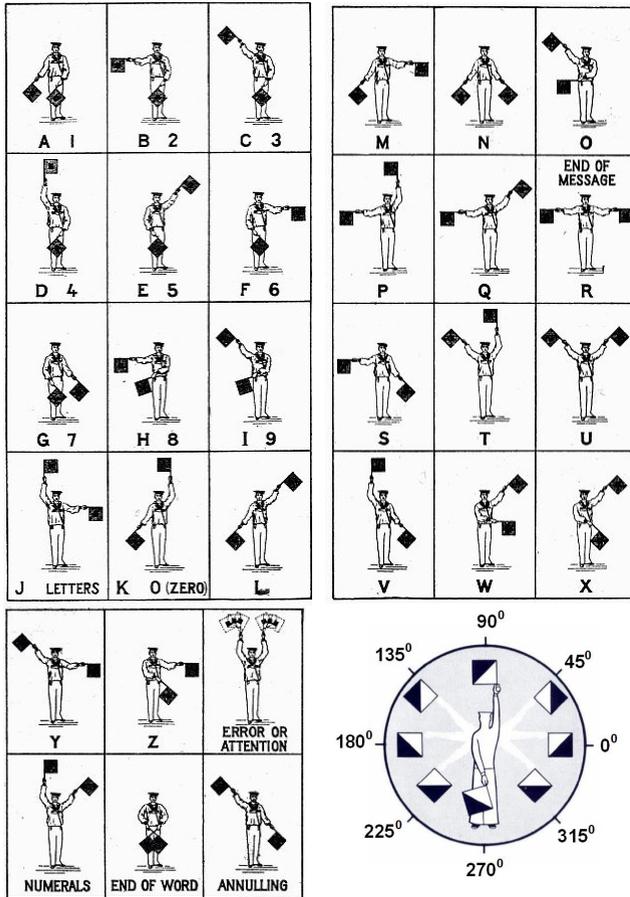
A. SISTEM FUZZY

Pemanfaatan *fuzzy mamdani* untuk penentuan atau klasifikasi jenis ikan dilakukan pada [11] berdasarkan karakteristik lahan. Penggunaan metode tersebut dapat diterapkan pada penelitian ini untuk menentukan huruf berdasarkan karakteristik gerakan semaphore. Selain itu pemanfaatan *fuzzy mamdani* untuk klasifikasi disertai penggabungannya dengan algoritma lain. Pemanfaatan *fuzzy mamdani* untuk klasifikasi tingkat tekanan darah manusia dapat dijumpai pada [12] dimana memiliki keberhasilan klasifikasi 99.4%. Penggunaan *fuzzy mamdani* untuk klasifikasi sentiment data pada NLP berhasil menunjukkan hasil yang akurat mengklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu netral, positif, dan negatif [13]. Klasifikasi sakit kepala dilakukan juga dengan *fuzzy mamdani* berhasil meningkatkan akurasi sebesar 88% [14]. Klasifikasi untuk penentuan kesalahan pada *double-circuit transmission lines* menggunakan *fuzzy mamdani* telah dilakukan pada [15]. Demikian juga aplikasi klasifikasi gambar binatang bergerak menggunakan gabungan *fuzzy mamdani* dan CNN model berhasil dikembangkan dengan akurasi 98% pada [16].

Metode Mamdani sering disebut sebagai metode Min-Max dikarenakan pada operasinya menggunakan operasi minimum dan maksimum [17]. Terdapat empat tahapan untuk mendapatkan *output* dari metode ini, empat tahapan tersebut adalah sebagai berikut: 1) Pembentukan himpunan fuzzy (*fuzzyfikasi*); 2) Aplikasi fungsi implikasi; 3) Komposisi aturan (agregasi), yang terdiri atas tiga metode yaitu: metode max, metode penjumlahan (sum), dan metode probabilistik OR; 4) Penegasan (*defuzzyfikasi*), beberapa metodenya adalah metode *centroid (composite moment)*, metode bisektor, metode *mean of maximum (MOM)*, metode *largest of maximum (LOM)*, dan metode *smallest of maximum (SOM)*.

B. SEMAPHORE

Semaphore merupakan suatu metode pengiriman sinyal, pesan, atau informasi jarak jauh yang diciptakan oleh pendeta asal Perancis bernama Claude Chappe pada tahun 1790. Seiring perkembangan zaman penggunaan semaphore telah bergeser dari penggunaannya untuk komunikasi antar menara menjadi komunikasi antar kapal. Sehingga masih dipakai hingga saat ini. Bendera semaphore harus berbentuk persegi dengan ukuran 45 cm x 45 cm yang dipasangkan



GAMBAR 1. Gerakan semaphore dan delapan titik sudut semaphore [18]

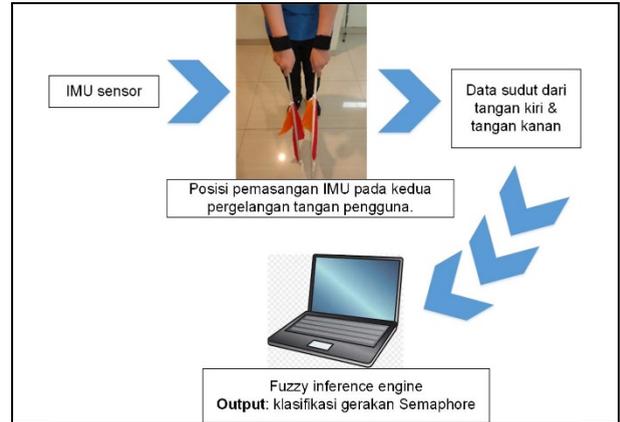
pada tongkat berukuran 55 cm. Pada umumnya bendera berwarna merah dan kuning yang terbagi secara diagonal, penempatan warna merah berada di atas warna kuning. Pemilihan kedua warna ini dikarenakan warna tersebut dapat dilihat dengan mudah. Gambar 1 menunjukkan huruf-huruf dalam semaphore yang diklasifikasikan, yaitu A-Z [18]. Adapun untuk mempermudah dalam mempelajari gerakan semaphore adalah dengan mengetahui prinsip arah jarum jam. Sehingga pada semaphore akan memiliki 8 titik sudut pasti, yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°.

III. METODOLOGI

Penelitian menggunakan metode penelitian eksperimental. Data sudut gerakan tangan diambil dari sensor inersial (Inertial Measurement Unit / IMU) yang dipasang pada pergelangan tangan kanan dan kiri. Sensor IMU yang digunakan adalah Xsens jenis MTwAwinda. Sensor IMU menghasilkan tiga sudut yaitu roll, pitch, dan yaw. Pada penelitian ini sudut yang diambil adalah roll, yang merupakan sudut paling dominan sesuai arah putaran tangan. Gambar 2 menunjukkan diagram kerja penelitian ini. Data sudut roll dari sensor IMU yang

dipasang pada kedua pergelangan tangan menjadi input bagi program fuzzy.

Adapun Gambar 3 menunjukkan lokasi pemasangan sensor. Data diambil menggunakan *software* Xsens MT Manager, dengan output berupa sudut. Sampling rate adalah 100 Hz.



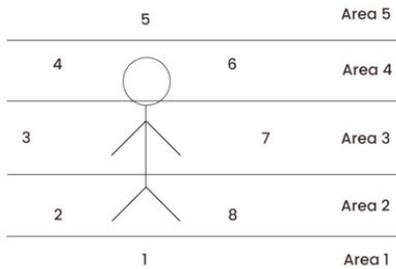
GAMBAR 2. Diagram kerja penelitian.

Klasifikasi pada gerakan semaphore menggunakan 5 area sebagai patokan posisi tangan seperti diilustrasikan di Gambar 4. Pembagian lima area ini merupakan kebaruan metode yang



GAMBAR 3. Posisi sensor pada pergelangan tangan.

ditemukan oleh peneliti dalam memecahkan masalah. Area pertama merupakan area paling bawah, area kedua merupakan hasil penggabungan titik sudut ke-2 dan 8, area ketiga merupakan hasil penggabungan titik sudut ke-3 dan 7, area keempat merupakan hasil penggabungan titik sudut ke-4 dan 6, dan yang terakhir area kelima merupakan area paling atas. Semua area tersebut berlaku pada setiap tangan baik tangan kiri maupun tangan kanan. Pembagian 8 titik semaphore menjadi 5 area didasarkan oleh pengamatan terhadap sudut *roll* yang berada pada rentang -180° sampai 180° atau putaran penuh. Oleh karena itu total keseluruhan area adalah 180° yang dibagi menjadi 5 yaitu masing-masing area memiliki rentang 36°. Semua huruf A-Z dan spasi; memiliki area



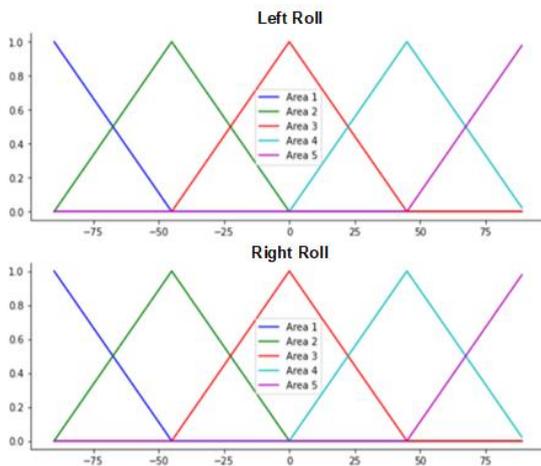
GAMBAR 4. Pembagian area gerakan semaphore untuk penentuan perancangan sistem fuzzy.

berdasarkan posisi tangan pada kelima area tersebut. Pembentukan rule juga berdasarkan kelima area tersebut.

A. HIMPUNAN INPUT-OUTPUT

Himpunan *input* diperoleh dari dua masukan yaitu sensor di pergelangan tangan kanan dan pergelangan tangan kiri. Setiap variabel *fuzzy* memiliki jumlah dan nilai himpunan yang sama yaitu kelima area semaphore yang telah ditentukan pada Gambar 4. Akan tetapi nilai-nilai dari kelima area sebelumnya masih bersifat tegas (*crisp*) sehingga perlu untuk mengkonversikan nilai-nilai *crisp* menjadi nilai-nilai *fuzzy*. Proses konversi tersebut dilakukan dengan cara mengambil nilai sudut yang menjadi pusat pada setiap area. Sehingga nilai-nilai pusat pada setiap area adalah masing-masing -90° , -45° , 0° , -45° , dan 90° . Hasil dari kedua himpunan *input* dapat dilihat pada Gambar 5.

Setelah menentukan himpunan pada variabel *input* maka selanjutnya adalah menentukan himpunan *output*. Pada himpunan *output* yaitu hasil klasifikasi dalam bentuk huruf A-



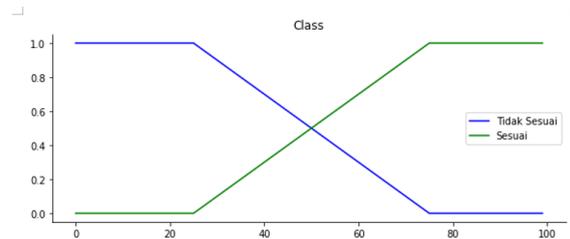
GAMBAR 5. Himpunan input.

Z dan spasi tidak memungkinkan dalam satu variabel dikarenakan nilainya berjenis nominal yang kurang sesuai digunakan pada himpunan *output*. Sehingga perlu dilakukan perubahan nilai-nilai *output* menjadi nilai yang berjenis ordinal. Perubahan nilai tersebut dilakukan dengan memisah setiap karakter berdasarkan kesesuaiannya pada gerakan

semaphore. Sehingga akan terdapat 27 karakter yang masing-masing memiliki nilai kesesuaian terhadap data *input*. Variabel himpunan *output* memiliki dua label yaitu ‘sesuai’ dan ‘tidak sesuai’ dan nilai semesta pembicaraan pada rentang 0 sampai dengan 100, seperti diilustrasikan pada Gambar 6.

B. RULE

Rule merupakan aturan-aturan yang digunakan untuk



GAMBAR 6. Himpunan output.

menentukan himpunan *output* berdasarkan nilai keanggotaan. Pada penelitian ini *rule* akan dituliskan sebagai “IF Tangan Kanan is Area X AND Tangan Kiri is Area Y THEN [Sesuai / Tidak Sesuai].” Sehingga setiap karakter memiliki *rule* yang berbeda satu dengan yang lainnya. Setiap karakter memiliki 25 *rule* yang berarti terdapat 675 *rule* secara keseluruhan. *Rule* yang dibuat divalidasi melalui diskusi dengan tim peneliti, *tuning rule* juga dilakukan pada saat eksperimen.

Hasil penentuan *rule* merujuk pada area posisi sensor semaphore seperti pada Gambar 4. Posisi gerakan semaphore yang mendasari pembuatan *rule* seperti pada Tabel 1.

TABEL I
POSISI AREA GERAKAN SEMAPHORE

Karakter	Tangan kanan	Tangan kiri	Karakter	Tangan kanan	Tangan kiri
Spasi	1	1	N	2	2
A	2	1	O	4	3
B	3	1	P	3	5
C	4	1	Q	3	4
D	5	1	R	3	3
E	1	4	S	3	2
F	1	3	T	4	5
G	1	2	U	4	4
H	3	2	V	5	2
I	4	2	W	3	4
J	5	3	X	2	4
K	2	5	Y	4	3
L	2	4	Z	2	3
M	2	3			

C. DEFUZZIFIKASI

Defuzzyfikasi merupakan tahap terakhir pada pembentukan metode *fuzzy*. Pada tahap ini telah dihasilkan sebuah nilai tegas dalam range 0 sampai 100. Penelitian ini menggunakan metode *centroid* untuk mendapatkan titik pusat yang digunakan sebagai hasil *output*. Nilai yang dihasilkan tersebut merepresentasikan nilai kesesuaian gerakan semaphore



GAMBAR 7. Lingkungan pengujian.

terhadap karakter yang bersangkutan. Sehingga terdapat 27 nilai kesesuaian secara keseluruhan. Karakter yang memiliki nilai kesesuaian terbesar merupakan hasil akhir dari klasifikasi gerakan semaphore.

D. PENGUJIAN

Gerakan semaphore yang diuji kepada lima subjek adalah kata MA CHUNG, dengan karakternya yaitu: M, A, spasi, C, H, U, N, dan G. Dasar pengambilan kata tersebut adalah dikarenakan setiap karakternya tidak terdapat duplikasi karakter. Selain itu 8 karakter tersebut mencakup huruf dan karakter spasi yang gerakannya bisa digunakan untuk mewakili karakter lainnya; pemilihan 8 karakter ini juga mereduksi kelelahan Subjek. Sebelum analisis hasil pengujian, dilakukan pemrosesan awal data. Dimana 200 data di awal dan 200 data di akhir setiap percobaan diabaikan, dengan asumsi Subjek masih belum stabil kondisi tangannya pada dua detik di awal dan akhir suatu sesi pengambilan data. Pengujian dilakukan dengan memasukkan data yang didapatkan ke sistem *fuzzy* yang telah dibentuk. Sehingga data bersih yang didapatkan pada setiap huruf adalah sebanyak 600 data. Total keseluruhan data yang digunakan setelah dilakukan pengurangan tersebut adalah sebanyak 24.000 data.

Subjek diberi alat bantu berupa kertas yang bergambarkan gerakan semaphore yang harus dicoba. Kertas tersebut diletakan di depan kaki subjek sehingga dapat dilihat dengan mudah. Ilustrasi lebih jelas mengenai lingkungan pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan Gambar 8 menunjukkan salah satu bentuk postur tubuh Subjek yang kurang sempurna, pembahasan postur ini dapat dilihat pada bagian diskusi.

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. HASIL

Pada tahap ini pengujian dilakukan dengan memasukan data yang didapatkan ke sistem *fuzzy* yang telah dibentuk. Akan tetapi tidak semua data digunakan melainkan terdapat



GAMBAR 8. Postur tubuh subjek yang kurang sempurna.

penghapusan data sebanyak 200 setiap sisi tangan pada awal dan belakang. Tujuan dari penghapusan data ini adalah untuk menghindari kerusakan data diawal dan diakhir akibat kurangnya persiapan subjek. Jadi, 2 detik awal dan akhir digunakan waktu persiapan subjek. Sehingga data bersih yang didapatkan pada setiap huruf adalah sebanyak 300 data. Total keseluruhan data yang akan digunakan setelah dilakukan pengurangan tersebut adalah sebanyak 12.000 data.

Pengujian metode *fuzzy* Mamdani dilakukan pada seluruh data yang dimiliki pada masing-masing subjek. Tabel II menampilkan hasil pengujian untuk lima subjek dan delapan karakter yang dipilih oleh peneliti. Pemilihan delapan karakter tersebut sudah mewakili area-area pada Gambar 4. Kedelapan karakter tersebut adalah M, A, spasi, C, H, U, N, G. Pada Tabel II disertakan nomor rule yang diakses oleh sistem fuzzy pada saat ada input sudut.

TABEL II
HASIL KLASIFIKASI SEMAPHORE TIAP SUBJEK

	M	A	Spasi	Prediksi					Rule
				C	H	U	N	G	
Subjek 1	M (300)	A (300)	Spasi (300)	B (300)	H (300)	R (300)	G (300)	G (300)	1, 2, 6, 7
Subjek 2	M (300)	A (300)	Spasi (300)	C (300)	H (300)	R (300)	N (300)	G (300)	6, 7, 11, 12
Subjek 3	F (300)	A (300)	Spasi (300)	B (300)	H (300)	R (176) Q (124)	N (300)	G (300)	1, 2, 6, 7
Subjek 4	M (300)	A (300)	G (300)	H (300)	H (300)	U (300)	N (300)	G (300)	1, 2, 6, 7
Subjek 5	M (300)	N (300)	G (165) N (135)	I (300)	H (300)	U (300)	N (300)	N (300)	1, 2, 6, 7

Secara keseluruhan hasil klasifikasi gerakan semaphore dari Tabel II, diringkas pada Tabel III.

B. DISKUSI

Secara keseluruhan sistem berhasil melakukan klasifikasi terhadap gerakan semaphore dengan *score* akurasi sebesar 67.5%. Pengujian dilakukan dengan memilih delapan karakter M, A, spasi, C, H, U, N, dan G. Akurasi tersebut didapatkan berdasarkan hasil prediksi benar pada setiap karakter

dibandingkan dengan total jumlah seluruh karakter. Setiap subjek juga dihitung nilai akurasi dan didapatkan bahwa subjek 2 memiliki gerakan semaphore yang paling baik yaitu sebesar 87.5% sedangkan subjek 5 memiliki gerakan semaphore yang kurang baik, dengan akurasi sebesar 50%. Dari hasil pengamatan, foto, dan video, penyebab kesalahan klasifikasi pada gerakan semaphore adalah gerakan subjek yang kurang baik. Seperti yang terlihat pada Gambar 8, postur tubuh salah satu subjek tidak tegak lurus melainkan terlihat sedikit miring sehingga menyebabkan sudut yang terbentuk lebih rendah dari yang seharusnya. Pada saat pembentukan gerakan tersebut sudut yang terbaca adalah sekitar 18° sampai 19°. Pada penelitian [9], digunakan CNN untuk klasifikasi data IMU pada semaphore; diperoleh akurasi 76.65%. Penggunaan CNN memberikan nilai akurasi lebih tinggi namun ada *trade off* yaitu proses pembelajaran dan pembuatan model yang memerlukan usaha lebih dibandingkan dengan metode fuzzy.

TABEL III
HASIL KLASIFIKASI SEMAPHORE

Subjek	Prediksi Benar	Akurasi
Subjek 1	5/8	62.5%
Subjek 2	7/8	87.5%
Subjek 3	5/8	67.5%
Subjek 4	6/8	75%
Subjek 5	4/8	50%
Total		67.5%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa pembagian delapan titik semaphore menjadi lima area berhasil digunakan untuk melakukan klasifikasi menggunakan logika fuzzy. Penerapan metode fuzzy Mamdani dapat digunakan untuk klasifikasi gerakan semaphore. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui nilai akurasi yang telah diperoleh yaitu sebesar 67.5%. Namun kedepannya beberapa catatan peneliti untuk pengembangan penelitian adalah sebagai berikut: penambahan jumlah sensor pada bagian tubuh misalnya punggung dapat mendeteksi kemiringan torso dari subjek. Data kemiringan torso dapat digunakan untuk kompensasi rule fuzzy. Saran lain adalah pengoptimalan metode fuzzy Mamdani dengan melakukan tuning terhadap komponen-komponen fuzzy. Diharapkan dengan pengaturan yang lebih mendalam dapat menambah keakuratan metode dalam melakukan klasifikasi.

PERAN PENULIS

Penulis Tobias Nagata Budimartono: Desain eksperimen, pelaksanaan eksperimen, pemrograman, analisis hasil.

Penulis Romy Budhi Widodo: Koordinasi penelitian, penyiapan sensor, desain eksperimen, diskusi metode penelitian, penulisan artikel.

COPYRIGHT



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Padmalatha, S. Sailekya, R. Ravinder Reddy, C. Anil Krishna, and K. Divyarsha, "Sign language recognition," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 2128–2137, 2019, doi: 10.35940/ijrte.C4565.098319.
- [2] S. P. Goswami, A. R. Ggr, and K. Sharma, "Introduction of indian sign language in inclusive education," *Disabil. CBR Incl. Dev.*, vol. 30, no. 4, pp. 96–110, 2019, doi: 10.5463/dcid.v30i4.796.
- [3] M. Porta-Lorenzo, M. Vázquez-Enríquez, A. Pérez-Pérez, J. L. Alba-Castro, and L. Docío-Fernández, "Facial Motion Analysis beyond Emotional Expressions," *Sensors*, vol. 22, no. 10, 2022, doi: 10.3390/s22103839.
- [4] R. C. Chen, W. E. Manongga, and C. Dewi, "Recursive Feature Elimination for Improving Learning Points on Hand-Sign Recognition," *Futur. Internet*, vol. 14, no. 12, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/fi14120352.
- [5] R. H. Abiyev, M. Arslan, and J. B. Idoko, "Sign language translation using deep convolutional neural networks," *KSIITrans. Internet Inf. Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 631–653, 2020, doi: 10.3837/tiis.2020.02.009.
- [6] T. Juliatmojo and E. Ariwibowo, "Pembelajaran Sandi Morse Dan Sandi Semaphore Dalam Bentuk Simulasi Berbasis Multimedia," *J. Sarj. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 129–139, 2013.
- [7] R. Aisuwarya, N. Alfutri, and H. Wahyudi, "Sistem Penerjemah Sandi Semaphore Menggunakan Sensor Kinect dengan Pengenalan Pola Delapan Titik," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2017, pp. 1–6.
- [8] M. Fuad and E. Prasetya, "Pengenalan Gestur Semaphore Menggunakan Sensor Kinect," in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, 2014, pp. 266–270.
- [9] T. N. Budimartono, R. B. Widodo, and P. L. T. Irawan, "Perancangan Aplikasi Realtime Berbasis Desktop dengan Sensor IMU pada Klasifikasi Gerakan Semaphore Menggunakan Metode CNN," *Pros. Semin. Nas. Univ. Ma Chung*, pp. 75–88, 2022.
- [10] K. A. Spenkov, O. R. Nikitin, I. E. Zhigalov, I. R. Dubov, and A. D. Pozdnyakov, "Using Image Processing to Improve Semaphore Communication," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 862, no. 5, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/862/5/052021.
- [11] A. Wirawan and A. Azhari, "Implementasi Metode Fuzzy-Mamdani untuk Menentukan Jenis Ikan Konsumsi Air Tawar Berdasarkan Karakteristik Lahan Budidaya Perikanan," *Bimipa*, vol. 24, no. 1, pp. 29–38, 2014.
- [12] J. C. Guzmán, I. Miramontes, P. Melin, and G. Prado-Arechiga, "Optimal genetic design of type-1 and interval type-2 fuzzy systems for blood pressure level classification," *Axioms*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.3390/axioms8010008.
- [13] F. Es-Sabery, A. Hair, J. Qadir, B. Sainz-De-Abajo, B. Garcia-Zapirain, and I. Torre-Díez, "Sentence-Level Classification Using Parallel Fuzzy Deep Learning Classifier," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 17943–17985, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3053917.
- [14] M. Khayamnia, M. Yazdchi, A. Heidari, and M. Foroughipour, "Diagnosis of common headaches using hybrid expert-based systems," *J. Med. Signals Sens.*, vol. 9, no. 3, pp. 174–180, 2019, doi: 10.4103/jmss.JMSS_47_18.
- [15] A. N. Kumar, C. Sanjay, and M. Chakravarthy, "A single-end directional relaying scheme for double-circuit transmission line using fuzzy expert system," *Complex Intell. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 335–346, 2020, doi: 10.1007/s40747-020-00131-w.

- [16] H. R. Mohammed and Z. M. Hussain, "Hybrid mamdani fuzzy rules and convolutional neural networks for analysis and identification of animal images," *Computation*, vol. 9, no. 3, 2021, doi: 10.3390/computation9030035.
- [17] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [18] C. Curnow and E. Emmy, *Visual Signaling [EBook #43515]*. Signal Corps United States Army, 2013. [Online]. Available: <https://www.gutenberg.org/files/43515/43515-h/43515-h.htm>