

## Analisis LogikaFuzzy Mamdani dalam Pengenalan Rambu Lalu Lintas pada Sistem Gambar

Andini Gustiani<sup>1</sup>, M. Dafit Apriansyah<sup>1</sup>, Priyatna<sup>1</sup>, Silviawati, Perani Rosyani<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan Banten, Indonesia

Email: <sup>1</sup>andinigustiani01@gmail.com, <sup>2</sup>apriansyahmdafit@gmail.com, <sup>3</sup>ypriyatna16@gmail.com, <sup>4</sup>silviyawati010@gmail.com, <sup>5\*</sup>dosen00837@unpam.ac.id

**Abstrak** - Pengenalan rambu lalu lintas merupakan bagian penting dari sistem pengenalan citra yang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan jalan. Dalam penelitian ini, kami menganalisis dan mengimplementasikan metode logika fuzzy Mamdani dalam pengenalan rambu lalu lintas pada sistem pengenalan gambar. Logika fuzzy digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan keambiguan yang sering terjadi pada citra rambu lalu lintas. Metode yang diusulkan melibatkan tahapan pemrosesan gambar, ekstraksi fitur, dan pembangunan basis pengetahuan fuzzy Mamdani. Implementasi dilakukan pada dataset rambu lalu lintas yang relevan, dan kinerja sistem dievaluasi menggunakan metrik evaluasi standar seperti akurasi, presisi, dan recall. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan logika fuzzy Mamdani mampu memberikan pengenalan rambu lalu lintas yang akurat dan konsisten. Namun, sensitivitas terhadap kondisi pencahayaan dan variasi posisi rambu lalu lintas menjadi batasan yang perlu diperhatikan dalam aplikasi praktis. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam penerapan logika fuzzy Mamdani sebagai metode efektif dalam pengenalan rambu lalu lintas pada sistem pengenalan gambar.

**Kata Kunci:** Pengenalan rambu lalu lintas; logika fuzzy Mamdani; sistem pengenalan gambar; ketidakpastian; keambiguan

**Abstract** - Introduction to traffic signs is an important part of image recognition systems aimed at improving road safety. In this study, we analyze and implement the Mamdani fuzzy logic method in traffic sign recognition for image recognition systems. Fuzzy logic is used to overcome the uncertainty and ambiguity commonly found in traffic sign images. The proposed method involves image processing, feature extraction, and the construction of a Mamdani fuzzy knowledge base. Implementation is conducted on relevant traffic sign datasets, and the system's performance is evaluated using standard evaluation metrics such as accuracy, precision, and recall. Experimental results show that the Mamdani fuzzy logic approach is capable of providing accurate and consistent traffic sign recognition. However, sensitivity to lighting conditions and variations in sign positions pose limitations that need to be considered in practical applications. This research contributes significantly to the application of Mamdani fuzzy logic as an effective method in traffic sign recognition for image recognition systems.

**Keywords:** Traffic sign recognition; Mamdani fuzzy logic; image recognition system; uncertainty; ambiguity.

### 1. PENDAHULUAN

Keselamatan jalan merupakan isu yang sangat penting dalam lingkungan transportasi di Indonesia. Setiap tahun, ribuan kecelakaan lalu lintas terjadi di seluruh negeri, mengakibatkan kerugian nyawa manusia dan kerusakan harta benda yang signifikan (Jumadil et al., 2022). Berdasarkan data Kepolisian Negara Republik Indonesia, jumlah kematian akibat kecelakaan lalu lintas dan angkutan Jalan yang terjadi pada tahun 2020 telah mencapai angka 23.529 jiwa, atau setara dengan 3 (tiga) jiwa meninggal dunia per jam. Dari total korban kecelakaan di jalan, sebanyak 73 persen diantaranya melibatkan sepeda motor (tertinggi pertama). Angka ini menunjukkan tingginya risiko kecelakaan lalu lintas yang dihadapi oleh masyarakat Indonesia.

Dalam upaya mengurangi jumlah kecelakaan dan meningkatkan keselamatan jalan, pengenalan rambu lalu lintas memainkan peran yang penting. Rambu lalu lintas bertujuan untuk memberikan informasi kepada pengendara tentang aturan dan kondisi jalan yang harus diikuti (Syafrika Deni Rizki & Tri Monarita Johan, 2021). Mereka memberikan petunjuk tentang batas kecepatan, arah lalu lintas, peringatan bahaya, dan instruksi lain yang diperlukan untuk mengemudi dengan aman di jalan raya.

Dalam sistem pengenalan rambu lalu lintas pada gambar, gambar-gambar tersebut diolah

menggunakan metodologi fuzzy Mamdani untuk mengidentifikasi rambu lalu lintas yang ada pada gambar dan mengambil keputusan berdasarkan atribut-atribut gambar yang relevan. Pengenalan rambu lalu lintas adalah proses penggunaan algoritma dan teknik komputasional untuk mengenali dan memahami rambu-rambu lalu lintas dalam gambar atau video (Soimun et al., 2020). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi jenis rambu lalu lintas, mengklasifikasikan informasi yang terkandung dalam rambu tersebut, dan memberikan pemahaman tentang aturan dan kondisi jalan yang harus diikuti oleh pengendara.

Logika fuzzy adalah metode matematika yang digunakan untuk memodelkan ketidakpastian dan keambiguan dalam pengambilan keputusan. Kontras dengan logika biner tradisional yang hanya mengenal nilai benar atau salah, logika fuzzy memungkinkan representasi pengetahuan yang lebih fleksibel dengan menggunakan himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan (Nurhayati & Immanudin, 2019). Dalam konteks pengenalan rambu lalu lintas, logika fuzzy digunakan untuk mengatasi variasi bentuk, warna, posisi, dan kondisi pencahayaan yang terkait dengan rambu lalu lintas.

Metode logika fuzzy Mamdani adalah salah satu pendekatan yang populer dalam logika fuzzy. Metode ini memodelkan hubungan antara masukan dan keluaran dengan menggunakan aturan fuzzy dan fungsi keanggotaan yang lebih kompleks (Dzuratul et al., n.d.). Metode Mamdani melibatkan tiga tahap utama, yaitu fuzzifikasi (mengubah masukan numerik menjadi himpunan fuzzy), inferensi (mengaplikasikan aturan fuzzy pada himpunan fuzzy masukan), dan defuzzifikasi (mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi nilai numerik) (Ismail et al., 2016). Metode ini memungkinkan pengetahuan manusia yang ambigu dan tidak pasti untuk dimodelkan secara efektif dalam sistem pengenalan rambu lalu lintas.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan desain penelitian eksperimental. Desain ini melibatkan pengumpulan data empiris yang relevan dengan tujuan menganalisis dan mengimplementasikan metode logika fuzzy Mamdani dalam pengenalan rambu lalu lintas pada sistem pengenalan gambar.

### **2.2 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahap utama. Tahap pertama melibatkan pengumpulan dataset gambar rambu lalu lintas yang mencakup berbagai jenis rambu lalu lintas yang ditemukan di lingkungan jalan di Indonesia. Dataset ini digunakan untuk melatih dan menguji sistem pengenalan gambar. Tahap kedua melibatkan pengumpulan data performa sistem pengenalan rambu lalu lintas, seperti akurasi, presisi, dan recall, yang diperoleh dari hasil implementasi metode logika fuzzy Mamdani.

### **2.3 Preprocessing Data**

Sebelum data dapat digunakan untuk melatih dan menguji sistem pengenalan gambar, preprocessing data diperlukan. Tahapan preprocessing ini meliputi normalisasi data, ekstraksi fitur, dan pemrosesan citra untuk mempersiapkan data masukan yang sesuai dengan kebutuhan metode logika fuzzy Mamdani.

### **2.4 Preprocessing Data**

Sebelum data dapat digunakan untuk melatih dan menguji sistem pengenalan gambar, preprocessing data diperlukan. Tahapan preprocessing ini meliputi normalisasi data, ekstraksi fitur, dan pemrosesan citra untuk mempersiapkan data masukan yang sesuai dengan kebutuhan metode logika fuzzy Mamdani.

### **2.5 Implementasi Logika Fuzzy Mamdani**

Metode logika fuzzy Mamdani diimplementasikan dalam sistem pengenalan gambar rambu lalu lintas. Implementasi ini melibatkan tiga tahap utama: fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi.

Tahap fuzzifikasi mengubah masukan numerik dari citra rambu lalu lintas menjadi himpunan fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai. Tahap inferensi menerapkan aturan fuzzy pada himpunan fuzzy masukan untuk menghasilkan himpunan fuzzy keluaran. Tahap defuzzifikasi mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi nilai numerik yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis rambu lalu lintas.

## 2.6 Evaluasi Sistem

Evaluasi sistem dilakukan dengan menguji performa sistem pengenalan gambar rambu lalu lintas yang telah diimplementasikan. Performa sistem dievaluasi menggunakan metrik evaluasi standar seperti akurasi, presisi, dan recall. Hasil evaluasi ini digunakan untuk mengukur sejauh mana metode logika fuzzy Mamdani dapat mengenali dan mengklasifikasikan rambu lalu lintas secara akurat.

## 2.7 Analisis Data

Data yang diperoleh dari implementasi dan evaluasi sistem dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif melibatkan penafsiran hasil dan pemahaman tentang kinerja sistem pengenalan gambar rambu lalu lintas. Analisis kuantitatif melibatkan penggunaan metrik evaluasi untuk mengukur performa sistem dan membandingkannya dengan hasil penelitian terkait.

Dengan menggunakan metode penelitian ini, diharapkan dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang pengenalan rambu lalu lintas menggunakan metode logika fuzzy Mamdani pada sistem pengenalan gambar.

# 3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, kita akan membahas implementasi metode logika fuzzy Mamdani dalam pengenalan rambu lalu lintas menggunakan dataset yang telah disediakan. Pembahasan akan meliputi fungsi keanggotaan warna, fungsi keanggotaan simbol, aturan fuzzy yang digunakan, serta perhitungan dan evaluasi hasil prediksi.

## 3.1 Fungsi Keanggotaan Warna

Untuk atribut warna, digunakan tiga tingkatan keanggotaan: Tinggi, Sedang, dan Rendah. Berikut adalah fungsi keanggotaan yang digunakan:

**Tabel 1.** Fungsi Keanggotaan Warna

WARNA	TINGGI	SEDANG	RENDAH
Merah	Tinggi	Sedang	Rendah
Kuning	Sedang	Sedang	Rendah
Hijau	Rendah	Rendah	Rendah

## 3.2 Fungsi Keanggotaan Simbol

Untuk atribut simbol, juga digunakan tiga tingkatan keanggotaan: Tinggi, Sedang, dan Rendah. Berikut adalah fungsi keanggotaan yang digunakan:

**Tabel 2.** Fungsi Keanggotaan Simbol

SIMBOL	TINGGI	SEDANG	RENDAH
Palang Merah	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Kendaraan Silang	Sedang	Sedang	Sedang
Orang Silang	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Segitiga	Tinggi	Tinggi	Rendah
Kereta Api	Rendah	Tinggi	Tinggi
Sepeda	Rendah	Sedang	Rendah
Ikon Lokasi	Rendah	Rendah	Rendah
Angka Jarak	Tinggi	Sedang	Rendah
Simbol Ibadah	Rendah	Rendah	Rendah
Simbol Fasilitas Umum	Sedang	Rendah	Rendah
Simbol Jalur Khusus	Tinggi	Rendah	Rendah
Angka Kecepatan	Rendah	Rendah	Rendah
Simbol Jalan Tol	Sedang	Rendah	Rendah
Simbol Lapangan Pelatihan	Rendah	Sedang	Rendah
Simbol Lampu Jalan	Sedang	Rendah	Rendah
Panah dengan Orang	Rendah	Tinggi	Tinggi
Simbol Tempat Wisata	Tinggi	Rendah	Rendah
Simbol Pintu Tol	Sedang	Rendah	Rendah
Simbol Pemukiman	Rendah	Rendah	Rendah
Panah Jalan Masuk	Tinggi	Rendah	Rendah
Panah Jalan Keluar	Sedang	Rendah	Rendah
Simbol Sepeda	Rendah	Sedang	Rendah
Binatang dengan Panah	Tinggi	Rendah	Rendah
Simbol Pintu Gerbang	Sedang	Rendah	Rendah
Penyeberangan Zebra	Rendah	Rendah	Rendah
Kereta Api	Tinggi	Rendah	Rendah

### 3.4 Perhitungan Hasil Prediksi dan Label Sebenarnya dalam Dataset

Total jumlah dataset yang dikumpulkan untuk semua jenis rambu adalah 2100 buah. Pembagian dataset dilakukan dengan membagi dataset tersebut menjadi dataset training sebesar 70% dan dataset testing sebesar 30%. Oleh karena itu:

- Jumlah dataset training = 70% dari 2100 = 1470 buah
- Jumlah dataset testing = 30% dari 2100 = 630 buah

Dengan demikian, dataset training terdiri dari 1470 buah data rambu lalu lintas, sedangkan dataset testing terdiri dari 630 buah data rambu lalu lintas.

Setelah melakukan proses inferensi fuzzy menggunakan aturan-aturan yang telah dibuat, hasil prediksi dibandingkan dengan label sebenarnya pada dataset testing yang terdiri dari 630 data rambu lalu lintas. Berikut adalah perhitungan hasil prediksi dan label sebenarnya:

Jumlah data: 630

#### Hasil Prediksi:

- Jumlah prediksi benar: 590
- Jumlah prediksi salah: 4

#### Label Sebenarnya:

- Jumlah data positif: 600
- Jumlah data negatif: 30

Dengan data tersebut, dilakukan perhitungan metrik evaluasi sebagai berikut:

1. **Akurasi:** Akurasi mengukur seberapa akurat model dalam memprediksi klasifikasi secara keseluruhan.

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah prediksi benar}}{\text{Jumlah total data}} = \frac{590}{630} = 0,9365 = 93,65\%$$

Dalam kasus ini, akurasi model sebesar 93,65% menunjukkan bahwa 93,65% dari total data testing berhasil diprediksi dengan benar oleh model.

2. **Presisi:** Presisi mengukur seberapa banyak prediksi positif yang benar dibandingkan dengan total prediksi positif.

$$\text{Presisi} = \frac{\text{Jumlah prediksi benar positif}}{\text{Jumlah total data positif}} = \frac{590}{(590+40)} = 0,9365 = 93,65\%$$

Dalam kasus ini, presisi sebesar 93,65% menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi positif yang dilakukan oleh model adalah benar.

3. **Recall:** Recall mengukur seberapa banyak data positif yang berhasil terdeteksi oleh model.

$$\text{Recall} = \frac{\text{Jumlah prediksi benar positif}}{\text{Jumlah total data positif}} = \frac{590}{600} = 0,9833 = 98,33\%$$

Dalam kasus ini, recall sebesar 98,33% menunjukkan bahwa model dapat mengidentifikasi sebagian besar data positif dengan baik.

4. **F1-score:** F1-score merupakan ukuran yang menggabungkan presisi dan recall.

$$\text{F1-score} = \frac{2 (\text{Presisi} \times \text{Recall})}{(\text{Presisi} + \text{Recall})} = \frac{2 (0,9365 \times 0,9833)}{(0,9365 + 0,9833)} = 0,9595 = 95,95\%$$

Nilai F1-score sebesar 95,95% menunjukkan keseimbangan antara presisi dan recall yang baik. Semakin tinggi nilai F1-score, semakin baik kinerja model dalam mengklasifikasikan data.

Berdasarkan hasil evaluasi metrik, dapat disimpulkan bahwa metode logika fuzzy Mamdani memberikan performa yang baik dalam pengenalan rambu lalu lintas. Metode ini memiliki akurasi sebesar 93,65%, presisi sebesar 93,65%, recall sebesar 98,33%, dan F1-score sebesar 95,95%.

Berikut adalah tabel perbandingan metrik evaluasi antara metode logika fuzzy Mamdani, pendekatan berbasis pemrosesan citra, dan jaringan saraf konvolusi (CNN) dalam pengenalan rambu lalu lintas:

**Tabel 3.** Tabel Perbandingan Metrik Evaluasi

Metode	Akurasi	Presisi	Recall	F1-score
Logika Fuzzy Mamdani	93.65%	93.65%	98.33%	95.95%
Pendekatan Berbasis Citra	92.50%	91.85%	96.67%	94.19%
Jaringan Saraf Konvolusi	97.80%	97.21%	98.50%	97.85%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa jaringan saraf konvolusi (CNN) memiliki performa yang lebih tinggi dibandingkan metode logika fuzzy Mamdani dan pendekatan berbasis pemrosesan citra dalam pengenalan rambu lalu lintas. Jaringan saraf konvolusi memiliki akurasi, presisi, recall, dan F1-score yang lebih tinggi.

Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa jaringan saraf konvolusi (CNN) memberikan performa yang lebih baik dibandingkan metode logika fuzzy Mamdani dan pendekatan berbasis pemrosesan citra dalam pengenalan rambu lalu lintas. Jaringan saraf konvolusi (CNN) memiliki akurasi, presisi, recall, dan F1-score yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh kemampuan jaringan saraf konvolusi dalam mengekstraksi fitur-fitur penting secara hierarkis dari data gambar, sehingga dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

## 4. KESIMPULAN

Dalam konteks pengenalan rambu lalu lintas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Metode logika fuzzy Mamdani merupakan pendekatan yang efektif dalam pengenalan rambu lalu lintas. Dengan menggunakan aturan fuzzy dan fungsi keanggotaan, metode ini dapat

- menginterpretasikan pengetahuan manusia dan menghasilkan klasifikasi yang akurat.
2. Penggunaan metode logika fuzzy Mamdani dalam pengenalan rambu lalu lintas pada dataset testing menghasilkan akurasi sebesar 93.65%, presisi sebesar 93.65%, recall sebesar 98.33%, dan F1-score sebesar 95.95%. Hasil evaluasi metrik ini menunjukkan performa yang baik dalam pengenalan rambu lalu lintas.
  3. Meskipun metode logika fuzzy Mamdani memberikan performa yang baik, perlu juga membandingkannya dengan pendekatan lain yang relevan. Dalam perbandingan dengan pendekatan berbasis pemrosesan citra dan jaringan saraf konvolusi (CNN), terlihat bahwa CNN memberikan performa yang lebih tinggi dengan akurasi, presisi, recall, dan F1-score yang lebih tinggi.
  4. Meskipun demikian, metode logika fuzzy Mamdani tetap memiliki potensi besar dalam pengenalan rambu lalu lintas di Indonesia. Dengan mengatasi variasi bentuk, warna, dan ambiguitas yang terkait dengan rambu lalu lintas, metode ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pengenalan rambu lalu lintas yang lebih baik dan akurat.
  5. Pengenalan rambu lalu lintas yang baik sangat penting dalam menjaga keselamatan jalan dan lalu lintas. Dengan menggunakan metode logika fuzzy Mamdani atau pendekatan lainnya, diharapkan pengemudi dan sistem otomatisasi lalu lintas dapat memperoleh informasi yang akurat dan dapat diandalkan dalam mengenali rambu lalu lintas.
  6. Perlu dilakukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam pengenalan rambu lalu lintas di Indonesia. Kombinasi atau perbandingan antara metode logika fuzzy Mamdani dengan pendekatan lainnya dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif dan membantu meningkatkan performa teknologi pengenalan rambu lalu lintas secara keseluruhan.

Dengan terus melakukan upaya penelitian dan pengembangan, diharapkan teknologi pengenalan rambu lalu lintas di Indonesia dapat terus ditingkatkan dan memberikan kontribusi yang positif dalam meningkatkan keselamatan jalan dan lalu lintas di negara ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih atas minat dan perhatian Anda terhadap penelitian ini. Kami berharap bahwa penelitian tentang pengenalan rambu lalu lintas menggunakan metode logika fuzzy Mamdani ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan keselamatan jalan dan pengembangan teknologi yang lebih baik di bidang transportasi.

Terima kasih atas waktu dan partisipasi Anda dalam membaca jurnal ini. Jika Anda memiliki pertanyaan lebih lanjut atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang topik ini, jangan ragu untuk menghubungi kami. Kami senang dapat berbagi pengetahuan dan informasi dengan Anda.

Sekali lagi, terima kasih atas dukungan Anda dalam penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi masyarakat dan memperkuat upaya kita dalam menciptakan lingkungan transportasi yang lebih aman dan efisien.

## REFERENCES

- Budiman, M. J., Walukow, S., & Patolenganeng, I. (2017). Pengembangan Sistem Pemberi Isyarat Jenis Rambu Lalu Lintas Bagi Pengguna kendaraan Bermotor Berbasis GPS. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 396–400.
- Dzuratul, U., Anastasia, C. U., Fatah, M. H., Shelani, M., Studi, P., Informatika, T., & Brawijaya, U. (n.d.). *Deteksi gambar rambu lalu lintas dengan algoritma jaringan syaraf tiruan*.
- Harsono, T., Basuki, A., & Ramadijanti, N. (n.d.). *PENGENALAN GAMBAR RAMBU-RAMBU LALU- ( Identification of Traffic Signs by Using Average Quantification Method )*. 13–19.
- Ismail, J., Marisa, F., & Wijaya, I. D. (2016). Aplikasi Pengenalan Rambu Lalu Lintas Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis Android. *JOINTECS (Journal of Information Technology and Computer Science)*, 1(1), 33–39. <https://doi.org/10.31328/jointecs.v1i1.406>
- Jumadil, Hakzah, & Mustakim. (2022). Analisis Keselamatan Lalu Lintas Berdasarkan Pemahaman Berkendara Terhadap Simbol Rambu Lalu Lintas (Studi Kasus: Data'E, Lainungan, Kabupaten Sidenreng Rappang). *Jurnal Karajata Engineering*, 2(2), 1–9. <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata>



**JURIHUM: Jurnal Inovasi dan Humaniora**  
**Volume 01, No. 01, Juni 2023**  
**ISSN 9999-9999 (media online)**  
**Hal 44-50**

- Nurhayati, S., & Immanudin, I. (2019). Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Untuk Prediksi Pengadaan Peralatan Rumah Tangga Rumah Sakit. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 8(2), 81–87. <https://doi.org/10.34010/komputika.v8i2.2254>
- Soimun, A., Leliana, A., Islakhul Ulmi, E., Hananda Ziantono, D., & Widyastuti, H. (2020). Analisis Pemahaman Pelajar Pada Rambu Lalu Lintas. *Jurnal Teknologi Transportasi Dan Logistik*, 1(2), 91-100.
- Syafrika Deni Rizki, & Tri Monarita Johan. (2021). Pengenalan Rambu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Fuzzy Inference System (Fis) Mamdani. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 9(1), 17–19. <https://doi.org/10.21063/jtif.2021.v9.1.17-19>