

# PENDEKATAN SISTEM FUZZY DALAM PENENTUAN KELAYAKAN RUTE EVAKUASI BENCANA BANJIR BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

## FUZZY-SYSTEM APPROACH IN DETERMINING FEASIBILITY OF FLOOD DISASTER EVACUATION BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Ibnu Fadli R.<sup>1</sup>, Yosef Prihanto<sup>2</sup>, Sukendra Martha<sup>3</sup>

UNIVERSITAS PERTAHANAN

(fadlirahim26@gmail.com, joeprihanto3074@gmail.com, sukendramartha@yahoo.co.id)

**Abstrak** – Kota Semarang adalah salah satu *benchmark* untuk tata kelola perubahan iklim di Indonesia. Diketahui bahwa pada sebagian besar zona Semarang Bawah berisiko terhadap banjir yang disebabkan karena memiliki ketinggian permukaan tanah rendah. Dalam situasi banjir, diperlukan penyusunan rencana evakuasi sebagai langkah untuk membantu penduduk terdampak banjir. Evakuasi penduduk dilaksanakan dari permukiman menuju kantor kelurahan. Ketidaktahuan pada kondisi jalan dapat menghambat proses evakuasi. Maka dari itu, disamping memperhatikan perencanaan rute evakuasi dari jarak dan kapasitas jalan, juga melihat kondisi kualitas jalan. Dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG), perencanaan rute dapat lebih cepat dilakukan. Proses penentuan rute evakuasi menggunakan ArcGIS dan menggunakan metode *fuzzy Sugeno* untuk memperoleh bobot ruas jalan dan mengetahui kelayakan ruas jalan yang ingin digunakan sebagai rute evakuasi. Hasil yang diperoleh adalah bahwa sebagian besar ruas jalan Semarang Bawah 89,02% layak jika dimanfaatkan sebagai rute evakuasi, lalu 10,98% bersyarat. Ketidaklengkapan data jalan membuat penentuan rute evakuasi terhambat.

**Kata Kunci:** Rute Evakuasi, Bencana Banjir, Fuzzy, Informasi Geospasial, Pemodelan.

**Abstract** – The city of Semarang is one of *benchmark* for governance of climate change in Indonesia. Known in most of the Semarang zone is at risk of flooding caused by low ground level, a form of alluvial land area of 9,761 Ha and excess groundwater production that makes surface decreased each year. In flood situations, a preparation of evacuation plans is required as a step to help people affected by flooding. Evacuation of residents carried out from settlements to village offices. Ignorance on road conditions can impede evacuation process. Therefore, in addition to planning of evacuation routes of distance and road capacity, also see road quality. By utilizing geographic information systems (GIS), route planning can be faster. Determination process of evacuation route using ArcGIS and Sugeno fuzzy method to obtain road section weights then determine the these weights for road suitability in evacuation process. As results obtained based on this research is that most of Down Semarang City road section 89,02% suitable if used as evacuation route, then 10,98% conditional. The complete lack of data on road conditions could prevent evacuation routing process.

**Keywords:** Evacuation Route, Flooding, Fuzzy, Geospatial Information, Modelling.

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Penginderaan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup> Badan Informasi Geospasial

<sup>3</sup> Lemhannas RI

## Pendahuluan

Bencana alam dikelompokkan oleh sebagai salah satu ancaman nyata, yakni ancaman yang dihadapi setiap saat, berasal dari dalam maupun luar negeri yang dapat mengancam keselamatan dan keamanan negara, wilayah serta keselamatan warga negara<sup>4</sup>. Bencana alam termasuk kategori ancaman nonmiliter, maka operasi penanganannya memposisikan Kementerian/ Lembaga di luar bidang pertahanan sebagai unsur utama. Penanggulangan bencana telah diatur dalam Undang-Undang nomor 24 tahun 2007. Kementerian/ Lembaga dibantu kekuatan TNI sebagai komponen utama pertahanan negara berdasarkan Undang-Undang nomor 34 tahun 2004 dalam Operasi Militer Selain Perang (OMSP).

Diketahui bahwa negara Indonesia berstatus sebagai negara kepulauan berdasarkan konvensi UNCLOS pada tahun 1982. Indonesia memiliki lebih dari 17 ribu pulau dan garis pantainya yang panjang, serta wilayah perairan laut yang luas mengisi 2/3 dari wilayah NKRI. Dari berbagai kekayaan alam yang dimiliki, wilayah Indonesia memiliki kerentanan

terhadap bermacam bahaya dan ancaman khususnya bencana alam. Berdasarkan data 5 tahun terakhir dari 2014-2018 yang didapatkan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), jumlah bencana yang terjadi di Indonesia meningkat setiap tahun sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1.** Kejadian Bencana di Indonesia dalam 5 Tahun Terakhir  
Sumber: BNPB (2019)

Pada gambar 1 menunjukkan bahwa jumlah kejadian bencana yang tercatat meningkat. Adapun sepanjang tahun 2018 telah terjadi bencana banjir sebanyak 679 kali dengan jumlah korban jiwa 119, luka-luka 221, dan yang terdampak/ mengungsi sebanyak 1.547.822 jiwa. Hal ini cukup memprihatinkan dan oleh sebab itu perlu penanganan ekstra untuk mengurangi jumlah korban<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Kementerian Pertahanan, *Buku Putih Pertahanan Indonesia*, (Jakarta, 2015).

<sup>5</sup> Badan Nasional Penanggulangan Bencana, "Data Informasi Bencana Indonesia", dalam

<http://bnpb.cloud/dibi>, diakses pada 14 September 2019.

Kota Semarang secara astronomis terletak antara 6°50' – 7°10' Lintang Selatan dan 109°35' – 110°50' Bujur Timur. Memiliki luas wilayah administrasi 373,7 km<sup>2</sup>, populasi penduduk kota Semarang sebanyak 1.786.114 jiwa. Sebagai ibukota provinsi Jawa Tengah, rata-rata kepadatan penduduk 4.780 jiwa/km<sup>2</sup> dan rata-rata laju pertumbuhan penduduk per tahun sejak 2015-2018 sebesar 1,64%<sup>6</sup>.

Menurut ketinggian permukaan tanah, wilayah Semarang dibedakan menjadi tiga wilayah zona, yaitu zona Semarang bawah, Semarang Tengah dan Semarang Atas<sup>7</sup>. Zona Semarang bawah berbatasan dengan wilayah pesisir pantai. Sejak tahun 2009, dengan hadirnya *Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN)* kota Semarang menjadi *benchmark* dalam tata kelola perubahan iklim di Indonesia<sup>8</sup>. Perubahan iklim dapat memengaruhi intensitas dan volume curah hujan serta kenaikan permukaan air laut. Apabila berada pada kondisi tertinggi, wilayah pesisir berisiko tergenang banjir dan rob.

Maka dari itu, pemerintah kota Semarang menetapkan banjir dan rob ke dalam prioritas penanganan banjir<sup>9</sup>.

Dalam upaya mitigasi bencana, detail informasi yang berhubungan dengan fasilitas publik atau ruang evakuasi, akomodasi dan rute evakuasi itu diperlukan. Kesiapan ini untuk membantu mempercepat proses evakuasi dan menghindari bertambahnya korban terdampak. Pada riset ini menganalisis kesiapan ruas jalan di kecamatan Semarang Barat sebagai sampel riset. Adapun wilayah sebagian besar kecamatan Semarang Barat masuk dalam kawasan banjir, di sisi lain memiliki prosentase penduduk 9,1 % dari total penduduk kota Semarang dan dengan kepadatan penduduk 7.475 jiwa/km<sup>2</sup>.<sup>10</sup>

Dikarenakan terdapat banyaknya ruas jalan di kecamatan Semarang Barat, maka dari itu pada riset ini data jalan dimodelkan secara spasial dengan *software ArcGIS*. *ArcGIS* merupakan sebuah *software* pengolahan data untuk menghasilkan produk berbasis sistem

<sup>6</sup> Badan Pusat Statistik kota Semarang, *Kota Semarang dalam Angka: 2019*, (Semarang, 2019).

<sup>7</sup> Yosef Prihanto, *Rekonstruksi Model Sosio-Spasial Pemanenan Air Hujan untuk Mendukung Keberlanjutan Pasokan Air Wilayah Urban*. (Universitas Indonesia, 2018).

<sup>8</sup> Rukuh Setiadi, "Tata Kelola Perubahan Iklim di Kota Semarang: Dulu, Sekarang, dan ke Depan", *Jurnal RIPTEK*, Vol. 10, No. 1, 2016, hlm. 33-42.

<sup>9</sup> Pemerintah kota Semarang, *Dokumen Kajian Risiko Bencana Kota Semarang periode 2018-2022*, (Semarang, 2017).

<sup>10</sup> Badan Pusat Statistik kota Semarang, *Kota Semarang dalam Angka*, (Semarang, 2019).

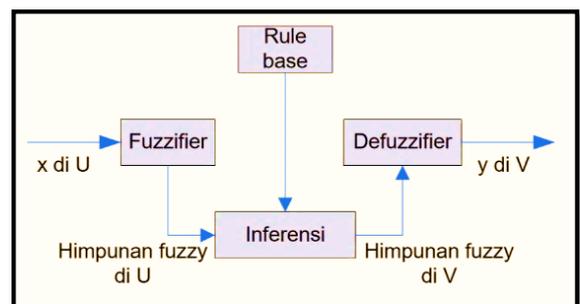
informasi geografis (SIG), umumnya berbentuk peta. Ruas jalan yang layak dilalui akan dianalisa dan ditinjau dari aspek fisik jalan, diantaranya jarak, kapasitas dan kualitas jalan. Dalam penentuan kelayakannya dibantu dengan sistem logika fuzzy Sugeno. Informasi jalan mana saja yang optimal untuk dilalui sangat membantu tim reaksi cepat dalam memberikan bantuan kepada warga yang terdampak dan harus mengungsi.

Menurut Purwadhi (2001), Sistem Informasi Geografis atau disingkat dalam SIG merupakan suatu sistem yang mengorganisir kinerja perangkat keras, perangkat lunak, dan data untuk kemudian disimpan, diolah, dan dianalisis secara simultan dengan maksud agar tersajikan informasi yang berhubungan dengan basis keruangan.

Menurut F. Goodchild (2004), model adalah representasi dari sesuatu yang nyata, baik fisik maupun non-fisik. Tujuannya adalah untuk dapat mempelajari objek yang kompleks di dalam ruang lingkup sistem yang lebih kecil. Maka ketika aspek keruangan (spasial) dimodelkan, suatu proses

terjadinya bencana seperti gempa, banjir, atau tsunami dapat dimodelkan dan disimulasikan untuk diteliti agar dalam waktu ke depan dapat mencegah atau meminimalisir dampak yang terjadi akibat bencana yang dianalisis.

Sistem logika fuzzy adalah sistem yang membantu dalam mengambil suatu keputusan berdasarkan aturan atau pengetahuan<sup>11</sup>. Logika fuzzy menyatakan suatu keadaan memiliki nilai kebenaran yang memungkinkan nilai keanggotaan berada di rentang antara 0 dan 1 yang besar nilainya bergantung pada besar bobot keanggotaan yang dimiliki<sup>12</sup>. Logika fuzzy memiliki beberapa tahapan, yaitu fuzzifikasi, inferensi aturan fuzzy, dan defuzzifikasi<sup>13</sup> yang diilustrasikan pada gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2.** Tahapan Logika Fuzzy  
Sumber: Sihotang (2016)

## Metode Riset

<sup>11</sup> LX. Wang, "A Course in Fuzzy Systems and Control", International ed., (Prentice-Hall International Inc, 1996).

<sup>12</sup> T. Sutojo et al., *Kecerdasan Buatan*, (Yogyakarta: Andi Offset, 2011).

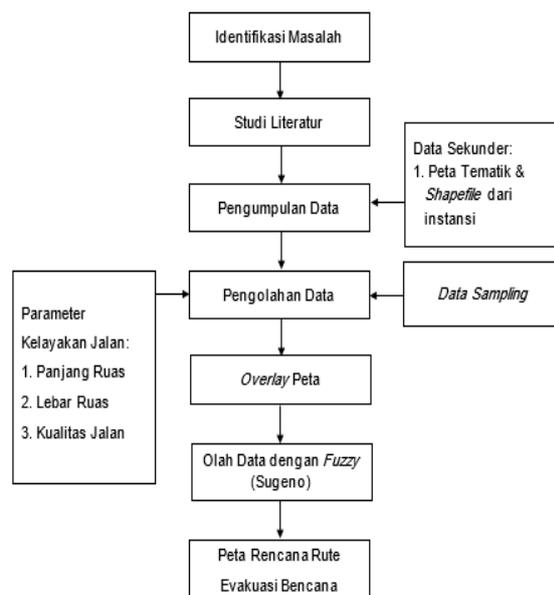
<sup>13</sup> Nadia R. Sari. et al., "Fuzzy Inference System Tsukamoto untuk Menentukan Kelayakan Calon Pegawai", *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia 2-3 November 2015*, hh. 245-252.

Metode yang digunakan dalam riset ini adalah metode kuantitatif dengan tujuan untuk membuat model. Metode kuantitatif adalah pengujian teori secara objektif dengan cara mencari hubungan antar variabel-variabel dalam riset<sup>14</sup>. Pengujian data pada riset ini menggunakan ArcGIS, Ms.Excel dengan menerapkan sistem *fuzzy* untuk mendapatkan angka kelayakan rute evakuasi yang optimal.

Data riset yang akan diolah dalam riset ini adalah diantaranya:

- a. Panjang ruas dalam satuan meter (m).
- b. Lebar ruas jalan dalam satuan meter (m).
- c. Kualitas jalan, dari nilai IRI yang diperoleh dari Dinas PU kota Semarang.

Adapun alur tahapan kerja riset ini ditunjukkan pada gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Alur Kerja Riset  
Sumber: diolah peneliti (2020)

### Analisis Spasial: Overlay Peta

Untuk menentukan wilayah yang berisiko banjir atau masuk kawasan banjir, diperlukan data *shapefile* pendukung diantaranya:

- a. *Shapefile* jaringan jalan kota Semarang.
- b. *Shapefile* Kawasan banjir kota Semarang.
- c. *Shapefile* batas administrasi kota Semarang.
- d. *Shapefile* tata guna lahan untuk permukiman penduduk.

Dari keempat *shapefile* di atas di *overlay* menjadi satu visual peta yang menampilkan keempat *properties* peta sesuai sampel riset di *layout* ArcGIS. Tujuan *overlay* disini adalah untuk

<sup>14</sup> John W. Creswell, *Research Design: Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif dan Campuran*, (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2016).

mengetahui luasan wilayah yang terdampak banjir dan yang aman dari banjir.

#### **Analisa Jarak Rute**

Panjang ruas menunjukkan nilai bobot awal jarak antar node saat mencari rute evakuasi, diikuti oleh nama jalan sebagai panduan rute<sup>15</sup>. Aturan *fuzzynya* dibagi 3, yaitu:

- a. Jarak  $< 400$  meter, dikatakan “PENDEK”.
- b. Jarak  $\geq 400$  meter dan  $< 1000$  meter, dikatakan “SEDANG”.
- c. Jarak  $\geq 1000$  meter, dikatakan “PANJANG”.

#### **Analisa Kapasitas Jalan**

Kapasitas ruas jalan menunjukkan berapa banyak kendaraan yang dapat melewati satu ruas jalan yang sama. Semakin lebar ruas jalan maka volume kendaraan yang dapat melalui ruas jalan tersebut lebih besar. Dengan diketahuinya kapasitas ruas jalan, maka dalam pemilihan rute dapat mempertimbangkan kepadatan lalu lintas saat akan melakukan evakuasi. Aturan *fuzzynya* dibagi 3, yaitu:

- a. Lebar jalan  $< 4$  meter, dikatakan “RAPAT”.

b. Lebar jalan  $\geq 4$  meter dan  $< 10$  meter, dikatakan “SEDANG”.

c. Lebar jalan  $\geq 10$  meter dikatakan “Lebar”.

#### **Analisa Kualitas Jalan**

Kualitas jalan dinyatakan sebagai kondisi umum jalan untuk setiap nama jalan di wilayah sampel. Penilaian kondisi jalan mengacu pada tingkat kerusakan jalan. Data kondisi umum jalan merujuk pada nilai IRI (*International Roughness Index*) dalam data survei jaringan jalan yang telah dihimpun oleh Dinas Pekerjaan Umum kota Semarang. Adapun nilai *fuzzynya* dibagi dalam 3 kelas:

- a. IRI  $< 4,0$  kondisi jalan dikatakan “BAIK”.
- b. IRI  $\geq 4,0$  dan IRI  $< 12,0$  kondisi dikatakan “SEDANG”.
- c. IRI  $\geq 12,0$  kondisi jalan dikatakan “RUSAK”.

#### **Sistem fuzzy dan Inferensi Sugeno**

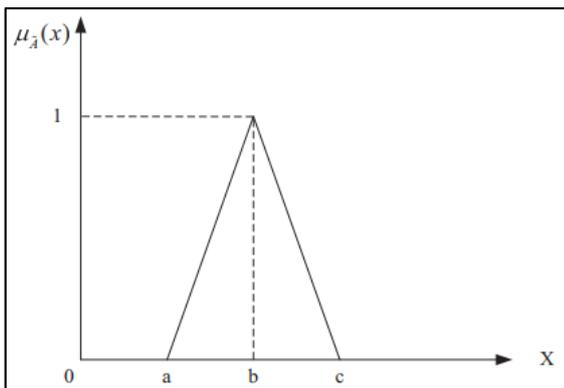
Dalam Sutojo (2011), fuzzifikasi dilakukan oleh komponen *fuzzifier*, yaitu komponen yang mengubah input sistem yang memiliki nilai tegas (*crisp input*) menjadi variabel yang dapat dibahasakan (linguistik), dan variabel ini menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam

---

<sup>15</sup> R.A Pramudya & Subiyanto, “Penggunaan Algoritma Dijkstra Dalam Perencanaan Rute Evakuasi Bencana Longsor Di Kota Semarang”,

*Journal of Geometric and Planning*, Vol.2, No.2, hlm. 93-102.

basis knowledge sistem fuzzy. Fungsi keanggotaan direpresentasikan dalam bentuk grafik, dengan interval derajat keanggotaan ( $\mu$ ) pada skala 0-1. Pada riset ini menggunakan grafik kurva segitiga pada gambar 4 berikut <sup>16</sup>.



**Gambar 4.** Kurva Segitiga Sistem Fuzzy  
Sumber: Y. Deng et al. (2011)

Dalam proses inferensi atau penalaran (*reasoning*), operasi terhadap himpunan fuzzy diperlukan. Dalam hal ini adalah derajat keanggotaannya ( $\mu$ ). Untuk menentukan nilai dari derajat keanggotaan dapat menggunakan persamaan (1) berikut.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \\ 0; & x > c \end{cases}$$

Setelah didapatkan nilai derajat keanggotaan, nilai ini pada setiap parameter akan dikenakan untuk semua *rulebase* pada proses inferensi. Metode

inferensi *rulebase* yang digunakan adalah metode Sugeno. Pada riset ini menggunakan fungsi *min-max* dengan persamaan (2) berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{A \cap B}(x) &= \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \\ \mu_{A \cup B}(x) &= \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \end{aligned}$$

Output dari proses inferensi sistem fuzzy adalah suatu himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy masih berupa variabel linguistik sehingga harus dikonversi menjadi nilai yang tegas (*crisp output*) agar dapat dieksekusi dalam sistem kontrol. Proses ini disebut defuzzifikasi.

Proses Defuzzifikasi pada riset ini menggunakan fungsi *weighted average* atau rata-rata terbobot dari nilai hasil inferensi *rulebase* pada sistem fuzzy yang dibuat, ditunjukkan dengan persamaan (3) sebagai berikut.

$$W. A. = \frac{\sum_{j=1}^n \mu A(k_j) \times k_j}{\mu A(k_j)}$$

Dimana  $k_j$  adalah bobot kelas yang ditentukan untuk memberikan batas minimum-maksimum tiap kelas keanggotaan pada sistem fuzzy.  $\mu A$  adalah derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy hasil inferensi *rulebase*.

## Hasil dan Pembahasan

<sup>16</sup> Y. Deng et al., "Fuzzy Dijkstra Algorithm for Shortest Path Problem under Uncertain

Environment". *Journal of Applied Soft Computing*, Vol. 12, hlm. 1231-1237.

Berdasarkan data jaringan jalan yang diperoleh dari Dinas PU kota Semarang, jumlah ruas jalan di kecamatan Semarang Barat sebanyak 82 ruas jalan terbentang sepanjang 64.859,21 meter. Sebanyak 31,71% dalam kondisi “Baik”, 53,66% kondisi “Sedang”, dan 14,63% kondisi “Rusak”. Penilaian ini berdasarkan survei mereka yang mengacu pada nilai IRI.

**Fuzzifikasi**

Tujuannya untuk mendapatkan nilai keanggotaan fuzzy. Proses ini dilakukan di Ms.Excel. Sebelum masuk ke tahap proses fuzzifikasi, terlebih dahulu membagi kelas kelayakan jalan sebagai rute evakuasi menjadi sebanyak 3 kelas parameter seperti pada tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Batas Kelas Tiap Parameter

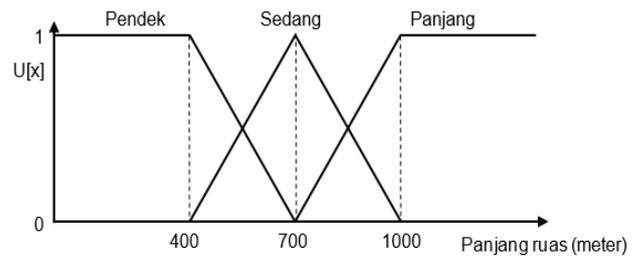
Variabel	Layak	Bersyarat	Tidak Layak
<b>Panjang Ruas Jalan</b>	1 - 399 (Pendek)	≥ 400 atau < 1000 Meter (Sedang)	≥ 1000 Meter (Panjang)
<b>Lebar Ruas Jalan</b>	≥ 10 Meter (Lebar)	≥ 4 atau < 10 Meter (Sedang)	1 - 3,99 Meter (Rapat)
<b>Kualitas Jalan</b>	1 - 3,99 (Baik)	4,0 ≤ IRI < 12,0 (Sedang)	≥ 12,0 (Rusak)

Sumber: diolah peneliti (2020)

Dari batas kelas yang ditunjukkan oleh tabel 1, maka dapat disusun grafik fungsi keanggotaan dari masing-masing

kelas variabel, dan dijelaskan dengan gambar 5 dengan persamaan (5), gambar 6 dengan persamaan (6) dan gambar 7 dengan persamaan (7) di bawah ini.

a. Fungsi Keanggotaan Variabel Panjang Ruas



**Gambar 5.** Grafik Fungsi Panjang Ruas

Sumber: diolah peneliti (2020)

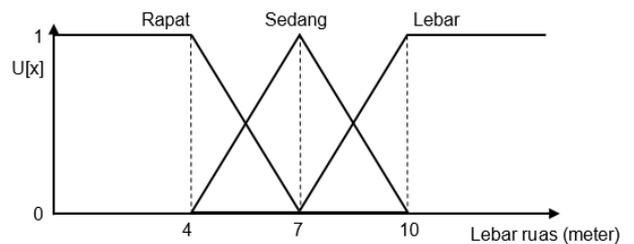
Fungsi persamaan (5):

$$\mu_{\text{Pendek}}[x] = \begin{cases} 1; & x < 400 \text{ meter} \\ (x-a)/(b-a); & 400 \leq x < 700 \text{ meter} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} (x-a)/(b-a); & 400 \leq x < 700 \text{ meter} \\ (c-x)/(c-b); & 700 \leq x < 1000 \text{ meter} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Panjang}}[x] = \begin{cases} (c-x)/(c-b); & 700 \leq x < 1000 \text{ meter} \\ 1; & x \geq 1000 \text{ meter} \end{cases}$$

b. Fungsi Keanggotaan Variabel Lebar Ruas



**Gambar 6.** Grafik Fungsi Lebar Ruas

Sumber: diolah peneliti (2020)

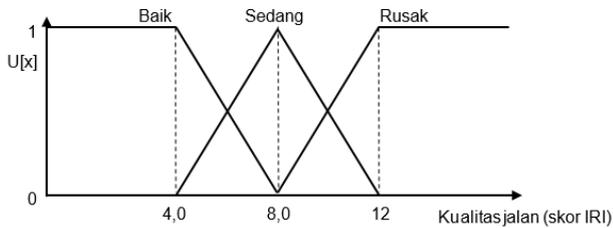
Fungsi persamaan (6):

$$\mu_{\text{Rapat}}[x] = \begin{cases} 1; & x < 4 \text{ meter} \\ (x-a)/(b-a); & 4 \leq x < 7 \text{ meter} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} (x-a)/(b-a); & 4 \leq x < 7 \text{ meter} \\ (c-x)/(c-b); & 7 \leq x < 10 \text{ meter} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Lebar}}[x] = \begin{cases} (c-x)/(c-b); & 7 \leq x < 10 \text{ meter} \\ 1; & x \geq 10 \text{ meter} \end{cases}$$

c. Fungsi Keanggotaan Variabel Kualitas Jalan



Gambar 7. Grafik Fungsi Kualitas Jalan sumber: diolah peneliti (2020)

Fungsi persamaan (7):

$$\mu_{\text{Baik}}[x] = \begin{cases} 1; & x < 4,0 \\ (x-a)/(b-a); & 4,0 \leq x < 8,0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} (x-a)/(b-a); & 4,0 \leq x < 8,0 \\ (c-x)/(c-b); & 8,0 \leq x < 12,0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Rusak}}[x] = \begin{cases} (c-x)/(c-b); & 8,0 \leq x < 12,0 \\ 1; & x \geq 12,0 \end{cases}$$

Inferensi Rulebase Sugeno

Setelah diperoleh nilai keanggotaan fuzzy untuk tiap parameter ruas jalan, selanjutnya masuk tahap inferensi rulebase, yaitu membuat basis aturan dalam sistem fuzzy yang dibuat. Pada penelitian ini memiliki total 27 rulebase.

Proses inferensi terhadap rulebase menggunakan metode Takagi Sugeno dengan fungsi min-max, yaitu mengambil nilai fuzzy terkecil diantara 3 kelas pada tiap rulebase. Kemudian mengambil nilai maksimum dari masing-masing kelas “Layak”, “Bersyarat”, dan “Tidak Layak”.

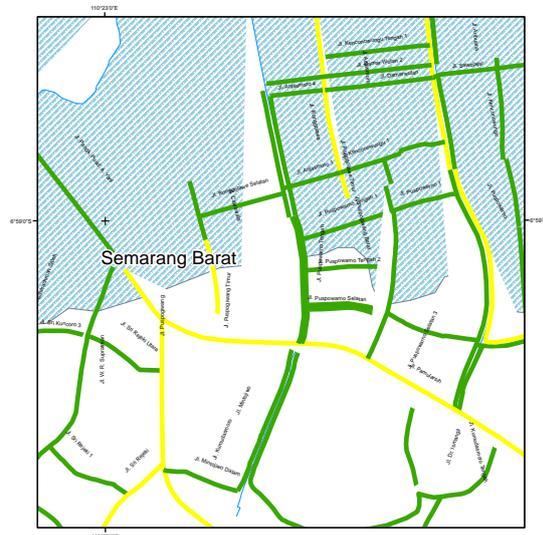
Defuzzifikasi

Tahap terakhir adalah proses defuzzifikasi, yaitu mencari nilai tegas (crisp value) dari hasil inferensi rulebase. Metode yang digunakan pada penelitian

ini adalah weighted average, yaitu mencari rata-rata terbobot dari masing-masing nilai maksimum 3 kelas paramater. Bobot untuk kelas tidak layak (30), bersyarat (70), layak (100) yang akan dikalkulasi pada persamaan (8) berikut.

$$W.A. = \frac{\mu(\text{maxTL}) * 30 + \mu(\text{maxBS}) * 70 + \mu(\text{maxL}) * 100}{\mu(\text{maxTL}) + \mu(\text{maxBS}) + \mu(\text{maxL})}$$

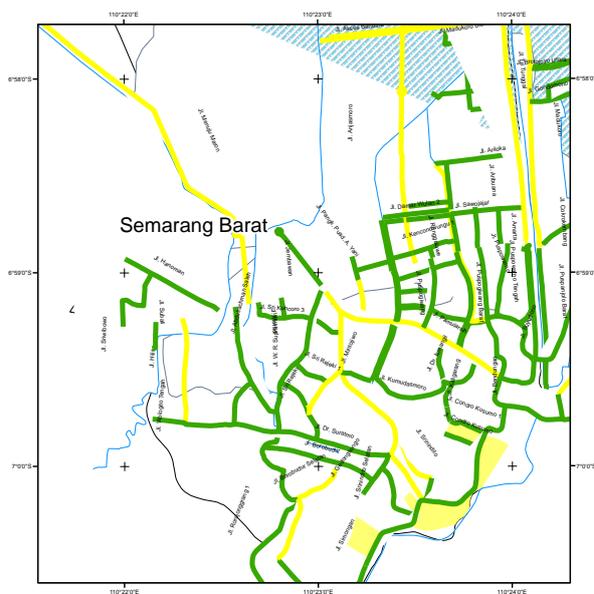
Setelah didapatkan weighted average tiap ruas jalan, selanjutnya nilai tersebut dimasukkan ke dalam tabel data jaringan jalan pada shapefile jaringan jalan kota Semarang di kecamatan Semarang Barat pada ArcGIS. Adapun hasilnya disajikan seperti pada gambar8 berikut.



Gambar 8. Hasil Pengolahan Data Jalan dengan fuzzy Sumber: diolah peneliti (2020)

Dari gambar 7, ruas jalan yang berwarna hijau adalah ruas jalan yang berada pada kondisi “Layak” jika dipilih sebagai rute evakuasi. Dan ruas jalan

dengan warna kuning adalah ruas jalan “Bersyarat” jika dipilih sebagai rute evakuasi. Dari total 82 ruas jalan di Semarang Barat, 89,02% atau sebanyak 73 ruas jalan berada dalam kelas “Layak” untuk dilalui sebagai rute evakuasi, dan 10,98% atau 9 ruas dapat dilalui dengan kondisi “Bersyarat”. Pada gambar 9 Di bawah ini ditampilkan hampir menyeluruh ruas jalan di Semarang Barat yang berhasil diolah.



**Gambar 9.** Ruas Jalan Berwarna Hijau yang Layak dipilih Sebagai Rute Evakuasi  
Sumber: diolah peneliti (2020)

### Kesimpulan Dan Saran

Dari hasil pengujian data jalan, didapatkan kesimpulan bahwa sebagian besar ruas jalan di kecamatan Semarang Barat dapat dilalui dengan “Layak”, yaitu sebesar 89,02% dan 10,98% dapat dilalui dengan “Syarat” diantaranya apakah

jaraknya terlalu jauh, lebar jalan terlalu rapat atau kondisi jalan yang rusak.

Terdapat beberapa ruas jalan yang tidak atau belum memiliki nilai IRI, sehingga nilai kelayakan ruas jalan tersebut diragukan jika dipilih sebagai rute evakuasi. Rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya adalah peningkatan integrasi data jalan yang akan digunakan sebagai sampel riset.

### Daftar Pustaka

#### Buku

Badan Pusat Statistik kota Semarang. (2019). Kota Semarang dalam Angka 2019. Semarang: BPS kota Semarang.

Creswell, John W. (2016). *Research Design: Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif dan Campuran*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. Jakarta.

Prihanto, Yosef. (2018). *Rekonstruksi Model Sosio-Spasial Pemanenan Air Hujan untuk Mendukung Keberlanjutan Pasokan Air Wilayah Urban*. Universitas Indonesia.

Sutojo, T., E. Mulyanto, V. Suhartono. (2011). *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Wang, LX. (1996). *A Course in Fuzzy Systems and Control, International ed.*, Prentice-Hall International Inc.

#### Jurnal

Sari, Nadia R., Wayan F.M. (2015). “Fuzzy Inference System Tsukamoto untuk Menentukan Kelayakan Calon Pegawai”. Seminar Nasional Sistem

Informasi Indonesia 2-3 November 2015, hh. 245-252.

Setiadi, Rukuh. (2016). "Tata Kelola Perubahan Iklim di Kota Semarang: Dulu, Sekarang, dan ke Depan". Jurnal RIPTTEK, vol. 10(1), hh. 33-42.

Sihotang, Donny M. (2016). "Metode Skoring dan Metode Fuzzy dalam Penentuan Zona Resiko Malaria di Pulau Flores". JNTETI, vol. 5(4).

Deng, Y., Y. Chen, Y. Zhang, S. Mahadevan. (2011). "Fuzzy Dijkstra Algorithm for Shortest Path Problem under Uncertain Environment". *Journal of Applied Soft Computing*, vol. 12 (2012), hlm. 1231-1237.

#### **Peraturan**

Undang-Undang nomor 34 tahun 2004 dalam Operasi Militer Selain Perang (OMSP).

#### **Website**

F. Goodchild, Michael. (2004). "Introduction to Spatial Modelling", dalam <http://www.geog.ucsb.edu/~good/275/spatialmodeling.ppt>.