

## PENGGUNAAN METODE FUZZY DALAM PENENTUAN ZONA RESIKO MALARIA DI PULAU FLORES NTT

Dony Sihotang<sup>1</sup>, Honey Ndoen<sup>2</sup>, Defritus Punuf<sup>2</sup>

(1) Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

(2) Departemen Epidemiologi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Nusa Cendana

(3) Departemen P.Geografi, Fakultas Keguruan & Ilmu Pengetahuan, Universitas Nusa Cendana

Email: <sup>1</sup>dmsihotang99@gmail.com, <sup>2</sup>ivonhoney@gmail.com, <sup>3</sup>deffpunuf\_rs09@yahoo.com

### Abstract

The purpose of this study was to compare the result of mapping malaria risk zone by fuzzy method against actual data of Annual Parasite Incidence (API 2014). Variables used in determining malaria risk area are temperature, density of vegetation and land cover. From the result of satellite image processing by remote sensing technology obtained an average of every pixel in the district area for temperature, density of vegetation and land cover are then processed by the fuzzy model. Accuracy tests have been conducted for 100 districts where the fuzzy model has an accuracy rate of 61.54%. From the test results shows that the fuzzy model tends to produce a higher grade than the grade on actual data. As fuzzy model produces class "High" but actually "Low" (17,85%), fuzzy model produces class "Medium" but actually "Low" (2,20%), or fuzzy models produces class "High" but actually "Medium" (14,29%). This could be caused by a form of intervention for mosquito nest eradication conducted in some districts is quite effective. Beside that, several districts are still passive in detecting the number of malaria cases so that the actual data is provided tends to lower.

*Key word : Malaria, fuzzy model, level of risk*

### 1. Pendahuluan

Di Indonesia penyakit malaria tersebar diseluruh pulau dengan derajat endemisitas yang bervariasi. Berdasarkan Profil Kesehatan Indonesia Kementerian Kesehatan RI (2014) [1], dari 34 provinsi di Indonesia terdapat 3 provinsi dengan insiden dan prevelansi malaria tertinggi yaitu: Papua, Papua Barat, dan Nusa Tenggara Timur (NTT). Kasus Annual Parasite Incidence (API) di NTT sudah mengalami penurunan dari tahun 2010-2014. Jumlah kasus malaria positif pada tahun 2010 sebesar 142.965 dengan API 31.10%, tahun 2011 sebesar 104.985 dengan API 22.09%, tahun 2012 sebesar 93.645 dengan API 19.41%, tahun 2013 sebesar 81.236 dengan API 16.37%, dan ditahun 2014 sebesar 64.953 dengan API 12.81% [2].

Meskipun sudah memiliki *trend* yang baik di 2010-2014, namun sesuai dengan [1] menunjukkan rasio penderita penyakit malaria di NTT mencapai 13/1000, artinya dalam 1000 orang terdapat 13 penderita malaria. Dimana rasio tersebut masih jauh diatas rasio standard nasional yang hanya 5/1000.

Parameter yang paling sering digunakan dalam melakukan pemetaan daerah resiko malaria adalah parameter lingkungan diantaranya suhu dan kerapatan vegetasi. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mendukung habitat nyamuk anopheles [3]. Suhu optimum untuk perkembangan parasit malaria adalah 25°C sampai 30°C [4]. Pada suhu dibawah 20°C, Plasmodium Falciparum, yang menyebabkan malaria

berat, tidak bisa menyelesaikan siklus hidupnya dalam nyamuk anopheles sehingga tidak bisa ditularkan. Disisi lain, peningkatan suhu diatas 30°C memiliki dampak negatif terhadap kelangsungan hidup nyamuk [5,6]. Pada nyamuk dewasa, peningkatan suhu dapat mempercepat pencernaan makanan darah yang diambil oleh nyamuk, yang mengarah ke peningkatan frekuensi menggigit pada manusia dan penularan malaria [7].

Selain suhu, kerapatan vegetasi juga berperan dalam perkembangbiakan dan habitat nyamuk anopheles. Kerapatan vegetasi dapat diketahui melalui transformasi citra penginderaan jauh, yaitu dengan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI akan memberikan nilai berkisar -1 sampai 1 dimana objek yang diidentifikasi sebagai vegetasi memiliki nilai > 0. Nilai kerapatan vegetasi diwilayah tropis (Indo-China) yang optimal untuk perkembangbiakan dan hunian nyamuk berkisar 0,3 sampai 0,4.

Penelitian mengenai penentuan daerah resiko malaria sudah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Pendekatan yang paling umum digunakan adalah Sistem Informasi Geografi (SIG). Pendekatan ini menggunakan analisis tumpang susun (*overlay*) dari parameter lingkungan untuk memperoleh daerah resiko kasus malaria. Chikodzi (2013) [8], menggunakan pendekatan SIG untuk memetakan tingkat resiko malaria berdasarkan parameter suhu, curah hujan, ketinggian, lereng, penggunaan lahan, dimana data parameter diperoleh dari pengolahan Citra Landsat 8 tahun 2013.

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh juga sering digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter spasial dalam memperoleh peta resiko malaria. Sihotang dan Punuf (2015) [9] memanfaatkan teknologi penginderaan jauh untuk menganalisis parameter-parameter spasial habitat nyamuk anopheles seperti suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan. Data parameter spasial tersebut diperoleh dari hasil olah citra Landsat 8 liputan Pulau Flores dengan rekaman tanggal 14 september 2014. Hasil uji akurasi dengan data lapangan sebanyak 37 titik sampel menunjukkan untuk peta parameter suhu memiliki akurasi sebesar 85%, peta parameter kerapatan vegetasi memiliki akurasi sebesar 61%, dan peta parameter penutup lahan memiliki akurasi sebesar 89%.

Saat ini Sistem Informasi Geografi (SIG) sudah dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang termasuk dalam bidang kesehatan. SIG mampu untuk memberikan pemetaan tingkat resiko malaria. Metode konvensional yang sering digunakan dalam SIG adalah metode skoring. Ada satu kekurangan dalam metode skoring yaitu hasil yang diberikan seringkali memberikan ketidakpastian (*uncertainty*), yang disebabkan adanya ketidaksempurnaan dalam pengambilan data, cara pengolahan dan interpretasi data, atau dalam pembuatan model. Jika ketidakpastian semakin besar, maka informasi yang dihasilkan semakin menjauh dari keadaan sebenarnya atau tidak realistik. Salah satu cara untuk mengurangi masalah ketidakpastian tersebut dapat digunakan metode fuzzy sebagai pengganti metode skoring yang selama ini digunakan dalam membangun SIG [10].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil pemetaan tingkat resiko malaria dengan model fuzzy terhadap data aktual API untuk 91 kecamatan di Pulau Flores NTT berdasarkan parameter suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan.

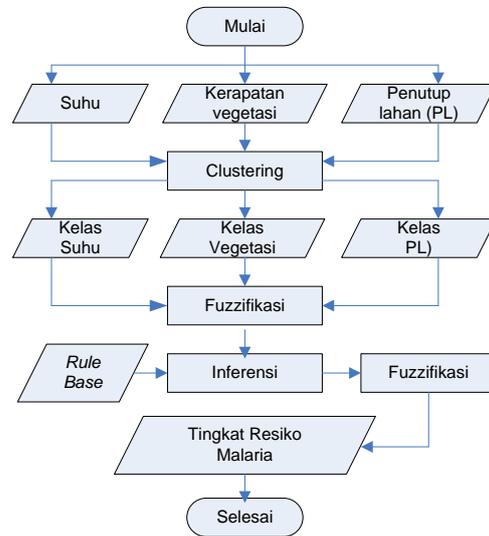
**2. Metodologi**

Penelitian ini dimulai dari mempersiapkan data nilai suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan dari citra Landsat 8 cakupan Pulau Flores dengan data rekaman pada tanggal 14 September 2014 seperti yang telah dilakukan dalam penelitian Sihotang dan Punuf (2015) [9] sebelumnya. Untuk tahapan penelitian selengkapnya dapat dilihat pada gambar 1.

Dari gambar 1 terlihat bahwa proses *clustering* akan dilakukan pada nilai suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan. Proses *clustering* suhu dilakukan berdasarkan hasil penelitian Simeon (2014) [4] yang menyebutkan bahwa suhu optimum untuk perkembangan parasit malaria adalah antar 25<sup>o</sup>C sampai 30<sup>o</sup>C. Proses *clustering* kerapatan vegetasi dilakukan berdasarkan hasil penelitian Wilder (2007) [3] yang menyebutkan bahwa nilai kerapatan vegetasi diwilayah tropis (Indo-

China) yang optimal untuk perkembangbiakan dan hunian nyamuk berkisar 0,3 sampai 0,4. Sedangkan untuk proses *clustering* penutup lahan dilakukan berdasarkan hasil interpretasi citra.

Setelah diperoleh kelas untuk masing-masing parameter, selanjutnya berdasarkan kelas tersebut dibangun fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam proses fuzzifikasi. Dalam model fuzzy terdapat pula rule (aturan) yang digunakan dalam sistem fuzzy dimana rule tersebut dibangun berdasarkan pengetahuan pakar epidemiologi. Hasil proses fuzzifikasi akan dimasukkan dalam rule dan akan dilakukan proses inferensi untuk memperoleh nilai fuzzy tingkat resiko malaria. Terdapat 3 metode inferensi dalam sebuah sistem fuzzy yaitu: (1) Model Mamdani, (2) Model Sugeno, (3) Model Tsukamoto. Model yang umum digunakan model Mamdani [11].



**Gambar 1.** Metodologi Penelitian

Pada proses inferensi, nilai derajat keanggotaan ( $\mu$ ) untuk setiap parameter akan dikenakan pada semua *rule* yang ada (evaluasi *rule*). Pada proses ini digunakan fungsi Min-Max dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \tag{1}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \tag{2}$$

Wang (1996) [12] mengatakan sebuah sistem fuzzy dengan parameter masukan  $x_1$  dan  $x_2$  (*antecedents*) dan sebuah parameter keluaran (*consequent*) dapat dideskripsikan oleh sekumpulan  $r$  proposisi JIKA-MAKA sebagai berikut:

$$\text{JIKA } x_1 \text{ adalah } \widetilde{A}_1^k \text{ dan } x_2 \text{ adalah } \widetilde{A}_2^k \text{ MAKA } y^k \text{ adalah } \widetilde{B}^k \tag{3}$$

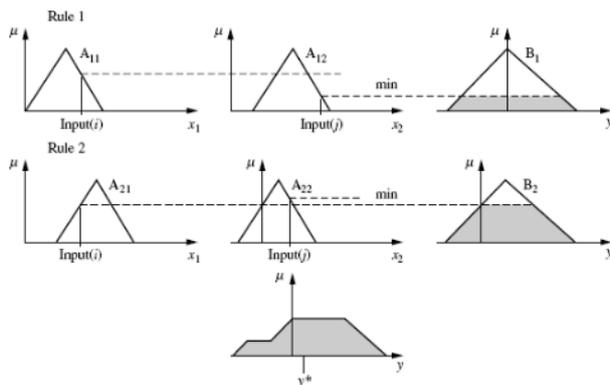
dimana  $k = 1, 2, 3, \dots, r$ , dan  $\widetilde{A}_1^k$  dan  $\widetilde{A}_2^k$  adalah himpunan yang merepresentasikan *antecedent* ke- $k$ , dan  $\widetilde{B}^k$  adalah himpunan fuzzy yang merepresentasikan *consequent* ke-

k. Berdasarkan metode inferensi Mamdani, agregasi keluaran untuk r rules dapat dicari dengan persamaan [11]:

$$\mu_{B^k}(y) = \max_k [\min[\mu_{A_1^k}(\text{input } i), \mu_{A_2^k}(\text{input } j)]] \quad (4)$$

Dimana  $k = 1, 2, \dots, r$ .

Gambar 2 menunjukkan ilustrasi secara grafis dari persamaan 4.



Gambar 2. Inferensi Mamdani [11]

Susilo (2003) [13] mengatakan keluaran dari proses inferensi sebuah sistem fuzzy adalah suatu himpunan fuzzy. Karena sistem tersebut hanya dapat mengeksekusi nilai yang tegas (crisp), maka diperlukan suatu mekanisme untuk mengubah nilai fuzzy keluaran tersebut menjadi nilai yang tegas yang dikenal dengan proses defuzzifikasi. Terdapat banyak metode defuzzifikasi yang dapat digunakan, namun menurut [13] metode Center of Average (CoA) adalah fungsi defuzzifikasi yang paling banyak dipakai dalam sistem fuzzy. Fungsi CoA dapat dituliskan dalam persamaan 5.

$$t(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^n b_i x_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (5)$$

dimana  $x_i$  adalah pusat dari himpunan fuzzy  $\tilde{A}_i$  dan  $b_i$  adalah tinggi ( $\tilde{A}_i$ ).

### 3. Pembahasan

Dalam penelitian ini telah dilakukan dua skenario pengujian yaitu pengujian white box dan pengujian akurasi. Pengujian white box bertujuan untuk memastikan bahwa sistem fuzzy yang dibangun telah berjalan sesuai dengan metode fuzzy. Sedangkan pengujian akurasi bertujuan untuk melihat tingkat akurasi model fuzzy yang dibangun terhadap data aktual.

#### 3.1 Pengujian White box

Pada model fuzzy terdapat enam proses utama yaitu (a) menentukan variabel linguistik, (b) membangun fungsi

keanggotaan, (c) membangun rule, (d) fuzzifikasi, (e) inferensi, (f) defuzzifikasi.

(a) Variabel linguistik

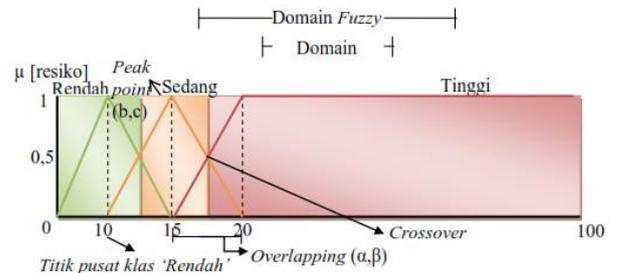
Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel linguistik dan himpunannya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel Variabel Linguistik dan Himpunannya

Variabel Linguistik	Himpunan Fuzzy
Suhu (x)	Rendah, Sedang, Tinggi
Kerapatan vegetasi (y)	Renggang, Sedang, Rapat
Penutup lahan (z)	Rendah, Sedang, Tinggi
Tingkat resiko malaria (v)	Rendah, Sedang, Tinggi

(b) Fungsi keanggotaan

Model fungsi keanggotaan parameter keluaran tingkat resiko yang telah dibangun dalam penelitian ini dapat terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Tingkat Resiko

Berdasarkan hasil clustering telah dibangun fungsi keanggotaan untuk parameter masukan suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan seperti tabel 2.

Tabel 2. Tabel Himpunan, Batas Bawah (BB), Peak Point, Batas Atas (BA), Overlapping, dan Domain tiap variabel

Var	Him	BB			BA			Dom
		A	B	C	D	$\alpha$	$\beta$	
x	R	0	0	23	25	0	2	[10 25]
	S	23	25	30	33	2	3	[23 33]
	T	30	33	100	100	3	0	[30 100]
y	R	0	0	20	40	0	20	[0 40]
	S	20	40	40	60	20	20	[20 60]
	T	40	60	100	100	20	0	[40 100]
z	R	0	0	20	30	0	10	[0 30]
	S	20	35	35	50	15	15	[20 50]
	T	40	50	100	100	10	0	[40 100]
v	R	0	0	10	15	0	5	[0 15]
	S	10	15	15	20	5	5	[10 20]
	T	15	20	100	100	5	0	[15 100]

(c) Membangun Rule

Dalam penelitian ini telah dibangun 27 rule berdasarkan pengetahuan dan pengalaman pakar lingkungan dan malaria yang akan digunakan dalam proses inferensi.

[R1] Jika Suhu adalah Rendah dan Kerapatan Vegetasi adalah Renggang dan PL adalah Rendah maka Kerawanan adalah Rendah.

[R2] Jika Suhu adalah Rendah dan Kerapatan Vegetasi adalah Renggang dan PL adalah Sedang maka Kerawanan adalah Rendah.

...

[R27] Jika Suhu adalah Tinggi dan Kerapatan Vegetasi adalah Rapat dan PL adalah Tinggi maka Kerawanan adalah Tinggi.

(d) Fuzzifikasi

Dalam pengujian *white box* ini, telah dilakukan perhitungan manual terhadap kecamatan Kec. Maurole (Kab. Ende), yang kemudian akan dilihat kesesuaian hasilnya terhadap hasil yang diberikan oleh sistem. Nilai suhu, kerapatan vegetasi, dan penutup lahan untuk Kec. Maurole berturut-turut adalah 26.87, 53.86, 71.60, maka dapat diperoleh nilai derajat keanggotaan untuk setiap fungsi sebagai berikut:

$$\mu_{Sedang}[Suhu] = 1.00$$

$$\mu_{Sedang}[Vegetasi] = \frac{60 - 53.86}{60 - 40} = 0.31$$

$$\mu_{Rapat}[Vegetasi] = \frac{53.86 - 40}{60 - 40} = 0.69$$

$$\mu_{Tinggi}[PL] = 1.00$$

dimana:

$\mu_{Sedang}[Suhu]$  = derajat keanggotaan kelas “Sedang” variabel suhu

$\mu_{Sedang}[Vegetasi]$  = derajat keanggotaan kelas “Sedang” variabel vegetasi

$\mu_{Rapat}[Vegetasi]$  = derajat keanggotaan kelas “Rapat” variabel vegetasi

$\mu_{Tinggi}[PL]$  = derajat keanggotaan kelas “Tinggi” variabel PL

Sementara hasil fuzzifikasi yang diberikan oleh sistem fuzzy dapat dilihat pada gambar 4.

HASIL FUZZIFIKASI VARIABEL KERAPATAN VEGETASI

NO	KECAMATAN	MIU VEGETASI RENGANG	MIU VEGETASI SEDANG	MIU VEGETASI RAPAT
1	Detukeli	0.00	0.31	0.69
10	Lio Timur	0.00	0.22	0.78
11	Maurole	0.00	0.31	0.69
14	Ndona	0.00	0.39	0.62

Gambar 4. Hasil Fuzzifikasi Variabel Kerapatan Vegetasi oleh Sistem Fuzzy

Dari gambar 4 terlihat bahwa hasil fuzzifikasi variabel kerapatan vegetasi yang diberikan oleh sistem sesuai dengan hasil yang diberikan oleh perhitungan manual. Ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan metode fuzzifikasi.

(e) Inferensi

Dari hasil fuzzifikasi, diketahui bahwa untuk Kec. Maurole (Kab. Ende) memiliki himpunan pada variabel suhu adalah “Sedang”, himpunan pada variabel vegetasi adalah “Sedang” dan “Rapat”, dan himpunan pada variabel PL adalah “Tinggi”. Maka hasil inferensi dari rule yang telah dibangun seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Tabel Hasil Inferensi Rule

No Rule	JIKA Suhu adalah	DAN Vegetasi adalah	DAN PL adalah	MAKA Tingkat Resiko adalah
15	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
18	Sedang	Rapat	Tinggi	Rendah

Dengan menggunakan model inferensi Mamdani, maka dapat dihitung nilai  $\mu$  dari *consequent* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{Rendah}(tingkat\_resiko) &= \max[\min[\mu_{sedang}(suhu), \mu_{rapat}(vegetasi), \mu_{tinggi}(PL)]] \\ &= \max(\min(1.00, 0.69, 1.00)) \\ &= 0.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{Tinggi}(tingkat\_resiko) &= \max[\min[\mu_{sedang}(suhu), \mu_{sedang}(vegetasi), \mu_{tinggi}(PL)]] \\ &= \max(\min(1.00, 0.31, 1.00)) \\ &= 0.31 \end{aligned}$$

Sehingga nilai derajat keanggotaan (miu) dari himpunan “Rendah”, “Sedang”, dan “Tinggi” untuk variabel tingkat resiko berturut-turut adalah 0.69, 0, dan 0.31. Nilai tersebut akan digunakan pada proses defuzzifikasi. Sementara hasil inferensi yang diberikan oleh sistem fuzzy dapat dilihat pada gambar 5.

HASIL INFERENSI RULE

NO	KECAMATAN	MIU RESIKO RENDAH	MIU RESIKO SEDANG	MIU RESIKO TINGGI
1	Detukeli	0.69	0	0.31
10	Lio Timur	0.78	0	0.22
11	Maurole	0.69	0	0.31
14	Ndona	0.62	0	0.39

Gambar 5. Hasil Inferensi oleh Sistem Fuzzy

Dari gambar 5 terlihat bahwa hasil inferensi rule yang diberikan oleh sistem sesuai dengan hasil yang diberikan oleh perhitungan manual. Ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan metode inferensi rule.

## (f) Defuzzifikasi

Dari hasil inferensi Kec.Maurole, diperoleh nilai derajat keanggotaan ( $\mu$ ) pada variabel tingkat resiko himpunan “Rendah”, “Sedang” dan “Tinggi” berturut-turut adalah 0.69, 0, dan 0.31. Untuk kurva “Rendah”, terdiri dari kurva Naik dengan domain [0 10] dan kurva Turun dengan domain [10 15]. Maka dapat diperoleh nilai pada sumbu x adalah:

$$\text{Untuk kurva naik: } 0.69 = \frac{x-0}{10-0} \rightarrow x = 6.9$$

$$\text{Untuk kurva turun: } 0.69 = \frac{15-x}{15-10} \rightarrow x = 11.55$$

Sedangkan untuk kurva “Tinggi”, terdiri dari kurva Naik dengan domain [15 20] dan kurva Turun dengan domain [20 100]. Maka dapat diperoleh nilai pada sumbu x adalah:

$$\text{Untuk kurva naik: } 0.31 = \frac{x-15}{20-15} \rightarrow x = 16.55$$

$$\text{Untuk kurva turun: } 0.31 = \frac{100-x}{100-20} \rightarrow x = 75.2$$

Sehingga nilai tengah dari kurva “Rendah” dan “Tinggi” berturut-turut adalah 9.225, dan 45.875. Maka nilai *crisp* atau indeks dari tingkat kerawanan malaria sesuai persamaan 5 adalah:

$$\text{Defuzzifikasi} = \frac{(0.69)(9.225) + (0.31)(45.875)}{0.69 + 0.31} = 20.59$$

Sementara hasil defuzzifikasi yang diberikan oleh sistem fuzzy dapat dilihat pada gambar 6.

## HASIL DEFUZZIFIKASI DENGAN COA

NO	KECAMATAN	NILAI COA	MIU RESIKO	TINGKAT RESIKO
1	Detukeli	20.59	0.99	Tinggi
10	Lio Timur	18.21	0.64	Tinggi
11	Maurole	20.59	0.99	Tinggi
14	Nidona	22.11	0.97	Tinggi

Gambar 6. Hasil Defuzzifikasi oleh Sistem Fuzzy

Dari gambar 6 terlihat bahwa hasil defuzzifikasi yang diberikan oleh sistem sesuai dengan hasil yang diberikan oleh perhitungan manual. Ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan metode defuzzifikasi COA.

### 3.2 Pengujian Akurasi

Hasil pemetaan tingkat resiko malaria dari model fuzzy yang telah dibangun perlu diuji akurasi. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan tingkat resiko malaria hasil model fuzzy terhadap data aktual API untuk 91 kecamatan di Pulau Flores seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tabel Hasil Uji Akurasi Model Fuzzy

		AKTUAL		
		Rendah	Sedang	Tinggi
MODEL FUZZY	Rendah	12	0	0
	Sedang	4	5	2
	Tinggi	16	13	39

Dari *confusion matrix* (tabel 4) terlihat bahwa model fuzzy menghasilkan 12 kecamatan yang sama dengan aktual (sebenarnya) masuk dalam tingkat resiko rendah, 5 kecamatan yang sama dengan aktual masuk dalam tingkat resiko sedang, dan 39 kecamatan yang sama dengan aktual masuk dalam tingkat resiko tinggi. Sehingga dapat dihitung tingkat akurasi dari model fuzzy adalah:

$$\text{Akurasi Model Fuzzy} = \frac{12 + 5 + 39}{91} \times 100\% = 61,54\%$$

Tabel 4 juga menunjukkan komposisi akurasi yaitu untuk kelas “Rendah” model fuzzy menghasilkan akurasi sebesar 13,19%, untuk kelas “Sedang” menghasilkan akurasi sebesar 5,49%, dan untuk kelas “Tinggi” menghasilkan akurasi sebesar 42,86%.

Tabel 5.17 menunjukkan saat model fuzzy menghasilkan 4 kecamatan pada kelas “Sedang” namun pada data aktual kecamatan yang sama tersebut masuk pada kelas “Rendah” dengan tingkat error sebesar 4,39%. Saat model fuzzy menghasilkan 2 kecamatan pada kelas “Sedang” namun pada data aktual kecamatan yang sama tersebut masuk pada kelas “Tinggi” dengan tingkat error sebesar 2,20%. Saat model fuzzy menghasilkan 16 kecamatan pada kelas “Tinggi” namun pada data aktual kecamatan yang sama tersebut masuk pada kelas “Rendah” dengan tingkat error sebesar 17,58%. Saat model fuzzy menghasilkan 13 kecamatan pada kelas “Tinggi” namun pada data aktual kecamatan yang sama tersebut masuk pada kelas “Sedang” dengan tingkat error sebesar 14,29%. Sehingga secara keseluruhan tingkat kesalahan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Error Model Fuzzy} = \frac{4 + 2 + 16 + 13}{91} \times 100\% = 38,46\%$$

### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian white box dapat dikatakan bahwa sistem sudah berjalan sesuai dengan metode fuzzy. Sedangkan dari hasil pengujian akurasi yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa model fuzzy cenderung menghasilkan kelas yang lebih tinggi dibandingkan kelas pada data aktualnya. Seperti model fuzzy menghasilkan kelas “Tinggi” namun aktualnya “Rendah” (17,58%), model fuzzy menghasilkan kelas “Sedang” tapi aktualnya “Rendah” (2,20%), ataupun model fuzzy menghasilkan kelas “Tinggi” tapi aktualnya “Sedang” (14,29%). Hal ini bisa disebabkan oleh bentuk interfensi untuk pemberantasan sarang nyamuk (PSN) yang dilakukan di beberapa kabupaten sudah cukup efektif seperti kelambunisasi,

penyemprot. Selain itu untuk beberapa kabupaten juga masih pasif dalam mendeteksi jumlah kasus malaria sehingga data actual yang disediakan puskesmas cenderung rendah.

### Daftar Pustaka

- [1] DINKES Provinsi NTT., 2014. *Profil Kesehatan*. Kupang: Dinas Kesehatan Provinsi Nusa Tenggara Timur.
- [2] DINKES Provinsi NTT., 2014. *Laporan P2MK DINKES NTT*. Kupang: Dinas Kesehatan Provinsi Nusa Tenggara Timur.
- [3] Wilder, J., 2007. *Modeling Malaria Transmission Risk Using Satellite-Based Remote Sensing Imagery*. Thesis. Department of Geology and Geography NMSU Missouri.
- [4] Simeon, M., 2014. *Geographic Information System and Remote Sensing Based Malaria Risk Mapping Using Environmental Factors: A Case of Arba Minch Zuria Woreda*. Southern Nations Nationalities and People's Regional State. Thesis. The Department of Geography and Environmental Studies.
- [5] Dutta, S., 2006. *Malaria epidemiology on Jalapaigur District Applying Remote Sensing and Geographic Information System*. Unpublished Dissertation Paper. University of North Bengal.
- [6] Abeku, T.A., 2006. *Malaria Epidemics in Africa Prediction, Detection, and Response*. Thesis. Erasmus University Rotterdam.
- [7] Afrene, Y.A., 2011. *Malaria Transmission in The African Highlands in a Changing Climate Situation: Perspective from Kenyan Highlands*. Global Warming Impacts.
- [8] Chikodzi, D., 2013. *Spatial Modelling of Malaria Risk Zones Using Environmental, Anthropogenic Variables and Geographical Information Systems Techniques*. *Journal of Geosciences and Geomatics*, Vol. 1, No.1, 8-14.
- [9] Sihotang, D., Punuf, D., 2015. *Analisis Parameter Spasial Habitat Nyamuk Anopheles*. *Jurnal MIPA UNDANA*, Vol.19, No.2, 101-111.
- [10] Sihotang, D., Widiastuti, T., Kartika, I.S., 2013. *Route Selection System Based on GIS Using Scoring Method and Fuzzy Method*. *Proceeding International Conference on Information System for Business Competitiveness*. Semarang, December 5 2013, UNDIP Semarang.
- [11] Ross, T.J., 2003. *Fuzzy Logic with Engineering Application*. USA: Willey & Sons.
- [12] Wang, L-X., 1996. *A Course Fuzzy System and Control*, USA: Prentice-Hall International Inc.
- [13] Susilo, F., 2003. *Pengantar Himpunan dan Logika Kabur Serta Aplikasinya*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma