

Potensi Kejadian Demam Berdarah *Dengue* Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim RCP4.5 di Kabupaten Badung, Bali

Potential of Dengue Hemorrhagic Fever Incident Based on RCP4.5 Climate Change Scenario in Badung Regency, Bali

Fendiarni Luthfi Maghfiroh^{*a}, Fendy Arifianto^b, dan Rista Hernandi Virgianto^b

^aStasiun Meteorologi Tjilik Riwut, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Jl. Adonis Samad Palangka Raya, Panarung, Pahandut, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah 73111, Indonesia

^bProdi Klimatologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek BMKG, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang Selatan 15221, Indonesia

INFO ARTIKEL

Article History:

Received: 13 Dec. 2021

Revised: 20 June 2022

Accepted: 22 June 2022

Kontribusi:

Fendiarni Luthfi Maghfiroh, Fendy Arifianto, dan Rista Hernandi Virgianto berperan sebagai kontributor anggota sekaligus sebagai penulis korespondensi

Keywords:

DHF,
climate change,
RCP4.5 scenario,
fuzzy logic

Kata kunci:

DBD,
perubahan iklim,
skenario RCP4.5,
logika fuzzy

ABSTRACT / ABSTRAK

Climate factors influence the breeding of the *Aedes aegypti* mosquito which is the vector that causes the Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) incidence. This vector can be increasing with climate change as a result of global warming. This study aims to determine the potential distribution of DHF in Badung Regency based on climate factors and its projections using the RCP4.5 climate change scenario. This research in the historical period for the years 2010 – 2019 and the projection period for the years 2021 – 2030 and the years 2031 – 2040. The fuzzy logic model is used to get the output of the potential for DHF incidence which is described by the IR value of DHF based on the climate conditions in the study period. The data used include secondary data on average climate parameters; rainfall, air temperature, and relative humidity in 2010 – 2019, RCP4.5 scenario in 2010 – 2040, and annual DHF Incident Rate (IR) for the period 2010 – 2019. The results showed that in historical and projection periods the rainfall, air temperature, and relative humidity average have optimal values for the breeding of *Aedes aegypti* mosquitoes that cause DHF with IR > 55 in all areas of Badung Regency. The potential for DHF incidence in the projection period did not change from the historical period. In addition, the projection period saw an increased rainfall and air temperature average compared to the historical period. Meanwhile, the humidity average in the projection period did not change significantly compared to the historical period.

Faktor iklim memberikan pengaruh terhadap perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* yang menjadi vektor penyebab kejadian Demam Berdarah Dengue (DBD). Populasi vektor dapat meningkat dengan adanya perubahan iklim dampak dari pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran potensi kejadian DBD di Kabupaten Badung berdasarkan faktor iklim dan proyeksinya menggunakan skenario perubahan iklim RCP4.5. Penelitian dilakukan pada periode historis tahun 2010 – 2019 dan periode proyeksi tahun 2021 – 2030 serta tahun 2031 – 2040. Model logika fuzzy digunakan untuk mendapatkan *output* berupa potensi kejadian DBD yang digambarkan dengan nilai *Insidence Rate* (IR) DBD berdasarkan kondisi iklim pada periode penelitian. Data yang digunakan meliputi data sekunder rata-rata parameter iklim; curah hujan, suhu udara, dan kelembapan tahun 2010 – 2019, data skenario RCP4.5 tahun 2010 - 2040, dan data IR DBD tahunan periode 2010 – 2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode historis maupun periode proyeksi memiliki nilai optimum untuk kesesuaian perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* yang menyebabkan tingginya kejadian DBD dengan IR > 55 di seluruh wilayah Kabupaten Badung. Potensi kejadian DBD pada periode proyeksi tidak mengalami perubahan dari periode historis. Selain itu, pada periode proyeksi terlihat adanya peningkatan rata-rata curah hujan dan suhu udara dibandingkan dengan periode historis. Sementara, rata-rata kelembapan pada periode proyeksi tidak mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan periode historis.

PENDAHULUAN

Demam Berdarah *Dengue* (DBD) masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di Indonesia sampai saat ini. Penyakit ini disebabkan oleh virus *dengue* dan ditularkan oleh nyamuk *Aedes* spp. Terdapat lima spesies nyamuk *Aedes* sebagai pembawa virus *dengue*, yaitu; *Ae. aegypti* dan *Ae. albopictus* sebagai vektor utama dan *Ae. polynesiensis*, *Ae. scutellaris* serta *Ae. (Finlaya) niveus* sebagai vektor sekunder.¹ Penyakit ini perlu diwaspadai karena mempunyai patogenitas yang cepat, mudah menyebar, dan dapat menyebabkan kematian dalam waktu yang singkat.²

Meningkatnya kasus DBD dapat dipengaruhi oleh faktor iklim yang meliputi curah hujan, suhu udara, dan kelembapan.³ Curah hujan dapat menambah tempat perkembangbiakan nyamuk *Aedes*. Suhu udara dapat memengaruhi durasi menetasnya telur *Aedes* menjadi larva kemudian menjadi pupa dan dewasa/nyamuk. Kelembapan udara dapat memengaruhi transmisi nyamuk *Aedes*, dikarenakan bersifat sensitif terhadap kelembapan.^{3,4} Curah hujan pada interval 100 hingga 300 mm/bulan atau 1500 hingga 3500 mm/tahun dapat meningkatkan perkembangbiakan nyamuk penyebab DBD.^{3,6} Selain itu, perkembangbiakan nyamuk akan meningkat pada suhu berkisar 20°C hingga 30°C dan pertumbuhan nyamuk akan terhenti sama sekali bila suhu kurang dari 10°C atau lebih dari 40°C.^{3,4} Sedangkan kelembapan untuk pertumbuhan nyamuk *Aedes aegypti* berkisar 60% hingga 90% dan pada kelembapan kurang dari 60% umur nyamuk akan menjadi pendek.^{3,7}

Demam berdarah dengue dapat menjadi ancaman dikarenakan menjadi makin meningkat dengan adanya perubahan kondisi iklim.⁸ Dalam laporan *Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC)* pada kajian *Assesment Report 5 (AR5)* melaporkan bahwa terdapat peningkatan Gas Rumah Kaca (GRK) yang ditandai dengan adanya peningkatan suhu udara global dalam periode 1880 hingga 2012 sebesar 0,65°C hingga 1,06°C. Kondisi pemanasan tersebut diproyeksikan berpotensi meningkatkan kejadian penyakit yang dibawa oleh vektor, salah satunya yakni DBD.⁹

Persebaran DBD makin meluas di wilayah negara tropis dan subtropis. Sekitar 390 juta orang di dunia terinfeksi virus *dengue* setiap tahunnya. Sementara itu, Indonesia merupakan wilayah beriklim tropis yang cocok untuk perkembangbiakan nyamuk pembawa penyakit DBD, di mana saat ini jumlah penderitanya makin meningkat dan persebarannya makin meluas.¹ Berdasarkan data Kementerian Kesehatan RI, salah satu wilayah di Indonesia yang merupakan daerah dengan persebaran tinggi DBD adalah Provinsi Bali, dimana berturut-turut dari tahun 2013 hingga 2016 tercatat menduduki peringkat pertama nasional yang memiliki kejadian tertinggi DBD.^{10,11,12,13}

Kabupaten Badung merupakan wilayah yang berkontribusi terhadap tingginya kejadian DBD di Provinsi Bali. Hal tersebut dikarenakan Kabupaten Badung termasuk dalam daerah endemis DBD baik di tingkat desa maupun kecamatan.¹⁴ Tercatat pada tahun 2012 hingga 2016 terdapat peningkatan kejadian atau *Insidence Rate (IR)* DBD setiap tahunnya di Kabupaten Badung yang sejalan dengan kenaikan nilai IR DBD di Provinsi Bali.¹⁵ Nyamuk *Aedes aegypti* berperan sebagai vektor utama pembawa DBD di Kabupaten Badung.¹⁶

Upaya adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim terhadap kejadian DBD penting untuk dilakukan.⁸ Dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1018 Tahun 2011, strategi adaptasi sektor kesehatan terhadap dampak perubahan iklim salah satunya dilakukan dengan pemetaan populasi dan daerah rentan perubahan iklim. Hal tersebut dapat memberikan kemudahan dalam pengambilan keputusan dan penanganan penyebaran penyakit.¹⁷ Selain itu, kajian mengenai kejadian DBD berdasarkan skenario perubahan iklim perlu dilakukan guna perencanaan program untuk menghadapi kejadian DBD pada masa yang akan datang.⁵

Kejadian DBD pada masa yang akan datang berdasarkan kondisi iklim dapat diketahui dengan proyeksi iklim menggunakan skenario perubahan iklim. Skenario yang saat ini digunakan adalah skenario *Representative Concentration*

Pathways (RCP) yang dapat diterapkan dalam berbagai sektor. Skenario ini dimodelkan berdasarkan total *radiative forcing* (RF) yang diterima oleh bumi, meliputi skenario RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, dan RCP8.5.¹⁸ Dari beberapa skenario proyeksi iklim yang ada, skenario RCP4.5 dipilih dikarenakan memiliki keunggulan sesuai dengan keadaan sekarang di mana terdapat asumsi bahwa seluruh negara di dunia turut ambil bagian dalam upaya mitigasi dalam penurunan emisi GRK.¹⁹ Proyeksi kejadian DBD menggunakan skenario RCP4.5 sebelumnya pernah diterapkan di wilayah Jawa Timur yang menunjukkan adanya peningkatan suhu pada periode 2020 hingga 2050 yang berpotensi meningkatkan perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*.²⁰

Upaya untuk mengetahui kejadian DBD pada masa yang akan datang menggunakan proyeksi perubahan iklim sudah pernah dilakukan di Jakarta, Serang, Lombok, dan beberapa wilayah lain, namun di Provinsi Bali sejauh ini masih belum dilakukan, terutama di wilayah Kabupaten Badung yang tergolong daerah endemis DBD.^{5, 6, 21} Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sebaran potensi kejadian DBD berdasarkan faktor iklim beserta proyeksinya menggunakan skenario perubahan iklim RCP4.5 di Kabupaten Badung. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu informasi guna mendukung antisipasi terhadap persebaran DBD di Kabupaten Badung.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini bersifat kuantitatif, dilakukan untuk mengetahui sebaran potensi kejadian DBD tahunan berdasarkan faktor iklim dan proyeksinya menggunakan skenario RCP4.5 di Kabupaten Badung pada periode historis (2010 – 2019) dan periode proyeksi (2021 – 2030) serta (2031 – 2040). Penentuan wilayah potensi kejadian DBD pada penelitian ini terbatas menggunakan parameter iklim observasi dan skenario RCP4.5 tanpa memperhatikan faktor lain yang berpengaruh terhadap kejadian DBD. Keluaran yang dihasilkan dari penelitian ini berupa potensi

kejadian DBD yang digambarkan dengan nilai IR DBD (rendah, sedang, dan tinggi) yang dapat terjadi berdasarkan kondisi parameter iklim di Kabupaten Badung.

Lokasi penelitian adalah seluruh wilayah Kabupaten Badung yang terdiri dari enam kecamatan. Populasi dalam penelitian ini adalah parameter iklim curah hujan, suhu udara, dan kelembapan tahunan di Kabupaten Badung. Sementara itu, pengambilan sampel dilakukan pada parameter iklim curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode tahun 2010 hingga 2019 serta pada periode proyeksi tahun 2021 hingga 2030 dan tahun 2031 hingga 2040.

Pengumpulan data yang digunakan dilakukan menggunakan data sekunder. Data yang digunakan meliputi data rata-rata curah hujan (mm) observasi periode 2010 hingga 2019 yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Negara, data rata-rata suhu udara (°C), dan rata-rata kelembapan (%) periode 2010 hingga 2019 yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai, data model skenario RCP4.5 resolusi 20 km x 20 km berupa data curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode 2010 hingga 2040 yang diperoleh dari Pusat Informasi Perubahan Iklim BMKG, serta data IR DBD tahunan pada periode 2010 hingga 2019 setiap kecamatan di Kabupaten Badung yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kabupaten Badung. Data IR DBD tersebut digunakan untuk validasi.

Data model RCP4.5 dilakukan koreksi terlebih dahulu terhadap data observasi untuk menyamakan nilai agar perbedaan nilai pada data model tidak berbeda jauh dengan data observasi. Koreksi data model curah hujan, suhu udara, dan kelembapan dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.²²

$$CH_{model_kor} = CH_{mod} \times \frac{\overline{CH_{obs}}}{\overline{CH_{mod}}}$$

Dengan CH_{model_kor} merupakan curah hujan model yang telah dikoreksi, CH_{mod} merupakan curah hujan model sebelum dikoreksi, $\overline{CH_{obs}}$ merupakan rata-rata curah hujan periode data pengamatan, $\overline{CH_{mod}}$ merupakan rata-rata curah hujan periode data model.

$$T_{model_kor} = T_{mod} + (\overline{T_{obs}} - \overline{T_{mod}})$$

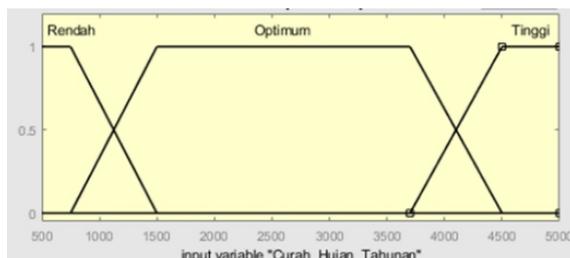
Dengan T_{model_kor} merupakan suhu udara model setelah koreksi, T_{mod} merupakan suhu udara model sebelum koreksi, $\overline{T_{obs}}$ merupakan rata-rata suhu udara periode data pengamatan, $\overline{T_{mod}}$ merupakan rata-rata suhu udara periode data model.

$$RH_{model_kor} = RH_{mod} + (\overline{RH_{obs}} - \overline{RH_{mod}})$$

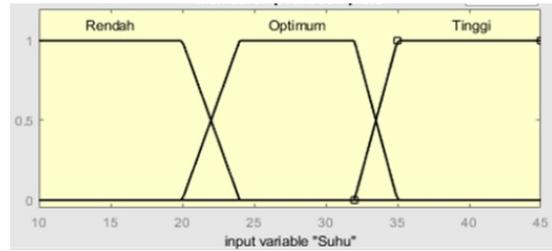
Dengan RH_{model_kor} merupakan kelembapan model setelah koreksi, RH_{mod} merupakan kelembapan model sebelum koreksi, $\overline{RH_{obs}}$ merupakan rata-rata kelembapan periode data pengamatan, $\overline{RH_{mod}}$ merupakan rata-rata kelembapan periode data model.

Pengolahan data yang digunakan pada penelitian ini yakni dengan metode logika fuzzy seperti yang telah dilakukan pada penelitian Adak dan Jana. Logika fuzzy merupakan salah satu cabang dari *Artificial Intelligence (AI)* yang dapat merepresentasikan ketidakpastian dan dianggap sebagai kotak hitam yang menghubungkan antara ruang *input* menuju ke ruang *output*. Dalam hal ini, kejadian DBD yang berhubungan dengan faktor iklim cukup sulit untuk diketahui dikarenakan keduanya mengandung ketidakpastian yang sulit diprediksi. Oleh karena itu, penggunaan logika fuzzy dapat mengatasi ketidakpastian tersebut.²³

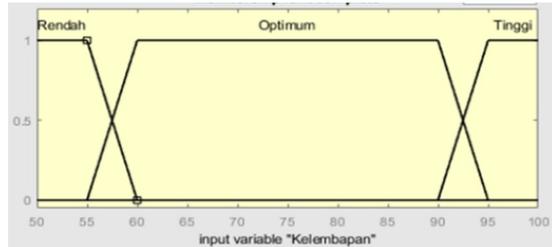
Dalam metode ini, langkah awal yang dilakukan adalah fuzzifikasi untuk mengubah *input* yang memiliki nilai kebenaran bersifat pasti (*crisp*) menjadi bentuk *input fuzzy*. Proses fuzzifikasi dilakukan menggunakan masukan berupa nilai kondisi iklim yang mendukung perkembangbiakan nyamuk penyebab penyakit DBD dengan nilai *output* berupa tingkat kejadian DBD yang didasarkan pada nilai IR DBD sebagai berikut:



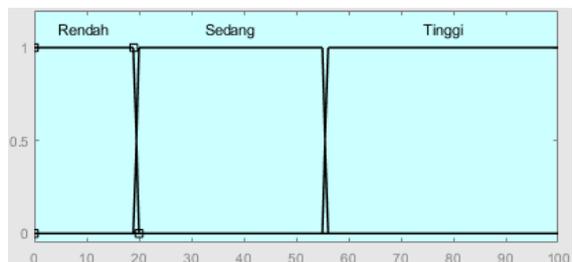
Gambar 1. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Suhu Udara



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Kelembapan



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Kejadian DBD

Langkah selanjutnya, dilakukan implikasi fuzzy dengan membentuk aturan-aturan fuzzy menggunakan rumus sebagai berikut.²⁴

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_2) \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_n) \\ \text{THEN } y \text{ is } B$$

dengan x dan y adalah skalar. A dan B adalah himpunan fuzzy. Dari pembentukan implikasi tersebut kemudian akan diolah pada mesin inferensi fuzzy Mamdani untuk penarikan kesimpulan suatu keputusan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti dengan menggunakan rumus sebagai berikut.²⁵

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i))$$

dimana $\mu_{sf}(x_i)$ menyatakan nilai keanggotaan solusi fuzzy aturan ke-i, $\mu_{kf}(x_i)$ menyatakan nilai keanggotaan konsekuensi fuzzy aturan ke-i. Setelah dilakukan hal tersebut, langkah yang terakhir pada metode ini adalah proses defuzzifikasi untuk menafsirkan nilai keanggotaan fuzzy menjadi keputusan tertentu atau bilangan *real*. Proses

defuzzifikasi pada penelitian ini menggunakan metode *centroid* (titik pusat) dengan persamaan sebagai berikut.²⁵

$$Z^* = \frac{\int_Z \mu(z)z dz}{\int_Z \mu(z) dz}$$

dengan Z^* merupakan nilai hasil defuzzifikasi, $\mu(z)$ merupakan derajat keanggotaan titik tersebut, dan z merupakan nilai domain ke-i.

Setelah diperoleh hasil *output* dari model *fuzzy* selanjutnya dilakukan validasi untuk mengetahui klasifikasi kesesuaian hasil keluaran dari model *fuzzy* guna mengukur performa dari model *fuzzy*. Validasi dilakukan menggunakan tabel *confusion matrix* sebagai berikut.²⁶

Tabel 1. Tabel *Confusion Matrix*

Aktual (<i>Training Data</i>)	Hasil Klasifikasi	
	Kelas Positif (<i>Testing Data</i>)	Kelas Negatif (<i>Testing Data</i>)
Kelas Positif Y=1 (Terjadi Kasus)	<i>True Positive</i> (TP)	<i>False Negative</i> (FN)
Kelas Negatif Y≠1 (Tidak Terjadi Kasus)	<i>False Positive</i> (FP)	<i>True Negative</i> (TN)

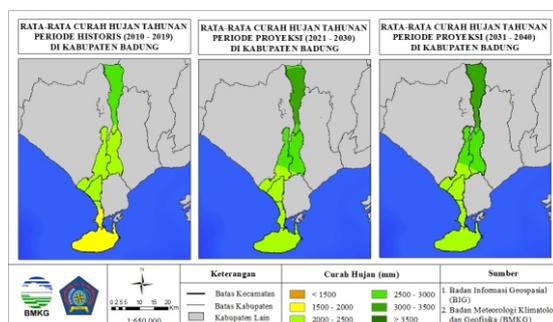
Dimana TP yakni banyaknya anggota yang terklasifikasikan benar dari kelas positif, TN yakni banyaknya anggota yang terklasifikasikan benar dari kelas negatif, FP yakni banyaknya anggota yang terklasifikasikan salah dari kelas positif, dan FN yakni banyaknya anggota yang terklasifikasikan salah dari kelas negatif. Selanjutnya dilakukan pemetaan terhadap hasil dari *output* logika *fuzzy* dengan menggunakan interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW), sehingga akan dihasilkan peta spasial sebaran potensi kejadian DBD di Kabupaten Badung.

HASIL

Sebaran Rata-Rata Parameter Iklim

Didapatkan sebaran rata-rata parameter iklim curah hujan, suhu udara, dan kelembapan tahunan di Kabupaten Badung pada periode historis tahun 2010 – 2019 dan

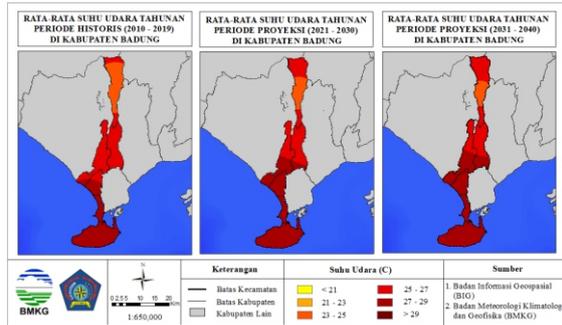
periode proyeksi tahun 2021 – 2030 serta tahun 2031 – 2040 yang ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5. Sebaran Rata-Rata Curah Hujan Tahunan di Kabupaten Badung

Gambar 5 menunjukkan sebaran rata-rata curah hujan tahunan secara spasial di Kabupaten Badung pada periode historis tahun 2010 – 2019 dan periode proyeksi tahun 2021 – 2030 serta tahun 2031 - 2040. Pada periode historis tahun 2010 – 2019 rata-rata curah hujan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 1.835 mm hingga 2.742 mm. Sementara itu, pada periode proyeksi tahun 2021 – 2030 rata-rata curah hujan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 2.009 mm hingga 3.239 mm dan pada periode proyeksi tahun 2031 – 2040 rata-rata curah hujan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 2.017 mm hingga 3.452 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada periode proyeksi wilayah Kabupaten Badung akan mengalami peningkatan rata-rata curah hujan dibandingkan dengan periode historis.

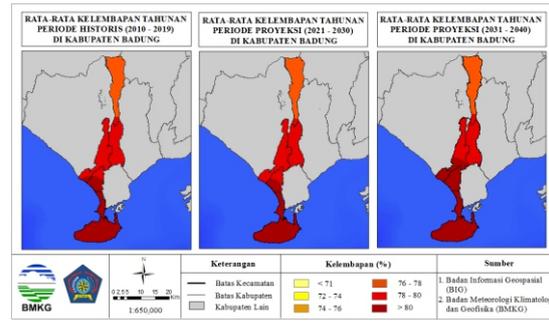
Dari ketiga periode tersebut, terlihat bahwa rata-rata curah hujan terendah terdapat pada wilayah Kabupaten Badung bagian selatan dan makin ke wilayah utara rata-rata curah hujan akan makin bertambah. Berdasarkan ketinggian, makin ke wilayah selatan ketinggian Kabupaten Badung akan makin berkurang dengan ketinggian terendah 4 mdpl terletak di Kecamatan Kuta dan makin ke wilayah utara ketinggian Kabupaten Badung akan makin bertambah dengan ketinggian tertinggi 544 mdpl terletak di Kecamatan Petang. Hal tersebut menunjukkan nilai rata-rata curah hujan di Kabupaten Badung berbanding lurus dengan ketinggian.



Gambar 6. Sebaran Rata-Rata Suhu Udara Tahunan di Kabupaten Badung

Gambar 6 menunjukkan sebaran rata-rata suhu udara tahunan secara spasial di Kabupaten Badung pada periode historis tahun 2010–2019 dan periode proyeksi tahun 2021–2030 serta tahun 2031-2040. Pada periode historis tahun 2010–2019 rata-rata suhu udara tahunan di Kabupaten Badung berkisar 24,2 °C hingga 27,5 °C. Sementara itu, pada periode proyeksi tahun 2021–2030 rata-rata suhu udara tahunan di Kabupaten Badung berkisar 24,5 °C hingga 27,9 °C. Sedangkan, pada periode proyeksi tahun 2031–2040 rata-rata suhu udara tahunan di Kabupaten Badung berkisar 24,7 °C hingga 27,9 °C. Hal tersebut menunjukkan rata-rata suhu udara di Kabupaten Badung pada periode proyeksi mengalami peningkatan dibandingkan dengan periode historis.

Dari ketiga periode tersebut, terlihat bahwa rata-rata suhu udara terendah terdapat pada wilayah Kabupaten Badung bagian utara dan semakin ke wilayah selatan rata-rata suhu udara akan semakin bertambah. Berdasarkan ketinggian, semakin ke wilayah selatan ketinggian Kabupaten Badung akan semakin berkurang dengan ketinggian terendah 4 mdpl terletak di Kecamatan Kuta dan semakin ke wilayah utara ketinggian Kabupaten Badung akan semakin bertambah dengan ketinggian tertinggi 544 mdpl terletak di Kecamatan Petang. Hal tersebut menunjukkan nilai rata-rata suhu udara di Kabupaten Badung berbanding terbalik dengan ketinggian.



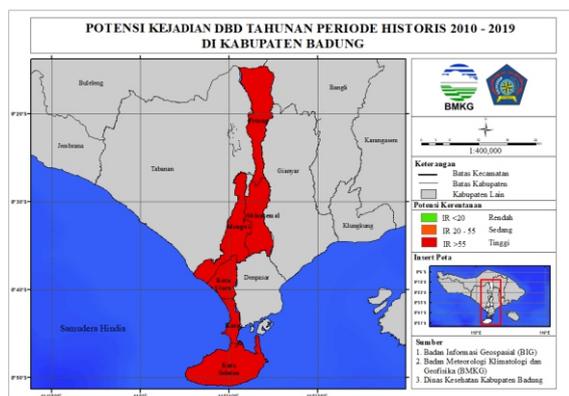
Gambar 7. Sebaran Rata-Rata Kelembapan Tahunan di Kabupaten Badung

Gambar 7 menunjukkan sebaran rata-rata kelembapan tahunan secara spasial di Kabupaten Badung pada periode historis tahun 2010–2019 dan periode proyeksi tahun 2021–2030 serta tahun 2031-2040. Pada periode historis tahun 2010–2019 rata-rata kelembapan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 76% hingga 81%. Sementara itu, pada periode proyeksi tahun 2021 - 2030 rata-rata kelembapan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 76% hingga 80%. Sedangkan, pada periode proyeksi tahun 2031–2040 rata-rata kelembapan tahunan di Kabupaten Badung berkisar 76% hingga 81%. Terlihat bahwa rata-rata kelembapan di Kabupaten Badung pada periode proyeksi tidak mengalami perubahan secara signifikan dari periode historis.

Dari ketiga periode tersebut, terlihat bahwa rata-rata kelembapan terendah terdapat pada wilayah Kabupaten Badung bagian utara dan makin ke wilayah selatan Kabupaten Badung rata-rata kelembapan akan makin bertambah. Berdasarkan ketinggian, makin ke wilayah selatan ketinggian Kabupaten Badung akan makin berkurang dengan ketinggian terendah 4 mdpl terletak di Kecamatan Kuta dan makin ke wilayah utara ketinggian Kabupaten Badung akan makin bertambah dengan ketinggian tertinggi 544 mdpl terletak di Kecamatan Petang. Hal tersebut menunjukkan nilai rata-rata kelembapan di Kabupaten Badung berbanding terbalik dengan ketinggian.

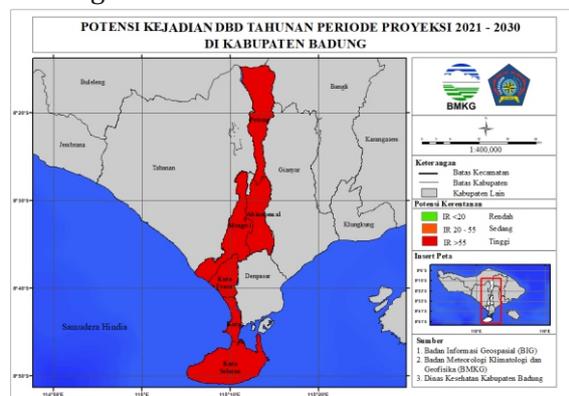
Sebaran Potensi Kejadian DBD

Dari keluaran model *fuzzy* dilakukan pemetaan secara spasial sehingga didapatkan peta sebaran potensi kejadian DBD di Kabupaten Badung pada periode historis 2010-2019 dan periode proyeksi tahun 2021-2030 serta tahun 2031-2040 yang ditunjukkan sebagai berikut:



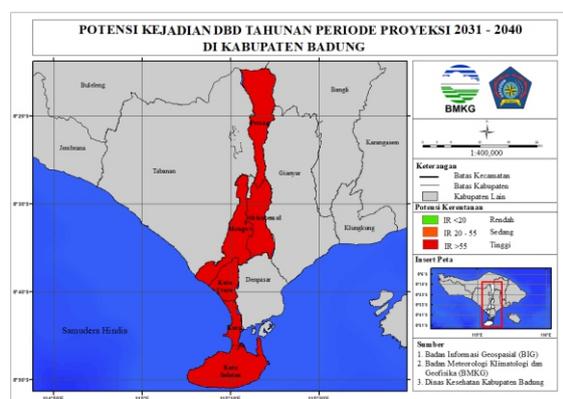
Gambar 8. Sebaran Potensi Kejadian DBD Periode Historis Tahun 2010-2019

Gambar 8 menunjukkan sebaran potensi kejadian DBD tahunan pada periode historis tahun 2010 – 2019 di Kabupaten Badung. Dapat diketahui bahwa berdasarkan rata-rata parameter iklim tahunan periode historis, seluruh wilayah di Kabupaten Badung memiliki potensi kejadian DBD tinggi dengan nilai $IR > 55$. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian rata-rata parameter iklim tahunan yakni curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode historis tahun 2010 hingga 2019 terhadap perkembangbiakan vektor DBD di Kabupaten Badung.



Gambar 9. Sebaran Potensi Kejadian DBD Periode Proyeksi Tahun 2021-2030

Gambar 9 menunjukkan sebaran potensi kejadian DBD tahunan pada periode proyeksi tahun 2021 – 2030 di Kabupaten Badung. Dapat diketahui bahwa berdasarkan rata-rata parameter iklim tahunan periode proyeksi tahun 2021 - 2030, seluruh wilayah di Kabupaten Badung memiliki potensi kejadian DBD tinggi dengan nilai $IR > 55$. Keadaan tersebut tidak memiliki perubahan terhadap periode historis tahun 2010 – 2019. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat kesesuaian rata-rata parameter iklim tahunan yang meliputi curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode proyeksi tahun 2021 – 2030 terhadap perkembangbiakan vektor DBD yang dapat menyebabkan tingginya kejadian DBD.



Gambar 10. Sebaran Potensi Kejadian DBD Periode Proyeksi Tahun 2031-2040

Gambar 10 menunjukkan sebaran potensi kejadian DBD tahunan pada periode proyeksi tahun 2031-2040 di Kabupaten Badung. Dapat diketahui bahwa berdasarkan rata-rata parameter iklim tahunan periode proyeksi tahun 2031-2040, seluruh wilayah di Kabupaten Badung memiliki potensi kerentanan DBD tinggi dengan nilai $IR > 55$. Keadaan tersebut tidak memiliki perbedaan dengan potensi kejadian DBD tahunan yang terjadi pada periode historis tahun 2010-2019 maupun pada periode proyeksi tahun 2021-2030. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat kesesuaian rata-rata parameter iklim tahunan yang meliputi curah hujan, suhu udara, dan kelembapan pada periode proyeksi tahun 2031-2040 terhadap perkembangbiakan vektor DBD yang dapat meningkatkan kejadian DBD.

PEMBAHASAN

Penentuan tingkat potensi kejadian DBD di Kabupaten Badung dilakukan dengan menggunakan nilai IR DBD yang didasarkan pada parameter iklim. Nilai IR DBD dikategorikan menjadi tiga kategori yakni rendah jika $IR < 20$, sedang jika $IR 20-55$, dan tinggi jika $IR > 55$.²⁷ Pada penelitian ini penentuan nilai IR dilakukan dengan menggunakan pemodelan logika *fuzzy*. Model logika *fuzzy* dalam penelitian ini dibangun dengan menggunakan parameter iklim tahunan yakni berupa rata-rata curah hujan, rata-rata suhu udara, dan rata-rata kelembapan yang kemudian menghasilkan keluaran berupa nilai IR sebagai penentu potensi kejadian DBD di Kabupaten Badung.

Validasi output logika *fuzzy* dilakukan dengan data historis nilai IR DBD tahunan setiap kecamatan di Kabupaten Badung pada periode 2010 hingga 2019 menggunakan tabel *confusion matrix*. Hasil validasi menunjukkan nilai akurasi yang tinggi pada tiap kecamatannya yakni sebesar 0,8 hingga 1. Hal ini menunjukkan bahwa model logika *fuzzy* memiliki nilai akurasi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk menentukan potensi kejadian DBD berdasarkan parameter iklim tahunan di wilayah Kabupaten Badung. Seperti dinyatakan dalam penelitian Idris, dkk bahwa hasil pemodelan logika *fuzzy* dalam memprediksi wabah penyakit DBD berdasarkan parameter iklim di Selangor menunjukkan nilai *error* yang kecil, sehingga sebaran penyakit DBD dapat diprediksi dengan baik.²⁸ Selain itu, Adak dan Jana dalam penelitiannya juga menyatakan model logika *fuzzy* efektif untuk mengetahui kondisi iklim yang ideal terhadap terjadinya penyakit DBD di Kolkata, India dengan validasi RMSE yang menunjukkan nilai *error* yang kecil.²³

Dilihat dari topografinya, Kabupaten Badung memiliki ketinggian yang beragam pada setiap kecamatannya yakni berkisar 4 mdpl hingga 544 mdpl. Ketinggian tertinggi berada pada wilayah Kabupaten Badung bagian utara yakni Kecamatan Petang dan makin ke wilayah selatan ketinggian akan makin berkurang yakni ketinggian terendah terdapat pada Kecamatan Kuta. Kondisi tersebut menyebabkan adanya variasi nilai parameter iklim setiap kecamatan di

Kabupaten Badung yang dapat berpengaruh terhadap persebaran vektor DBD. Selain itu, sebaran nyamuk *Aedes aegypti* dibatasi oleh ketinggian yang biasanya tidak ditemukan pada ketinggian di atas 1.000 meter.²⁹ Hal ini menunjukkan bahwa nyamuk *Aedes aegypti* masih dapat bertahan hidup pada seluruh wilayah di Kabupaten Badung. Kondisi tersebut juga didukung oleh data aktual nilai IR DBD tahunan pada periode historis tahun 2010–2019 yang menunjukkan adanya sebaran kasus DBD tahunan di Kabupaten Badung.

Kondisi parameter iklim di Kabupaten Badung menunjukkan rata-rata curah hujan memiliki nilai yang berbanding lurus dengan ketinggian yakni makin tinggi lokasi rata-rata curah hujan akan makin meningkat, begitu pula sebaliknya. Selain itu, rata-rata suhu udara memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan ketinggian yakni makin tinggi lokasi rata-rata suhu udara akan makin berkurang, begitu pula sebaliknya. Kedua hal tersebut sesuai pada kondisi umumnya. Namun, pada parameter kelembapan terdapat kondisi yang berbeda pada umumnya, rata-rata kelembapan memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan ketinggian yakni makin tinggi lokasi rata-rata kelembapan akan makin berkurang, begitu pula sebaliknya. Wilayah Kabupaten Badung bagian selatan dengan ketinggian yang lebih rendah memiliki rata-rata kelembapan yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah Kabupaten Badung bagian utara yang memiliki ketinggian lebih tinggi. Berdasarkan kondisi topografinya, Kabupaten Badung bagian selatan memiliki banyak wilayah yang dekat dengan pantai. Oleh karena itu, kondisi tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya penguapan air laut yang relatif besar serta kandungan uap air yang tinggi, sehingga menyebabkan kelembapan lebih besar di wilayah dekat pantai.^{30,31}

Peningkatan populasi *Aedes* di luar rumah tergantung dari ketersediaan habitat perkembangbiakannya. Populasi akan meningkat apabila terdapat curah hujan, sehingga kejadian DBD sering terjadi pada saat berlangsungnya musim hujan.³² Curah hujan dapat menambah jumlah tempat perkembangbiakan nyamuk dan dapat pula

menghilangkan tempat perindukan nyamuk ketika curah hujan tinggi dalam waktu lama yang dapat menyebabkan banjir.^{3,4} Habitat perkembangbiakan *Aedes* di luar rumah antara lain barang bekas yang terisi air hujan, bekas plastik kemasan minuman, pot tanaman hias, ketiak daun, lubang pohon, dll.³² Curah hujan dapat pula berpengaruh terhadap suhu dan kelembapan udara.³ Curah hujan optimum yang dapat meningkatkan perkembangbiakan *Aedes* berkisar 100–300 mm/bulan atau berkisar 1.500–3.500 mm/tahun.^{3,5,6} Rata-rata curah hujan di Kabupaten Badung pada periode historis dan periode proyeksi memiliki nilai yang cukup tinggi yakni berkisar 1.835–3.452 mm/tahun (152,9–287,6 mm/bulan). Kondisi tersebut menunjukkan rata-rata curah hujan di Kabupaten Badung baik pada periode historis maupun proyeksi memiliki nilai optimum untuk perkembangbiakan *Aedes*. Sementara itu, suhu udara di Kabupaten Badung pada periode historis dan periode proyeksi memiliki nilai rata-rata 24,2 - 27,9 °C. Dari beberapa penelitian diketahui bahwa suhu optimum untuk perkembangbiakan *Aedes* berkisar 20 – 30 °C.⁴ Nyamuk dapat bertahan hidup pada suhu rendah tetapi metabolismenya menurun atau bahkan terhenti bila suhu udara turun sampai di bawah suhu kritis (bila suhu kurang dari 10 °C atau lebih dari 40 °C).³ Dalam penelitian ini diketahui bahwa rata-rata suhu udara di Kabupaten Badung sangat optimum bagi keberlangsungan hidup populasi *Aedes* sebagai vektor DBD. Sedangkan, kelembapan yang optimum untuk perkembangbiakan *Aedes* berkisar 60-90%.^{3,7} Umur nyamuk akan menjadi pendek jika kelembapan kurang dari 60%, sehingga tidak cukup untuk siklus pertumbuhan virus dalam nyamuk *Aedes*.³ Kelembapan di Kabupaten Badung pada periode historis dan periode proyeksi memiliki nilai rata-rata 74 – 84%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kelembapan di Kabupaten Badung memiliki nilai optimum untuk perkembangbiakan *Aedes* sebagai vektor pembawa DBD.

Nilai rata-rata parameter iklim curah hujan, suhu udara, dan kelembapan tahunan di Kabupaten Badung pada periode historis tahun 2010–2019 maupun periode proyeksi

tahun 2021–2030 serta tahun 2031–2040 menunjukkan pada interval nilai optimum untuk perkembangbiakan *Aedes*. Kondisi tersebut menyebabkan seluruh wilayah di Kabupaten Badung menunjukkan adanya potensi kejadian DBD tinggi pada seluruh periode. Terlihat pada periode proyeksi juga masih menunjukkan potensi kejadian DBD tinggi. Kondisi tersebut terdapat kesamaan dengan penelitian Tarmana yang dilakukan di Jakarta bahwa masih terdapat peluang tinggi risiko DBD di Jakarta berdasarkan proyeksi perubahan iklim.⁵

Terdapat peningkatan rata-rata parameter iklim yakni curah hujan dan suhu udara pada periode proyeksi tahun 2021–2030 serta 2031–2040 dari periode historis tahun 2010–2019. Peningkatan parameter iklim tersebut diikuti dengan masih tingginya potensi kejadian DBD pada periode proyeksi di Kabupaten Badung. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan curah hujan dan suhu udara akan dapat berpengaruh terhadap percepatan perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* sebagai penyebab DBD.⁵

Adanya potensi lingkungan yang mendukung terhadap kejadian DBD di Kabupaten Badung dapat dijadikan dasar pengendalian DBD, sehingga sangat penting adanya pengendalian populasi *Aedes* baik yang dilakukan pemerintah maupun masyarakat. Pengendalian DBD yang saat ini sedang disosialisasikan pemerintah adalah Satu Rumah Satu Jentik yakni peran serta dan pemberdayaan masyarakat dengan melibatkan setiap keluarga dalam pemeriksaan, pemantauan, dan pemberantasan jentik nyamuk untuk pengendalian penyakit tular vektor khususnya DBD melalui pembudayaan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan cara “3M” Plus. Upaya pemberdayaan masyarakat dengan melaksanakan kegiatan PSN 3M Plus yakni dengan menguras, menutup tempat penampungan air dan mendaur-ulang/memanfaatkan kembali barang-barang bekas) serta ditambah (Plus) seperti: menaburkan larvasida pembasmi jentik, memelihara ikan pemakan jentik, mengganti air dalam pot/vas bunga, dll.³³ Keberhasilan pencegahan berkembangnya

nyamuk *Aedes* di suatu wilayah sangat bergantung pada partisipasi masyarakat. Upaya pemberantasan DBD hanya dapat berhasil apabila seluruh masyarakat berperan secara aktif dalam PSN 3M Plus.³⁴

KESIMPULAN

Berdasarkan skenario RCP4.5 kondisi parameter iklim yaitu curah hujan, suhu udara dan kelembapan dapat diproyeksikan kondisi untuk 20 tahun ke depan, yaitu bahwa seluruh wilayah di Kabupaten Badung tetap memiliki potensi terhadap kejadian DBD.

SARAN

Diharapkan dengan adanya informasi rata-rata parameter iklim curah hujan, suhu udara dan kelembapan pada masa akan datang, yang dapat memproyeksikan sebaran potensi kejadian DBD dapat menjadi salah satu informasi guna mendorong para pengambil kebijakan untuk mengambil langkah mitigasi serta adaptasi lebih lanjut guna mengantisipasi peningkatan kejadian DBD di Kabupaten Badung pada masa yang akan datang akibat dampak dari adanya perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Stasiun Klimatologi Negara, Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai, Pusat Informasi Perubahan Iklim BMKG, serta Dinas Kesehatan Kabupaten Badung yang telah memberikan fasilitas data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Kesehatan RI. *Situasi Penyakit Demam Berdarah Di Indonesia Tahun 2017*; 2018.
2. Hariyana B. *Pengembangan Sistem Informasi Surveillance Epidemiologi Demam Berdarah Dengue Untuk Kewaspadaan Dini Dengan Sitem Informasi Geografis Di Wilayah Kesehatan Kabupaten Jepara (Studi Kasus Puskesmas Mlonggo I)*. Universitas Diponegoro Semarang; 2007.
3. Boekoesoe L. *Kajian Faktor Lingkungan Terhadap Kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) Studi Kasus di Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo*; 2013.
4. Fitriana BR, Yudhastuti R. Hubungan Faktor Suhu Dengan Kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) di Kecamatan Sawahan Surabaya. *Indonesian J of Public Health*. 2019;13(1):85.
5. Tarmana D. Potensi Peluang Demam Berdarah Dengue (DBD) Berdasarkan Proyeksi Perubahan Iklim (Study Kasus : Dki Jakarta). *The Indonesian J of Infectious Disease*. 2013;1(2):14-22.
6. Dini AMV, Fitriany RN, Wulandari RA. Faktor Iklim dan Angka Insiden Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Serang. *J Makara*. 2010;14(1):37-45.
7. Hidayati L, Hadi UK, Soviana S. Kejadian Demam Berdarah Dengue di Kota Sukabumi Berdasarkan Kondisi Iklim. *J Acta Veterinaria Indonesiana*. 2017;5(1):22-28.
8. Aldrian E, Karmini M, Budiman. *Adaptasi Dan Mitigasi Perubahan Iklim Di Indonesia*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika; 2011.
9. IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. (Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer L, eds.). IPCC; 2014.
10. Kementerian Kesehatan RI. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2013*. Kementerian Kesehatan RI; 2014.
11. Kementerian Kesehatan RI. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2014*. Kementerian Kesehatan RI; 2015.
12. Kementerian Kesehatan RI. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2015*. Kementerian Kesehatan RI; 2016.
13. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2016*. Kementerian Kesehatan RI; 2017.
14. Dinas Kesehatan Kabupaten Badung. *Profil Kesehatan Kabupaten Badung Tahun 2018*. Dinas Kesehatan Kabupaten Badung; 2019.
15. Dinas Kesehatan Kabupaten Badung. *Profil Kesehatan Kabupaten Badung Tahun 2016*. Dinas Kesehatan Kabupaten Badung; 2017.
16. Widjajanti W, Ayuningtyas RTD, Adnyana NWD. Indeks Entomologi Vektor Demam Berdarah Dengue Di Tiga Kabupaten di Provinsi Bali. *J Vektor dan Reservoir Penyakit*. 2019;11(1):11-20.
17. Kementerian Kesehatan RI. *Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1018: Strategi Adaptasi Sektor Kesehatan Terhadap Dampak Perubahan Iklim*; 2011.
18. IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC; 2008.

19. Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, et al. RCP4.5: A Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100. *Climatic Change*. 2011;109(1):77-94.
20. Kurdiyan, Pandiangan AEC, Saputri RE. Identification of Dengue Haemorrhagic Fever (DHF) Occurrence Probability Based on Climate Parameter and Its Projection Case Study: East Java. In: PPI-Malaysia; 2019:725-733.
21. Pascawati NA, Satoto TBT, Wibawa T, Frutos R, Maguin S. Dampak Potensial Perubahan Iklim Terhadap Dinamika Penularan Penyakit DBD di Kota Mataram. *Balaba J Litbang Pengendali Penyakit Bersumber Binatang Banjarnegara*. 2019:49-60.
22. Sperna Weiland FC, Van Beek LPH, Kwadijk JCJ, Bierkens MFP. The Ability of a GCM-Forced Hydrological Model to Reproduce Global Discharge Variability. *Hydrology and Earth System Science*. 2010;14(8):1595-1621
23. Adak S, Jana S. A Model to Assess Dengue Using Type 2 Fuzzy Inference System. *Biomedical Signal Processing Control*. 2021;63(April 2020):102121.
24. Abrori M, Primahayu AH. Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani. *JKaunia*. 2015;XI(2):91-99.
25. Febriany N, Agustina F, Marwati R. Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dan Menggunakan Software Matlab. *JEurekaMatika*. 2017;5(1):84-96.
26. Anggana HD. Penerapan Model Klasifikasi Regresi Logistik, Support Vector Machine, Classification and Regression Tree Terhadap Data Kejadian Difteri di Provinsi Jawa Barat. *J Euclid*. 2018;5(2):20.
27. Pusat Data dan Surveilans Epidemiologi Kementerian Kesehatan RI. Buletin Jendela Epidemiologi: Demam Berdarah Dengue. *Pus Data dan Surveilans Epidemiol Kementeri Kesehatan RI*. 2010;2.
28. Idris MFIM, Abdullah A, Fauzi SSM. Prediction of Dengue Outbreak in Selangor Using Fuzzy Logic. In: *Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA) 2017 – Volume 2*. Vol 2. Springer Singapore; 2018:593-603.
29. WHO. *Dengue Hemorrhagic Fever: Diagnosis, Treatment and Control*. Second Edition. WHO; 1997.
30. Pratama GY. Nyamuk Anopheles sp dan Faktor yang Mempengaruhi di Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan. *J Major*. 2015;4(1):20-27.
31. Mawardi I, Sudaryono. Pengaruh Irigasi dan Naungan Terhadap Produksi Tanaman Cabe (*Capsicum annum*) Pada Lahan Berpasir di Pantai Glagah, Yogyakarta. *J Hidrosfir Indones*. 2008;3(1):41-49.
32. WHO. *Comprehensive Guidelines for Prevention and Control of Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever*. WHO; 2011.
33. Kementerian Kesehatan RI. *Petunjuk Teknis Implementasi PSN 3M-PLUS Dengan Gerakan 1 Rumah 1 Jumantik*. Kementerian Kesehatan RI; 2016.
34. Kementerian Kesehatan RI. *Pedoman Pencegahan Dan Pengendalian Demam Berdarah Dengue Di Indonesia*. Kementerian Kesehatan RI; 2017.

