

PENGGUNAAN LOGIKA FUZZY DALAM PEMODELAN SPASIAL KERENTANAN DBD DI KOTA YOGYAKARTA

Gemasakti Adzan
gemasakti.adzan@gmail.com

Projo Danoedoro
projo.danoedoro@geo.ugm.ac.id

Abstract

The objective of this research is modelling an irritable rate area of Dengue Haemorrhagic Fever (DHF) using fuzzy logic in Yogyakarta, using several variables as representative of DHF's epidemiological factor, such as building density, vegetation cover, and rainfall as representative of environmental factor; human population density as a representative of human factor, and house index as a representative of vector factor. This research consist of several analysis: fuzzy membership analysis which is used to analyze degree of membership value of each variables of its relationship with DHF case; fuzzy overlay analysis which is used to done a comprehensive analysis using all of variables in order to analyze the irritable area of DHF case, using five types of fuzzy operator: AND, OR, SUM, PRODUCT, and Square Root operator; and defuzzification analysis which is used to reclassify the fuzzy result of the model into crisp value.

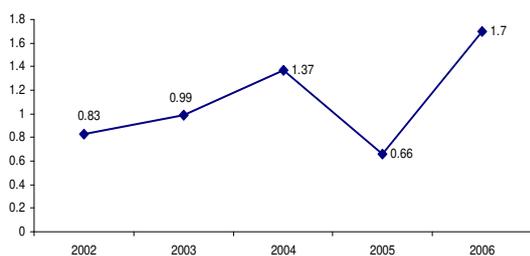
Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan epidemiologi DBD dalam menentukan tingkat kerentanan wilayah terhadap DBD, dengan menggunakan logika fuzzy sebagai metode analisis, mengambil Kota Yogyakarta sebagai daerah penelitian, dengan melibatkan berbagai variabel yang mewakili aspek epidemiologi, antara lain: tingkat kepadatan bangunan, persentase tutupan vegetasi, dan curah hujan (aspek lingkungan), kepadatan penduduk (aspek manusia), dan *house index* (aspek kepadatan vektor). Analisa yang dilakukan meliputi proses analisa derajat keanggotaan fuzzy setiap variabel terhadap kejadian DBD dengan menggunakan kurva fuzzy (*fuzzy membership analysis*), proses analisa seluruh variabel secara bersama-sama dalam menilai kerentanan DBD (*fuzzy overlay analysis*) dengan menggunakan beberapa operator fuzzy: operator AND, OR, SUM, PRODUCT, dan Akar Perkalian (operator hasil modifikasi), dan proses pengembalian informasi ke bentuk tegas (*crisp*) melalui pengklasifikasian tingkat kerentanan DBD (*fuzzification*). Tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan oleh masing-masing operator fuzzy kemudian diuji akurasi terhadap kerentanan aktual yang diturunkan dari informasi sebaran kasus DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007.

Pendahuluan

Penyakit demam berdarah dengan berbagai manifestasinya seperti *Dengue Shock Syndrome* dan *Dengue Haemorrhagic Fever* atau Demam Berdarah Dengue (DBD) saat ini menjadi salah satu permasalahan utama kesehatan masyarakat internasional. Menurut Gubler (1998), distribusi spasial penyakit DBD yang semakin meluas diakibatkan oleh perubahan kondisi demografis dan sosial besar-besaran dalam kurun waktu 50 tahun terakhir. Pertumbuhan penduduk terjadi dengan cepat, di sisi lain pengembangan area permukiman cenderung tidak terkontrol dan tidak tertata dengan baik, khususnya pada daerah beriklim tropis. Permukiman tak terencana yang kumuh dan padat, dengan manajemen pengaturan air dan sampah yang buruk, menciptakan kondisi yang ideal bagi perkembangan maupun transmisi vektor penyakit DBD. Perkembangan teknologi dalam bidang transportasi juga turut mendorong penyebaran distribusi penyakit DBD, di mana mobilitas manusia antar wilayah menjadi semakin mudah sehingga memudahkan terjadinya mobilisasi vektor penyakit DBD.

Kota Yogyakarta merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang menjadi daerah epidemi DBD. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir hingga 2009 selalu dijumpai kasus DBD dan cenderung meningkat tiap tahunnya (Dinkes Yogyakarta, 2009). Bila menilik kriteria angka kesakitan (morbiditas) di Indonesia, di mana angka yang diperkenankan adalah tidak lebih dari 0,75 maka angka insidensi DBD di Kota Yogyakarta dapat dikatakan tinggi karena telah melewati batas tersebut, seperti ditunjukkan oleh grafik berikut:



Tingkat Morbiditas Kasus DBD di Kota Yogyakarta Th. 2002-2006

(Sumber: Dinkes Yogyakarta, 2009)

Berkaitan dengan kegiatan pencegahan dan pengendalian DBD, pemetaan kerentanan wilayah terhadap terjadinya kasus DBD adalah hal yang cukup penting. Pemetaan tingkat kerentanan wilayah terhadap DBD dapat

menjadi masukan dalam kegiatan perencanaan kesehatan masyarakat. Penyakit DBD sendiri merupakan penyakit yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Kenyataan tersebut sangat relevan dengan konsep spasial dalam bidang ilmu geografi. Analisis spasial dapat digunakan untuk melihat bagaimana faktor-faktor lingkungan mempengaruhi tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap terjadinya penyakit DBD. Salah satu metode yang kini banyak dikembangkan sebagai basis analisa terkait permasalahan tersebut adalah Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penggunaan data Penginderaan Jauh sebagai *input data* yang digunakan.

Berbicara tentang pemodelan spasial tentu saja tidak terbatas pada sistem pemodelan indeks, yang memang sejauh ini paling umum digunakan karena relatif mudah dan praktis dalam pengaplikasiannya. Seiring berjalannya waktu, sistem pemodelan dalam SIG lainnya, yang sebelumnya oleh Chang (2002) dibedakan menjadi lima yaitu model biner, model regresi, model proses, model jaringan, dan model indeks sendiri, mengalami perkembangan yang pesat. Model spasial tidak melulu dipandang berdasarkan format data yang digunakan (vektor dan raster) namun berdasarkan konsep dan logika analisis serta sistem inferensi yang digunakan. Pemodelan spasial SIG juga sangat adaptif dalam hal integrasi dengan operasi selain aritmatika, operasi aljabar, dan statistika dalam kaitannya dengan sistem inferensi (pengambilan keputusan). Salah satunya adalah logika fuzzy (logika samar), sebuah logika pengambilan keputusan yang diperkenalkan oleh Zadeh (1965), yang merupakan salah satu metode dalam sistem kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Logika fuzzy saat ini cukup banyak digunakan untuk diintegrasikan dalam pemodelan spasial SIG sebagai metode analisis.

Penggunaan logika fuzzy dalam pemodelan spasial SIG pada dasarnya berangkat dari kenyataan bahwa berbagai fenomena di permukaan bumi yang sifatnya kontinyu (kemiringan lereng, intensitas hujan, kepadatan penduduk, dsb.) kurang representatif saat disajikan dengan klasifikasi yang tegas (*crisp*). Logika fuzzy merupakan sebuah alternatif solusi yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fenomena tersebut semirip mungkin dengan prinsip kerja otak manusia yang juga bersifat fuzzy. Tujuannya tentu saja meminimalisir dampak generalisasi akibat *crisp classification* dalam sebuah pemodelan spasial.

Tujuan Penelitian

1. Mengkaji kondisi tingkat kerentanan DBD dan melihat pengaruh aspek epidemiologi DBD terhadap kondisi kerentanan DBD di Kota Yogyakarta.
2. Mengkaji kemampuan logika fuzzy sebagai metode analisis dalam pemodelan spasial tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Seperangkat komputer dengan spesifikasi dan kelengkapan sbb:
Processor Intel P6100 2.00 GHz
Random Access Memory (RAM) 4.00 Gb
Video Graphic NVIDIA 512 Mb
2. Perangkat lunak **ArcGIS 9.3** dan *extend tool Spatial Modeler Toolbox* untuk pengolahan peta (*input data/interpretasi citra satelit, pengolahan data atribut, analisis statistik spasial, dan layout peta*), analisis *Fuzzy Membership*, dan analisis *Fuzzy Overlay*.
3. Perangkat lunak **Microsoft Office 2010** untuk proses pembuatan laporan (*reports*) baik laporan tertulis maupun presentasi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Citra satelit QuickBird liputan Kota Yogyakarta, rekaman tahun 2007; untuk ekstraksi informasi persentase tutupan vegetasi dan tingkat kepadatan bangunan.
2. Data sebaran kasus DBD Kota Yogyakarta tahun 2007 (sumber: Survey Lapangan)
3. Data *House Index* Kota Yogyakarta tahun 2007 (sumber: Dinas Kesehatan Kota Yogyakarta)
4. Data jumlah penduduk Kota Yogyakarta tahun 2007 (sumber: Kota Yogyakarta dalam Angka 2007, BPS Daerah Istimewa Yogyakarta)
5. Data intensitas curah hujan Kota Yogyakarta dan sekitarnya tahun 2007 (sumber: beberapa stasiun penakar hujan di Daerah Istimewa Yogyakarta)

Pemilihan variabel penelitian dalam pemodelan spasial kerentanan penyakit DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 dengan menggunakan logika fuzzy sebagai metode analisis ini didasarkan pada konsep segitiga epidemiologi penyakit DBD. Artinya, variabel penelitian yang dilibatkan harus mewakili ketiga aspek epidemiologi DBD, yaitu aspek lingkungan, aspek manusia, dan aspek vektor

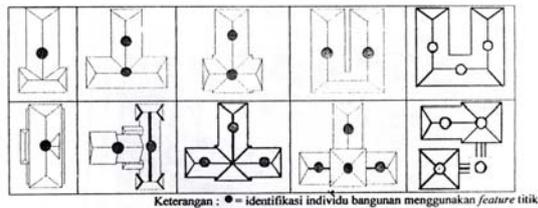
DBD. Aspek lingkungan penyebab penyakit DBD diwakili oleh variabel tingkat kepadatan bangunan dan persentase tutupan vegetasi dengan sumber data citra Quickbird, serta variabel curah hujan yang bersumber dari pengukuran data di beberapa stasiun penakar hujan di Kota Yogyakarta dan sekitarnya. Aspek manusia diwakili oleh variabel tingkat kepadatan penduduk yang bersumber dari data statistik BPS Kota Yogyakarta tahun 2007. Sementara aspek vektor diwakili oleh variabel *House Index* yang bersumber dari pengukuran lapangan oleh tenaga surveilans kelurahan di Yogyakarta pada tahun 2007. Variabel *insidence rate* dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 yang nantinya digunakan sebagai acuan untuk validasi pemodelan spasial tingkat kerentanan DBD yang dilakukan.

Unit analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit raster grid dengan ukuran 100 x 100 meter (1 hektar). Ukuran tersebut dipilih dengan pertimbangan bahwa pada ukuran tersebut, beberapa aspek epidemiologi memiliki unit pengukuran yang paling sesuai. Ketika diamati pada kenampakan citra Quickbird, blok permukiman di Kota Yogyakarta rata-rata memiliki ukuran luas yang relatif mendekati ukuran tersebut. Terkait dengan variabel kepadatan bangunan, pada ukuran tersebut, variasi kepadatan bangunan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan ukuran lainnya (250 x 250 m, 50 x 50 m) yang cenderung menghasilkan variasi kepadatan bangunan yang seragam.

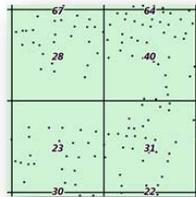
Pemetaan Variabel Penentu Kerentanan DBD

Tingkat Kepadatan Bangunan

Informasi kepadatan bangunan dapat diekstraksi melalui interpretasi pada citra QuickBird (resolusi spasial 0,64 m) liputan Kota Yogyakarta. Merujuk pada Erlangga (2007), individu bangunan dapat dikenali dari kanopinya, yaitu atap bangunan dan batas persil bangunan yang tidak tertutup oleh penutup lahan lain. Melalui citra QuickBird akan dapat cepat mendeteksi atap bangunan, tetapi untuk dapat mengenali dan memutuskan bahwa atap tersebut adalah satu individu bangunan tidaklah mudah karena adanya variasi bentuk atap tiap bangunan dan juga adanya beberapa kompleks bangunan. Pengenalan individu bangunan melalui citra QuickBird dikenali melalui kunci interpretasi bentuk, ukuran, pola, dan warna dari tiap bangunan.



Identifikasi bangunan sebagai point pada Citra Quickbird.



Proses penghitungan kepadatan bangunan dengan menghitung jumlah point dalam setiap grid.

$$\text{Kepadatan Bangunan} = \frac{\text{Jumlah Bangunan (point/contour)}}{\text{Luas Unit Analisis}}$$

Hasil identifikasi bangunan akan menggambarkan kondisi sebaran bangunan di Kota Yogyakarta. Informasi spasial kepadatan bangunan dapat dilakukan dengan menghitung jumlah bangunan pada grid seluas 100 m x 100 m.

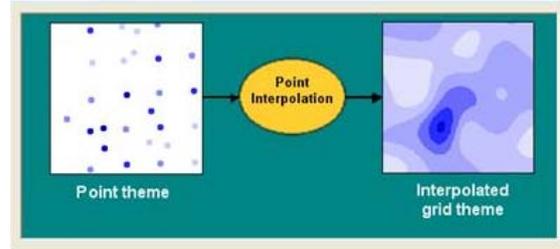
Tutupan Vegetasi

Informasi tingkat kerapatan vegetasi dalam penelitian ini didapatkan dengan menghitung luasan tutupan vegetasi yang terdapat pada setiap grid (unit analisis) berukuran 1 hektar. Luasan tutupan vegetasi didapatkan dari sebaran vegetasi pepohonan dan vegetasi rendah yang sebelumnya diidentifikasi pada Citra Quickbird liputan Kota Yogyakarta rekaman tahun 2007 melalui interpretasi visual. Obyek terkecil yang dipetakan adalah individu yang masih mampu teridentifikasi pada Citra Quickbird.

Informasi tutupan vegetasi disajikan dalam bentuk persentase, yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Tutupan Vegetasi} = \frac{\text{Luas Tutupan Vegetasi dalam 1 grid}}{\text{Luas grid}} \times 100\%$$

Curah Hujan



Informasi spasial curah hujan didapatkan dari hasil interpolasi nilai rerata curah hujan bulanan beberapa titik stasiun penakar hujan di sekitar daerah penelitian. Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbentuk peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah.

Metode interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Inverse Distance Weighted* (IDW), yaitu metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (weight) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel (Pramono, 2008). Interpolasi IDW dapat digambarkan melalui fungsi berikut:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i/d_i^p)}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^p}$$

Kepadatan Penduduk

Informasi tingkat kepadatan penduduk tiap kelurahan Kota Yogyakarta diambil dari data statistik kependudukan kota Yogyakarta tahun 2007 yang bersumber dari Biro Pusat Statistik (BPS) Daerah Istimewa Yogyakarta. Informasi kepadatan penduduk tersebut kemudian dimasukkan dalam data atribut tiap kelurahan Kota Yogyakarta.

Sehubungan dengan penggunaan unit analisis grid sebagai unit analisis yang digunakan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan respasialisasi dengan mengubah unit pemetaan ke dalam unit grid. Respasialisasi dilakukan dengan menginterpolasi nilai kepadatan penduduk dengan mengambil nilai tengah (*centroid*) kepadatan penduduk dari setiap kelurahan di Kota Yogyakarta.

House Index

Data *House Index* Kota Yogyakarta tahun 2007 diperoleh dari data sekunder yang dikeluarkan oleh Dinas Kesehatan Kota Yogyakarta. Pengukuran data tersebut dilakukan oleh petugas surveilans di setiap kelurahan Kota Yogyakarta.

Sehubungan dengan penggunaan unit analisis grid sebagai unit analisis yang digunakan dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan respasialisasi dengan mengubah unit pemetaan ke dalam unit grid. Respasialisasi dilakukan dengan menginterpolasi nilai *House Index* dengan mengambil nilai tengah (*centroid*) *House Index* dari setiap kelurahan di Kota Yogyakarta.

Sebaran Kasus DBD Tahun 2007

Pemetaan sebaran kasus DBD tahun 2007 dilakukan dengan cara menghitung jumlah kasus dalam setiap unit analisis grid berukuran 100 x 100 m. Informasi spasial sebaran kasus DBD sendiri didapatkan dari survey lapangan dengan cara *plotting GPS* berdasarkan data Dinas Kesehatan Kota Yogyakarta tahun 2009. Informasi tingkat kerentanan DBD kemudian dapat diturunkan dari informasi jumlah kasus tersebut, dengan menggunakan klasifikasi *density slicing* sesuai data pemetaan yang dihasilkan.

Tahap Pengolahan Data

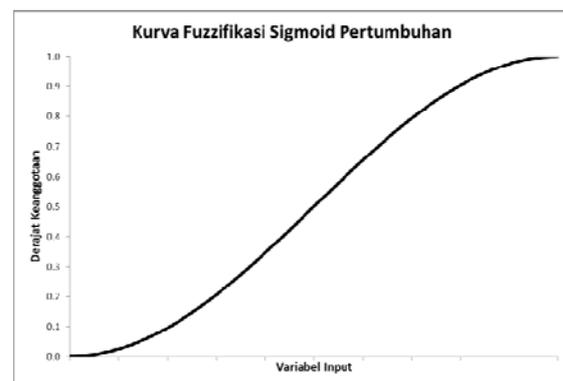
Fuzzifikasi

Setiap variabel penelitian yang mewakili masing-masing aspek epidemiologi DBD dilakukan fuzzifikasi berdasarkan sifat dan karakteristiknya dalam mempengaruhi tingkat kejadian DBD di Kota Yogyakarta. Kriteria masing-masing variabel penelitian dalam menyebabkan terjadinya penyakit DBD direpresentasikan dalam kurva derajat keanggotaan fuzzy (fuzzifikasi) secara subyektif. Penggunaan kurva fuzzifikasi yang berbeda menunjukkan pengaruh yang berbeda pula dari suatu variabel penelitian terhadap tingkat kejadian DBD.

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan sebelumnya, sebagian besar variabel yang digunakan dalam penelitian ini memiliki hubungan positif yang searah dengan tingkat kejadian DBD. Artinya, semakin besar nilai masing-masing variabel tersebut, semakin besar pula derajat keanggotaan fuzzy tingkat kerentanan DBD yang dihasilkannya. Variabel-variabel tersebut antara lain adalah variabel

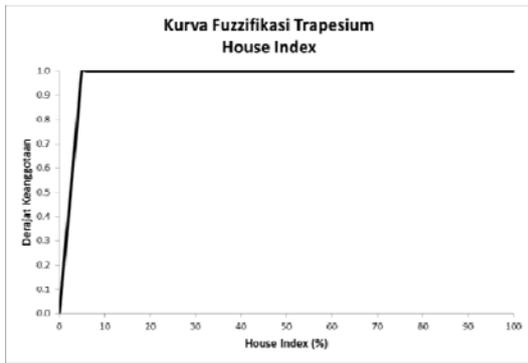
kepadatan penduduk, tingkat kepadatan bangunan, tingkat kerapatan vegetasi, dan curah hujan.

Sifat hubungan positif yang searah pada variabel-variabel tersebut di atas dalam penelitian ini akan direpresentasikan dengan menggunakan kurva fuzzifikasi Sigmoid (S) Pertumbuhan, yang menghasilkan peningkatan nilai derajat keanggotaan fuzzy seiring dengan semakin besar nilai *input* variabel yang dimasukkan dengan peningkatan nilai yang relatif lebih *smooth* dibandingkan dengan kurva fuzzifikasi linear. Penulis lebih memilih kurva fuzzifikasi sigmoid pertumbuhan secara subyektif dibandingkan dengan kurva linear yang sebenarnya juga dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan searah yang positif. Hal tersebut disebabkan dalam beberapa penelitian sebelumnya, variabel-variabel tersebut di atas memang memiliki hubungan searah yang positif terhadap tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan, namun ketika diuji dengan uji linearitas justru tidak menunjukkan hasil yang sangat signifikan.



Kurva Fuzzifikasi Sigmoid Pertumbuhan sebagai representasi variabel lingkungan dan manusia

Berbeda halnya dengan variabel *house index* (HI), yang digunakan untuk menggambarkan kondisi kepadatan vektor DBD di suatu daerah melalui persentase rumah/bangunan yang terdapat jentik nyamuk vektor DBD dari seluruh rumah/bangunan yang ada di suatu daerah, penentuan nilai minimum dan maksimum fuzzifikasi sudah dapat dilakukan sebelumnya. Penentuan tersebut mengacu pada kriteria yang dibuat oleh Departemen Kesehatan RI di mana ambang batas nilai HI yang diperkenankan adalah 5%, sehingga pada kondisi HI yang bernilai lebih dari 5% akan memiliki derajat keanggotaan = 1. Karakteristik tersebut dapat direpresentasikan dengan menggunakan kurva fuzzifikasi trapesium satu kaki.



Kurva Fuzzifikasi Trapesium sebagai representasi House Index terhadap tingkat kerentanan DBD

Fuzzy Overlay

Analisis Fuzzy Overlay dilakukan untuk menilai tingkat kerentanan DBD berdasarkan variabel fuzzy (hasil fuzzifikasi) secara bersama-sama melalui operasi *overlay*. Analisis Fuzzy Overlay akan menghasilkan keluaran tingkat kerentanan penyakit DBD di Kota Yogyakarta secara fuzzy pula (rentang derajat keanggotaan 0 - 1), di mana semakin mendekati nilai derajat keanggotaan 1, maka tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan berarti semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

Ada beberapa operator fuzzy yang akan digunakan dalam fuzzy overlay, yaitu operator AND, operator OR, operator SUM, dan operator PRODUCT. Pengujian akurasi pemodelan kemudian dilakukan untuk menentukan operator fuzzy yang paling baik dalam menggambarkan tingkat kerentanan DBD dalam penelitian ini.

Defuzzifikasi

Analisis defuzzifikasi digunakan untuk mengembalikan hasil fuzzy overlay ke bentuk tegas (*crisp*). Proses tersebut perlu dilakukan karena pada kenyataannya pengguna peta lebih mudah menerima informasi yang dikategorikan secara tegas.

Pada penelitian ini defuzzifikasi dilakukan dengan mengkategorikan nilai hasil fuzzy overlay ke dalam tingkat kerentanan DBD. Kategori kerentanan DBD berdasarkan nilai fuzzy sendiri dibagi berdasarkan metode *histogram slicing*.

Uji Akurasi Pemodelan

Pemodelan spasial tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 yang telah dihasilkan dalam penelitian ini perlu diuji akurasinya. Pengujian tersebut perlu dilakukan untuk melihat tingkat kebenaran model dengan menggunakan logika fuzzy dalam menggambarkan kondisi kerentanan DBD di Kota Yogyakarta yang sesungguhnya sekaligus untuk melihat operator fuzzy mana yang paling baik dalam menggambarkan kondisi kerentanan DBD di Kota Yogyakarta.

Pengujian akurasi model fuzzy berdasarkan operator fuzzy overlay yang digunakan dilakukan dengan metode *confusion matrix*, yaitu suatu matriks yang memuat informasi aktual dan prediksi dari klasifikasi yang telah dilakukan.

Tabel Uji Confusion Matrix

		Prediksi		
		Tinggi	Sedang	Rendah
Aktual	Tinggi	a	b	c
	Sedang	d	e	f
	Rendah	g	h	i

Akurasi (AC) diperoleh dari proporsi berdasarkan jumlah prediksi yang benar, dengan persamaan sebagai berikut:

$$AC = \frac{a+b+c+d+e+f+g+h+i}{a+b+c+d+e+f+g+h+i} \times 100\%$$

Pengujian akurasi model fuzzy dilakukan dengan membandingkan tingkat kerentanan DBD hasil pemodelan masing-masing operator fuzzy overlay yang digunakan dengan tingkat kerentanan DBD aktual berdasarkan sebaran kasus DBD Kota Yogyakarta tahun 2007.

Hasil dan Pembahasan

Fuzzifikasi

Komponen Himpunan Fuzzy pada Setiap Variabel Penelitian

No.	Variabel Penelitian	Kurva Fuzzy	Interval Himpunan Fuzzy
1.	Kepadatan Bangunan	Sigmoid Pertumbuhan	{0 101} dalam satuan unit/hektar
2.	Persentase Tutupan Vegetasi	Sigmoid Pertumbuhan	{0 100} dalam satuan %
3.	Rerata Curah Hujan	Sigmoid Pertumbuhan	{163,33 198,53} dalam

			mm/bulan
4.	Kepadatan Penduduk	Sigmoid Pertumbuhan	{49 409} dalam satuan jiwa/hektar
5.	House Index	Trapesium	{0 100} dalam satuan %

Berdasarkan tabel hasil analisis fuzzifikasi variabel penelitian di atas, dapat dilihat bahwa beberapa variabel cenderung dapat memicu kejadian DBD dengan kondisi kerentanan yang tinggi di Kota Yogyakarta pada tahun 2007, yaitu antara lain variabel kepadatan penduduk, *house index* (HI), dan kepadatan bangunan. Variabel-variabel tersebut cenderung memiliki derajat keanggotaan fuzzy yang tinggi terhadap tingkat kejadian DBD. Sementara itu variabel penelitian yang lain, yaitu tutupan vegetasi dan curah hujan cenderung memicu tingkat kerentanan DBD yang relatif rendah hingga sedang di mana derajat keanggotaan fuzzy yang dihasilkan cenderung rendah (mendekati derajat keanggotaan fuzzy 0).

Fuzzy Overlay

Keluaran yang dihasilkan dari analisis fuzzy overlay ini adalah derajat keanggotaan fuzzy yang nilainya berkisar antar 0 – 1, di mana semakin mendekati nilai derajat keanggotaan fuzzy 0, artinya tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan semakin rendah. Sebaliknya, semakin mendekati nilai derajat keanggotaan fuzzy 1, artinya tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan semakin tinggi.

Analisis fuzzy overlay pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 5 buah operator fuzzy yaitu operator fuzzy AND, OR, SUM, PRODUCT, dan Operator Akar Perkalian. Masing-masing operator fuzzy tersebut menghasilkan keluaran interval derajat keanggotaan fuzzy yang berbeda.

Operator fuzzy OR, yang menggunakan logika *union*, di mana keluaran yang dihasilkan diambil dari salah satu *input values* yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi pada penelitian ini menghasilkan derajat keanggotaan fuzzy tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 dengan interval nilai 0,51 – 1. Secara relatif hal tersebut menunjukkan adanya kecenderungan tingkat kerentanan yang tinggi karena mendekati nilai 1.

Sementara itu operator fuzzy AND, yang menggunakan logika *intersect*, di mana keluaran yang dihasilkan diambil dari salah satu *input values* yang memiliki derajat keanggotaan

fuzzy terendah pada penelitian ini menghasilkan derajat keanggotaan fuzzy tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 relatif rendah, dengan interval nilai 0 – 0,43. Artinya tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan relatif mendekati rendah. Namun perlu diperhatikan bahwa operator AND ini merupakan operator fuzzy yang paling sesuai untuk digunakan dalam pemodelan spasial tingkat kerentanan DBD, di mana dalam operator fuzzy AND, logika *intersect* menggambarkan bahwa semua *input variables* memiliki proporsi yang sama dan semua variabel harus disertakan dalam menentukan hasil keluaran fuzzy. Kondisi tersebut sesuai dengan kenyataan dalam pemodelan tingkat kerentanan DBD, bahwa sesuai teori epidemiologi DBD, semua faktor epidemiologi DBD (faktor lingkungan, manusia, dan vektor) yang direpresentasikan dalam variabel penelitian haruslah dilibatkan semua. Tidak adanya 1 saja faktor epidemiologi tersebut, maka kasus DBD tidak akan dapat terjadi.

Berbeda dengan operator fuzzy AND dan OR yang mendasarkan hasil keluaran dari salah satu *input values* (*single evidence*) saja, operator fuzzy SUM dan PRODUCT lebih bersifat spasial karena dapat mengakomodasi semua *input vales* dalam keluaran yang dihasilkan. Operator fuzzy SUM cenderung menghasilkan keluaran yang tinggi (*increasing values*) sebagai efek dari logika penjumlahan aljabar yang digunakan, sementara operator fuzzy PRODUCT justru sebaliknya, yaitu cenderung menghasilkan keluaran yang rendah (*decreasing values*) sebagai efek dari logika perkalian aljabar yang digunakan.

Operator fuzzy SUM dalam penelitian ini menghasilkan keluaran berupa derajat keanggotaan yang relatif tinggi (mendekati nilai 1), di mana interval keluaran yang dihasilkan berkisar antara 0,6 – 1. Artinya, tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan berdasarkan operator fuzzy SUM di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 relatif tinggi, namun seragam dan sedikit memiliki variasi. Berbeda halnya dengan operator fuzzy PRODUCT yang justru menghasilkan keluaran derajat keanggotaan fuzzy yang relatif rendah (mendekati nilai 0), di mana interval keluaran fuzzy yang dihasilkan berkisar antara 0 – 0,13. Artinya, tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan berdasarkan operator fuzzy PRODUCT di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 adalah relatif rendah.

Sementara itu, operator fuzzy Akar Perkalian menghasilkan rentang nilai rendah

menuju sedang yang cenderung variatif (0 – 0,66), yang dapat diartikan bahwa tingkat kerentanan DBD yang dihasilkan berdasarkan operator fuzzy SUM di Kota Yogyakarta pada tahun 2007 relatif rendah cenderung mendekati sedang (mendekati batas nilai tengah derajat keanggotaan fuzzy yaitu 0,5).

Selebihnya, rekapitulasi hasil analisis fuzzy overlay untuk menentukan tingkat kerentanan DBD secara relatif di Kota Yogyakarta dapat diamati pada tabel berikut ini:

No.	Operator Fuzzy yang Digunakan	Keluaran yang Dihasilkan	Kerentanan DBD Relatif
1.	Operator Fuzzy AND	{0 0,43}	Relatif Rendah - Sedang, Variatif
2.	Operator Fuzzy OR	{0,51 1}	Relatif Sedang - Tinggi, Seragam
3.	Operator Fuzzy SUM	{0,6 1}	Relatif Sedang - Tinggi, Seragam
4.	Operator Fuzzy PRODUCT	{0 0,13}	Relatif Rendah, Seragam
5.	Operator Fuzzy Akar Perkalian	{0 0,66}	Relatif Rendah - Sedang, Variatif

Defuzzifikasi (Kategorisasi Kerentanan DBD)

Analisis defuzzifikasi dilakukan dengan tujuan mengembalikan informasi dari bentuk fuzzy ke bentuk tegas (*crisp*). Informasi yang disajikan dalam bentuk fuzzy memang cenderung memiliki kelemahan lebih sukar diterima oleh pengguna peta karena sifat *continuous* yang dimilikinya dibandingkan informasi dalam bentuk klasifikasi yang tegas. Begitu pula terhadap informasi tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 yang disajikan dalam bentuk fuzzy hasil dari analisis fuzzy overlay (bagian 4.3). Sebagian pengguna peta mungkin akan mengalami kesulitan untuk membedakan kriteria tingkat kerentanan berdasarkan informasi nilai 0 – 1. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis defuzzifikasi untuk mengkonversi kriteria kerentanan DBD yang bersifat fuzzy tersebut ke kategori kerentanan yang lebih tegas.

Kriteria kerentanan DBD yang digunakan pada tahap defuzzifikasi ini mengacu pada pengelompokan tingkat kerentanan DBD aktual berdasarkan jumlah kasus DBD per unit analisis, yakni pembagian tingkat kerentanan ke dalam empat kelas (tingkat kerentanan tinggi, sedang, rendah, dan tidak rentan). Perbedaannya, kriteria kerentanan tersebut pada tahap defuzzifikasi ini diklasifikasikan dengan metode *histogram slicing* terhadap rentang nilai fuzzy yang ada (0 – 1). Penentuan

kelas pada metode *histogram slicing* tersebut mengacu pada kumpulan nilai yang terdapat pada histogram hasil pengolahan fuzzy, di mana nilai-nilai yang mengumpul menjadi sebuah bukit grafik mengindikasikan sebuah kenampakan yang seragam, dalam hal ini dianggap sebagai kelas kerentanan yang sama.

Tingkat kerentanan DBD hasil analisis fuzzy overlay yang dilakukan dengan berbagai jenis operator fuzzy yaitu operator OR, AND, SUM, PRODUCT, dan Akar Perkalian yang masing-masing akan diklasifikasikan tingkat kerentanannya. Keluaran dari tahapan defuzzifikasi ini merupakan hasil akhir pemodelan spasial yang dilakukan pada penelitian ini yakni tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 dengan penggunaan beberapa operator fuzzy yang berbeda. Pada tahapan berikutnya akan dilakukan pengujian akurasi pemodelan untuk melihat operator fuzzy mana yang menghasilkan akurasi pemodelan tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007.

No.	Operator Fuzzy yang Digunakan	Kategori Kerentanan			
		Tidak Rentan	Rendah	Sedang	Tinggi
1.	Fuzzy AND	0	0 – 0,09	0,09 – 0,2	0,2 – 0,46
2.	Fuzzy OR	0	0,5 – 0,8	0,8 – 0,9	0,9 – 1
3.	Fuzzy SUM	0	0,6 – 0,96	0,96 – 0,99	0,99 – 1
4.	Fuzzy PRODUCT	0	0 – 0,003	0,003 – 0,01	0,01 – 0,12
5.	Fuzzy Akar Perkalian	0	0 – 0,17	0,17 – 0,32	0,32 – 0,66

Rekapitulasi hasil analisis defuzzifikasi untuk menentukan tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta dapat disimak pada tabel berikut ini:

No.	Operator Fuzzy	Tingkat Kerentanan DBD yang Dihasilkan			
		Rendah	Sedang	Tinggi	Tidak Rentan
1.	Operator AND	78,02%	12,04%	8,33%	1,6%
2.	Operator OR	2,34%	12,6%	85,04%	0%
3.	Operator SUM	2,48%	5,06%	92,4%	0%
4.	Operator PRODUCT	56,13%	27,2%	8,3%	8,33%
5.	Operator Akar Perkalian	16,5%	42,5%	32,5%	8,33%

Uji Akurasi Model

Pengujian akurasi model spasial dilakukan dengan membandingkan peta tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 yang dihasilkan oleh pemodelan spasial dengan penggunaan beberapa operator fuzzy (bagian 4.4) yaitu masing-masing adalah operator fuzzy

AND (Gambar 4.20), operator OR (Gambar 4.21), operator PRODUCT (Gambar 4.22), operator SUM (Gambar (4.23), dan operator Akar Perkalian (Gambar 4.24) dengan peta tingkat kerentanan DBD aktual tahun 2007 yang didasarkan pengkategorian jumlah kasus DBD dalam setiap unit analisis grid. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji *confusion matrix* (terlampir). Rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat disimak pada tabel berikut ini:

No.	Tingkat Kerentanan DBD	Akurasi yang Dihilangkan
1.	Berdasarkan Operator Fuzzy AND	46,4%
2.	Berdasarkan Operator Fuzzy OR	2,97%
3.	Berdasarkan Operator Fuzzy SUM	2,56%
4.	Berdasarkan Operator Fuzzy PRODUCT	17,04%
5.	Berdasarkan Operator Akar Perkalian	11,9%

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis *fuzzy membership* (fuzzifikasi), variabel tingkat kepadatan bangunan, kepadatan penduduk, dan kepadatan vektor melalui *house index* (HI) cenderung memicu tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 yang relatif tinggi, dengan derajat keanggotaan fuzzy terkait kejadian DBD yang cenderung mendekati derajat keanggotaan fuzzy 1.
2. Berdasarkan hasil analisis *fuzzy membership* (fuzzifikasi), variabel tingkat tutupan vegetasi dan rerata curah hujan bulanan cenderung memicu tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007 yang relatif rendah, dengan derajat keanggotaan fuzzy terkait kejadian DBD yang cenderung mendekati derajat keanggotaan 0.
3. Logika fuzzy dapat digunakan sebagai metode analisis dalam pemodelan spasial tingkat kerentanan DBD di Kota Yogyakarta tahun 2007, namun dengan akurasi pemodelan spasial terbaik yang cukup rendah, yaitu sebesar 46,4% berdasarkan penggunaan operator fuzzy AND.

Daftar Pustaka

Aisyah, Siti. (2000). Aplikasi Foto Udara dan Sistem Informasi Geografis untuk Penentuan Tingkat Kerentanan Wilayah Terhadap Perkembangbiakan Nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* dan Prioritas Penanganannya Di Jakarta

Selatan. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Al Rahmadi, Muhammad. (2005). Penentuan Tingkat Kerawanan Wilayah Terhadap Wabah Penyakit Demam Berdarah Dengue dengan Teknik Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi di Kota Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Albert, D. P. (2005). *Spatial Analysis, GIS, and Remote Sensing Applications in the Health Sciences*. Chelsea: Ann Arbor Press.

Bonham-Carter, Graeme F. (1997). *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS*. Chapter 9, Fuzzy logic section with related tables and figures. London: CRC Press, Taylor and Francis Group.

Danoedoro, Projo dan Suharyadi. (2004). *Sistem Informasi Geografis: Konsep Dasar dan Beberapa Catatan Perkembangannya Saat Ini*. Dalam: Sains Informasi Geografis: Dari Perolehan dan Analisis Citra hingga Pemetaan dan Pemodelan Spasial. Yogyakarta: Jurusan Kartografi dan Penginderaan Jauh Fakultas Geografi UGM.

Dinas Kesehatan Yogyakarta. (2009). *Laporan Kegiatan: Epidemiologi Demam Berdarah di Kota Yogyakarta Tahun 2006 - 2008*. Yogyakarta: Dinas Kesehatan Kota Yogyakarta.

Erlangga, Satya. (2009). Pemodelan Spasial Kejadian Tuberkulosis Melalui Analisis Citra QuickBird dan Sistem Informasi Geografis (Kasus: Kota Yogyakarta, Provinsi DIY). *Thesis*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Gubler, D. J. (1998). Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever. *Journal of Clinical Microbiology Reviews*, July 1998.

Iswari, Lizda. (2008). Pemanfaatan Sistem Inferensi Fuzzy dalam Pengolahan Peta Tematik (Studi Kasus: Sistem Informasi Geografis Daerah Rawan Penyakit Demam Berdarah). Dalam: *Proceeding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2008*, Yogyakarta.

Khim, P. C. (2007). Bionomics of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Relation to Dengue Incidence on Penang Island and the Application of Sequential

Sampling in the Control of Dengue Vectors. *Thesis*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia.

Kusumadewi, S. dan Hari P.. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta.

Lampiran

