

CESS

(Journal of Computer Engineering, System and Science)

Available online: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>

ISSN: 2502-714x (Print) | ISSN: 2502-7131 (Online)



Metode Fuzzy Mamdani untuk Pemetaan Risiko DBD Berdasarkan Data Kasus dan Kepadatan Penduduk di Gunungkidul

Mamdani Fuzzy Method for Dengue Fever Risk Mapping Based on Case Data and Population Density in Gunungkidul

Dwi Purnama^{1*}, Ita Haryani Setiono²

¹Prodi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta, Jawa Tengah, 57126, Indonesia

²UPT Puskesmas Semanu 1
Jl. Jendral Sudirman no. 10, Semanu, Gunungkidul, D.I.Yogyakarta, 55893
Email: ¹dwipurnama@staff.uns.ac.id, ²itaharyanisetiono@gmail.com

*Corresponding Author

ABSTRAK

Demam Berdarah Dengue (DBD) masih menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia sehingga diperlukan pemetaan risiko yang sederhana namun informatif. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani untuk memetakan risiko DBD per kecamatan di Kabupaten Gunungkidul berdasarkan data 2019-2023. Variabel masukan meliputi rata-rata kasus DBD tahunan dan kepadatan penduduk (jiwa/km²). Kedua variabel difuzzifikasi menjadi tiga himpunan (rendah, sedang, tinggi), sedangkan keluaran berupa indeks risiko skala 0-100 dengan empat kategori. Hasil menunjukkan indeks risiko mampu mengelompokkan 18 kecamatan secara lebih rinci dan membaginya ke dalam 4 kategori risiko DBD (rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi), serta menandai wilayah dengan kasus dan kepadatan penduduk tinggi sebagai prioritas pengendalian.

Kata Kunci: Demam Berdarah Dengue; sistem inferensi fuzzy; fuzzy Mamdani; kepadatan penduduk; pemetaan risiko.

ABSTRACT

Dengue haemorrhagic fever (DHF) remains a public health problem in Indonesia, requiring simple yet informative risk mapping. This study employs the Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) method to map DHF risk by subdistrict in Gunungkidul Regency, based on data from 2019 to 2023. Input variables include the annual average number of DHF cases and population density (people/km²). Both variables are fuzzified into three categories (low, medium, high), while the *output* is a risk index on a scale of 0-100 with four categories. The results show that the risk index can classify the 18 sub-districts in more detail and divide them into four dengue risk categories (low, moderate, high, and very high), and it identifies



areas with high case numbers and high population density as priority targets for control efforts.

Keywords: *Dengue haemorrhagic fever; fuzzy inference system; fuzzy Mamdani; population density; risk mapping.*

1. PENDAHULUAN

Demam Berdarah Dengue (DBD) masih menjadi ancaman kesehatan masyarakat di berbagai negara tropis. Laporan WHO menunjukkan bahwa dalam lima tahun terakhir terjadi peningkatan tajam kasus DBD secara global, lebih dari 7,6 juta kasus dan lebih dari 3.000 kematian dilaporkan sampai April 2024, sehingga DBD digolongkan sebagai kedaruratan kesehatan yang terus berkembang [1]. Indonesia termasuk salah satu kontributor utama di dunia, kajian nasional terbaru menunjukkan insidensi DBD yang cenderung meningkat dan tetap menyebar luas hampir di seluruh provinsi [2], [3]. Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu provinsi endemis DBD di Indonesia. Pada tahun 2020 tercatat 3.623 kasus DBD dengan 13 kematian di Provinsi DIY, dan pada tahun 2021 *incidence rate* (IR) masih mencapai 32 per 100.000 penduduk dengan *Case Fatality Rate* (CFR) 1,01% [4], [5].

Penelitian lokal di wilayah kerja Puskesmas Paliyan menunjukkan bahwa daerah ini merupakan salah satu klaster penting DBD di Kabupaten Gunungkidul. Studi kasus di Padukuhan Mangger, Kelurahan Karangasem, melaporkan bahwa wilayah ini memiliki angka kasus DBD tertinggi di wilayah kerja Puskesmas Paliyan pada 2024 [6]. Laporan pengabdian masyarakat di Padukuhan Singkil, Giring, Paliyan, juga mendokumentasikan kasus DBD berulang serta banyak rumah yang positif jentik *Aedes sp.* [7]. Kajian pemetaan karakteristik wilayah DBD di Kabupaten Gunungkidul tahun 2011-2015 menunjukkan variasi spasial kasus antar kecamatan [8], temuan-temuan ini menguatkan bahwa risiko DBD di Gunungkidul tidak merata antar wilayah dan perlu dipetakan secara lebih rinci untuk mendukung penentuan prioritas pengendalian.

Sejalan dengan temuan lokal tersebut, berbagai studi di Indonesia menunjukkan bahwa distribusi DBD cenderung membentuk klaster dan sering kali berkaitan dengan karakteristik demografi, terutama kepadatan penduduk [9], [10]. Secara global, pendekatan pemetaan risiko berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dikombinasikan dengan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) maupun logika fuzzy telah banyak digunakan untuk menyusun indeks risiko DBD dengan menggabungkan berbagai faktor iklim, lingkungan, dan demografi [11], [12]. Namun, pendekatan tersebut umumnya membutuhkan banyak lapisan data yang tidak selalu tersedia secara rutin di tingkat kabupaten.

Dalam konteks keterbatasan data tersebut, logika fuzzy menawarkan pendekatan yang relatif sederhana namun fleksibel untuk menggabungkan data numerik ke dalam kategori linguistik tingkat risiko. Berbagai penelitian mutakhir telah memanfaatkan *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk menilai risiko atau peluang kejadian DBD dengan mengintegrasikan beberapa variabel lingkungan dan epidemiologis, serta menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menangkap ketidakpastian dan menghasilkan klasifikasi risiko yang berguna bagi pengambil keputusan [13], [14]. Namun, sebagian besar model tersebut menggunakan banyak variabel dan berfokus pada prediksi atau pemodelan risiko berskala besar,

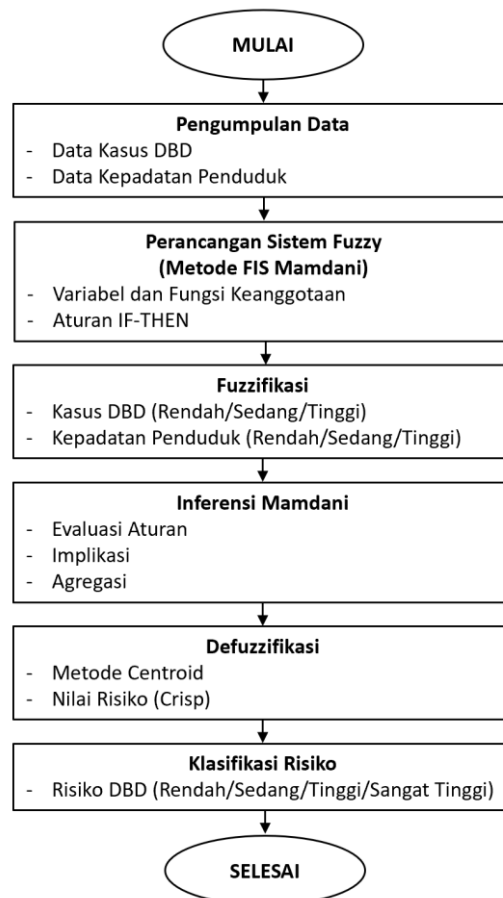
sementara kajian yang secara khusus memanfaatkan kombinasi sederhana antara data kasus dan kepadatan penduduk untuk pemetaan risiko DBD di tingkat kecamatan masih relatif terbatas, seperti di Kabupaten Gunungkidul.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy tipe Mamdani untuk pemetaan risiko DBD di Kabupaten Gunungkidul dengan memanfaatkan dua jenis data, yaitu rata-rata kasus DBD per kecamatan periode 2019–2023 dan kepadatan penduduk (jiwa/km²) [15], [16]. Meskipun kasus DBD telah dilaporkan di berbagai kecamatan, penentuan prioritas pengendalian masih sering dilakukan berdasarkan indikator tunggal sehingga kurang mampu menangkap perbedaan karakteristik wilayah. Akibatnya, kecamatan dengan kombinasi kasus tinggi dan kepadatan penduduk tinggi berpotensi tidak teridentifikasi secara optimal sebagai prioritas intervensi. Untuk menjawab permasalahan tersebut, model dirancang menghasilkan indeks risiko DBD pada skala 0–100 yang selanjutnya diklasifikasikan ke dalam empat kategori (rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi) sehingga mampu mengelompokkan 18 kecamatan secara lebih rinci dan memberikan pemetaan risiko yang lebih baik dibandingkan klasifikasi berbasis indikator tunggal. Hasil pemetaan ini diharapkan menjadi alat bantu yang sederhana, transparan, dan mudah direplikasi bagi Dinas Kesehatan Kabupaten Gunungkidul dalam menentukan prioritas wilayah intervensi pengendalian DBD.

2. METODE PENELITIAN

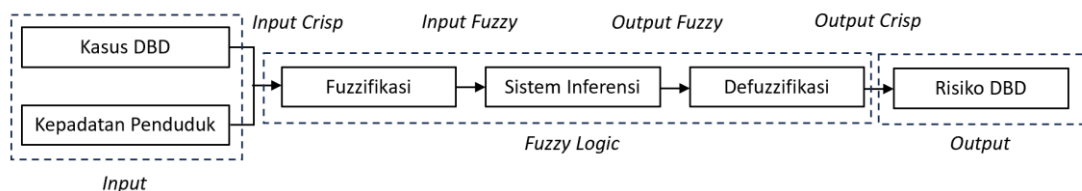
Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pemodelan berbasis *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Mamdani. Tujuan utama adalah menyusun indeks risiko DBD per kecamatan di Kabupaten Gunungkidul dengan menggabungkan informasi rata-rata kasus DBD dan kepadatan penduduk ke dalam suatu sistem inferensi fuzzy yang menghasilkan nilai risiko pada skala 0-100.

Diagram alur pada Gambar 1 menggambarkan prosedur penelitian secara sistematis dalam pemetaan risiko DBD berbasis logika fuzzy. Data *input* berupa jumlah kasus DBD dan kepadatan penduduk diolah melalui FIS Mamdani, yang mencakup penentuan fungsi keanggotaan, penyusunan basis aturan, evaluasi aturan, agregasi, serta defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai risiko *crisp* yang kemudian dikelompokkan ke dalam empat kategori risiko.



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 2 menampilkan arsitektur umum Sistem Inferensi Fuzzy tipe Mamdani yang digunakan dalam penelitian ini untuk memetakan risiko DBD. Dua *input crisp*, yaitu kasus DBD dan kepadatan penduduk, terlebih dahulu diubah menjadi *input fuzzy* melalui tahap fuzzifikasi, kemudian diproses pada tahap sistem inferensi berdasarkan fungsi keanggotaan dan aturan IF–THEN. Selanjutnya, hasil *output fuzzy* dikonversi kembali menjadi nilai *crisp* melalui defuzzifikasi sehingga diperoleh nilai risiko DBD sebagai *output* akhir.



Gambar 2. Alur Fuzzy Logic

2.1. Perencanaan fungsi keanggotaan

Perancangan fungsi keanggotaan dilakukan secara eksplisit untuk setiap variabel fuzzy. Bentuk fungsi yang digunakan adalah fungsi linier segitiga dan trapesium, sehingga mudah diimplementasikan. Dalam penelitian ini menggunakan variable fuzzy sebagai berikut:

Input 1 (Kasus DBD): rata-rata kasus DBD per kecamatan.

Input 2 (Kepadatan Penduduk): rata-rata kepadatan penduduk per kecamatan.

Output (Risiko): indeks risiko DBD pada skala 0-100.

Rancangan fungsi keanggotaan fuzzy (tipe segitiga dan trapesium) dalam studi ini mengadaptasi skema pada *design* fungsi keanggotaan [17], [18], [19], dengan modifikasi nilai batas bawah, batas tengah, dan batas atas agar selaras dengan karakteristik empiris data kasus DBD dan kepadatan penduduk di Kabupaten Gunungkidul.

2.1.1. Fungsi keanggotaan rata-rata kasus DBD

Perancangan fungsi keanggotaan untuk variabel rata-rata kasus DBD dilakukan berdasarkan data historis DBD di Kabupaten Gunungkidul periode 2019-2023. Dari analisis deskriptif terhadap data tersebut diperoleh bahwa rata-rata kasus DBD per kecamatan berada pada rentang sekitar 2 hingga 92 kasus per tahun, dengan nilai rata-rata kabupaten sekitar 25 kasus per tahun. Sebagian besar kecamatan memiliki rata-rata kasus di bawah 20 kasus per tahun, beberapa kecamatan berada di kisaran 20-40 kasus per tahun, dan hanya sedikit kecamatan yang memiliki nilai rata-rata mendekati atau melebihi 50 kasus per tahun. Temuan deskriptif ini memperlihatkan bahwa:

- 1) Nilai kasus yang sangat rendah (mendekati 0-5 kasus/tahun) memang terjadi pada sejumlah kecamatan dengan kasus minimal.
- 2) Nilai sekitar 20-30 kasus/tahun mewakili situasi rata-rata kasus kabupaten.
- 3) Nilai di atas 40-50 kasus/tahun hanya muncul pada kecamatan dengan kasus jauh lebih tinggi dibanding wilayah lain.

Berdasarkan pola tersebut, rentang nilai rata-rata kasus kemudian dipetakan ke dalam tiga kategori linguistik sebagai berikut:

- 1) Kasus rendah: didefinisikan dengan fungsi keanggotaan trapesium pada interval 0-5-20, karena kecamatan dengan rata-rata ≤ 5 kasus/tahun benar-benar berada pada zona kasus paling kecil, sedangkan nilai 5-20 kasus/tahun merupakan daerah transisi dari kategori rendah ke sedang.
- 2) Kasus sedang: dimodelkan dengan fungsi segitiga pada interval 10-25-40, dengan puncak keanggotaan di 25 kasus/tahun yang mendekati rata-rata kabupaten. Batas 10 dan 40 dipilih agar himpunan “sedang” mencakup kecamatan-kecamatan yang berada di sekitar nilai tengah distribusi kasus.
- 3) Kasus tinggi: dimodelkan dengan fungsi trapesium pada interval 30-50-100. Nilai di atas 30 kasus/tahun sudah menunjukkan kecamatan dengan kasus lebih tinggi dibandingkan dengan mayoritas kecamatan lain, sedangkan nilai di atas 50 kasus/tahun hanya ditemukan pada kecamatan dengan kasus sangat tinggi. Oleh karena itu, derajat keanggotaan maksimum ditetapkan pada himpunan “tinggi” untuk nilai lebih besar atau sama dengan 50 kasus/tahun.

Dengan demikian, fungsi keanggotaan variabel kasus yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan sebaran data kasus DBD di Kabupaten Gunungkidul dan dirancang agar selaras secara kualitatif dengan profil kasus per kecamatan. Untuk mencakup seluruh rentang nilai, semesta pembicaraan variabel kasus ditetapkan pada interval $[0, 100]$. Variabel rata-rata kasus DBD per kecamatan (x) didefinisikan pada semesta pembicaraan $[0, 100]$ kasus per tahun. Variabel ini direpresentasikan oleh tiga himpunan fuzzy, yaitu

kasus rendah (KR), kasus sedang (KS), dan kasus tinggi (KT). Fungsi keanggotaannya dirumuskan sebagai berikut.

1) Kasus rendah (fungsi trapesium)

$$\mu_{KR}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 5 \\ \frac{20-x}{20-5}, & 5 < x < 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$$

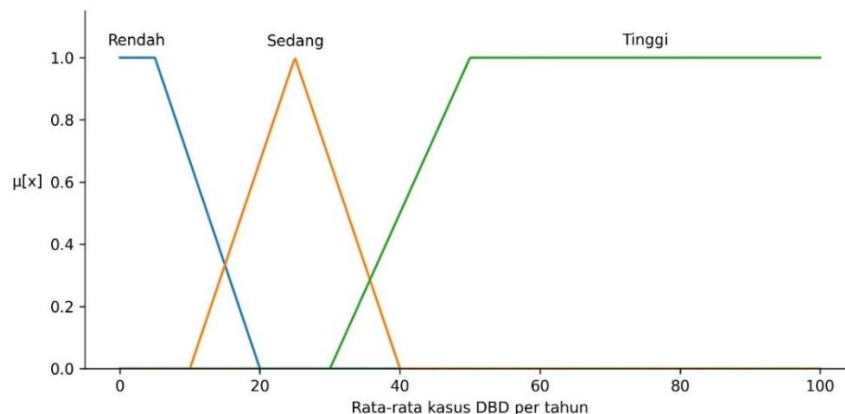
2) Kasus sedang (fungsi segitiga)

$$\mu_{KS}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ \frac{x-10}{25-10}, & 10 < x \leq 25 \\ \frac{40-x}{40-25}, & 25 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases}$$

3) Kasus tinggi (fungsi trapesium)

$$\mu_{KT}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{50-30}, & 30 < x \leq 50 \\ 1, & 50 < x \leq 100 \end{cases}$$

Dengan menggunakan *Python* fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan rata-rata kasus DBD

2.1.2. Fungsi keanggotaan kepadatan penduduk

Variabel kepadatan penduduk (k) didefinisikan sebagai jumlah penduduk per km^2 di setiap kecamatan. Berdasarkan data BPS Kabupaten Gunungkidul periode 2019-2023 diperoleh statistik deskriptif rata-rata kepadatan penduduk setiap tahun pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik deskriptif kepadatan penduduk per kecamatan

Deskripsi	Kepadatan Penduduk (jiwa/ km^2)
Nilai minimum	264,5
Kuartil 1 (Q_1)	374,7
Median	511,8
Kuartil 3 (Q_3)	577,7
Nilai maksimum	1170,4

Nilai minimum, kuartil pertama (Q_1), median, kuartil ketiga (Q_3), dan nilai maksimum tersebut kemudian digunakan sebagai acuan untuk merancang fungsi keanggotaan fuzzy. Variabel kepadatan direpresentasikan oleh tiga himpunan linguistik, yaitu kepadatan rendah (DR), kepadatan sedang (DS), dan kepadatan tinggi (DT).

1) Kepadatan rendah (fungsi trapesium)

$$\mu_{DR}(k) = \begin{cases} 1, & k \leq 374,7 \\ \frac{511,8 - k}{511,8 - 374,7}, & 374,7 < k \leq 511,8 \\ 0, & k > 511,8 \end{cases}$$

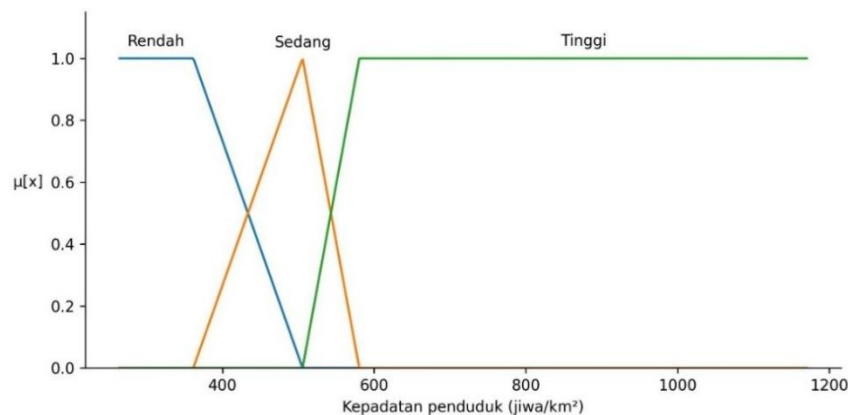
2) Kepadatan sedang (fungsi segitiga)

$$\mu_{DS}(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 374,7 \\ \frac{k - 374,7}{511,8 - 374,7}, & 374,7 < k \leq 511,8 \\ \frac{577,7 - k}{577,7 - 511,8}, & 511,8 < k < 577,7 \\ 0, & x \geq 577,7 \end{cases}$$

3) Kepadatan tinggi (fungsi trapesium)

$$\mu_{DT}(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 511,8 \\ \frac{k - 511,8}{577,7 - 511,8}, & 511,8 < k \leq 577,7 \\ 1, & k > 577,7 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan kepadatan penduduk dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan kepadatan penduduk

2.1.3. Fungsi keanggotaan tingkat risiko DBD

Output pada penelitian ini berupa indeks risiko DBD yang didefinisikan pada rentang 0-100 dan direpresentasikan oleh empat himpunan fuzzy, yaitu risiko rendah (RR), risiko sedang (RS), risiko tinggi (RT), dan risiko sangat tinggi (RST).

1) Risiko rendah (fungsi trapesium)

$$\mu_{RR}(y) = \begin{cases} 1, & 0 \leq y \leq 20 \\ \frac{40 - y}{40 - 20}, & 20 < y < 40 \\ 0, & y \geq 40 \end{cases}$$

2) Risiko sedang (fungsi segitiga)

$$\mu_{RS}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 30 \\ \frac{y - 30}{45 - 30}, & 30 < y \leq 45 \\ \frac{60 - y}{60 - 45}, & 45 < y < 60 \\ 0, & y \geq 60 \end{cases}$$

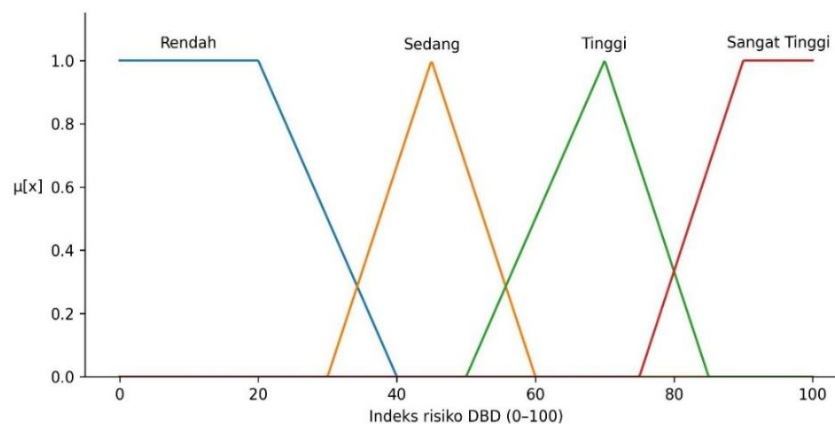
3) Risiko tinggi (fungsi segitiga)

$$\mu_{RT}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 50 \\ \frac{y - 50}{70 - 50}, & 50 < y \leq 70 \\ \frac{85 - y}{85 - 70}, & 70 < y < 85 \\ 0, & y \geq 85 \end{cases}$$

4) Risiko sangat tinggi (fungsi trapesium)

$$\mu_{RST}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 75 \\ \frac{y - 75}{90 - 75}, & 75 < y \leq 90 \\ 1, & 90 < y \leq 100 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *output* risiko DBD dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan *output* risiko DBD

2.2. Metode Fuzzy Mamdani

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti kerangka kerja *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Mamdani sebagaimana dijelaskan dalam literatur klasik teori himpunan fuzzy dan aplikasinya [19], [20]. Hubungan antara variabel *input* dan *output* dinyatakan dalam bentuk serangkaian aturan linguistik “*if then*”, dimana setiap variabel direpresentasikan sebagai variabel linguistik dengan sejumlah himpunan fuzzy yang didefinisikan pada semesta pembicaraannya. Aturan-aturan tersebut kemudian diproses melalui tahapan fuzzifikasi, evaluasi aturan menggunakan operator logika fuzzy, agregasi, dan defuzzifikasi untuk memperoleh nilai *crisp* pada variabel *output* [19], [20]. Secara umum,

sebuah aturan Mamdani dijelaskan oleh Segismundo [21]. Dalam kasus penelitian ini ditulis dalam bentuk

$$R_j = \text{IF Kasus } A_p \text{ AND Kepadatan } B_q \text{ THEN Risiko } C_{pq}$$

dengan A_p, B_q dan C_{pq} masing-masing merupakan himpunan fuzzy pada variabel Kasus, Kepadatan, dan Risiko. Proses inferensi fuzzy Mamdani tersusun atas empat tahap utama: fuzzifikasi, evaluasi aturan, agregasi, dan defuzzifikasi [19].

1) Fuzzifikasi

Pada tahap ini, nilai *crisp input* (rata-rata kasus DBD dan kepadatan penduduk suatu kecamatan) dikonversi menjadi derajat keanggotaan pada setiap himpunan fuzzy yang relevan. Secara matematis, untuk suatu nilai *input* x^* derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy A dihitung sebagai $\mu_A(x^*) \in [0,1]$ sesuai bentuk fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan.

2) Evaluasi aturan

Untuk setiap aturan R_j , derajat kebenaran premis dihitung menggunakan operator *t-norm*, yang dalam penelitian ini dipilih sebagai operator minimum sesuai perumusan Mamdani klasik yang banyak digunakan dalam aplikasi kontrol fuzzy. Untuk aturan dengan dua premis

$$a_j = \min(\mu_A(x^*), \mu_B(x^*))$$

aturan ini disebut derajat aktivasi yang digunakan untuk memotong (*clipping*) fungsi keanggotaan *output* C_{pq} .

3) Agregasi

Setiap aturan menghasilkan himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaan $\mu_C(y)$ yang telah dipotong pada tingkat a_j . Seluruh keluaran aturan kemudian digabungkan menggunakan operator *s-norm*, yang dalam penelitian ini dipilih sebagai operator maksimum (*max*), sehingga diperoleh himpunan fuzzy agregat untuk variabel *output*

$$\mu_{Risiko} = \max_j \{ \min(a_j, \mu_C(y)) \}.$$

4) Defuzzifikasi

Tahap terakhir adalah mengubah himpunan fuzzy agregat $\mu_{Risiko}(y)$ menjadi satu nilai tegas (*crisp*) yang merepresentasikan indeks risiko DBD. Penelitian ini menggunakan metode centroid (*center of gravity*) karena metode ini paling umum digunakan dan menghasilkan nilai yang merepresentasikan rata-rata tertimbang (pusat massa) dari himpunan keluaran, sebagaimana direkomendasikan oleh Zimmermann dan Saridakis [19], [22] Nilai indeks risiko y^* dihitung dengan persamaan berikut

$$y^* = \frac{\int y \mu_{Risiko}(y) dy}{\int \mu_{Risiko}(y) dy}.$$

Secara numerik, integral tersebut dihitung dengan pendekatan diskret pada interval 0-100. Dengan demikian, setiap kecamatan dipetakan ke satu nilai indeks risiko y^* pada skala 0-100 yang mencerminkan kombinasi informasi rata-rata kasus DBD dan kepadatan penduduk. Nilai ini kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori linguistik rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi sesuai batas interval yang telah ditentukan.

Seluruh prosedur ini mengikuti kerangka umum sistem inferensi fuzzy Mamdani sebagaimana diuraikan oleh Zimmermann (2001), dengan penyesuaian pada definisi variabel dan fungsi keanggotaan sesuai konteks epidemiologi DBD di Kabupaten Gunungkidul.

2.3. Basis aturan Fuzzy

Hubungan antara variabel *input* rata-rata kasus DBD dan kepadatan penduduk terhadap tingkat risiko DBD dimodelkan dalam bentuk sembilan aturan fuzzy Mamdani. Aturan disusun berdasarkan pertimbangan epidemiologis bahwa peningkatan rata-rata kasus dan kepadatan penduduk akan meningkatkan tingkat risiko. Secara linguistik, aturan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- [R1]: IF Kasus rendah AND Kepadatan rendah THEN Risiko rendah.
- [R2]: IF Kasus rendah AND Kepadatan sedang THEN Risiko rendah.
- [R3]: IF Kasus rendah AND Kepadatan tinggi THEN Risiko sedang.
- [R4]: IF Kasus sedang AND Kepadatan rendah THEN Risiko sedang.
- [R5]: IF Kasus sedang AND Kepadatan sedang THEN Risiko tinggi.
- [R6]: IF Kasus sedang AND Kepadatan tinggi THEN Risiko sangat tinggi.
- [R7]: IF Kasus tinggi AND Kepadatan rendah THEN Risiko tinggi.
- [R8]: IF Kasus tinggi AND Kepadatan sedang THEN Risiko sangat tinggi.
- [R9]: IF Kasus tinggi AND Kepadatan tinggi THEN Risiko sangat tinggi.

2.4. Perhitungan

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan untuk kecamatan Wonosari dengan rata-rata kasus DBD $x = 92$ dan kepadatan penduduk $k = 1170,38$.

1) Fuzzifikasi

Kasus tinggi

$$\mu_{KT}(92) = 1, \mu_{KS}(92) = 0, \text{ dan } \mu_{KR}(92) = 0.$$

Kepadatan tinggi

$$\mu_{DT}(1170,38) = 1, \mu_{DS}(1170,38) = 0, \text{ dan } \mu_{DR}(1170,38) = 0.$$

2) Evaluasi aturan

Aturan yang aktif

IF Kasus tinggi AND Kepadatan tinggi THEN Risiko sangat tinggi.

Derajat aktivasi

$$\alpha = \min(\mu_{KT}(92), \mu_{DT}(1170,38)) = \min(1,1) = 1.$$

3) Implikasi dan agregasi

Implikasi Mamdani

$$\mu_{out}(y) = \min(\alpha, \mu_{RST}(y))$$

karena $\alpha = 1$, maka $\mu_{out}(y) = \mu_{RST}(y)$, dengan

$$\mu_{RST}(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 75 \\ \frac{y - 75}{90 - 75}, & 75 < y \leq 90 \\ 1, & 90 < y \leq 100 \end{cases}$$

4) Defuzzifikasi

$$y^* = \frac{\int_{75}^{90} y \left(\frac{y-75}{15} \right) dy + \int_{90}^{100} y dy}{\int_{75}^{90} \left(\frac{y-75}{15} \right) dy + \int_{90}^{100} 1 dy} = \frac{1587,7}{17,5} \approx 90,71$$

Jadi diperoleh nilai indeks risiko DBD untuk kecamatan Wonosari sebesar 90,71 masuk ke dalam kategori risiko sangat tinggi. Perhitungan untuk kasus yang lain akan diselesaikan dengan bantuan *Python*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pemodelan indeks risiko dengan FIS Mamdani

Penerapan Sistem Inferensi Fuzzy tipe Mamdani dengan dua *input* (rata-rata kasus dan kepadatan penduduk) menghasilkan indeks risiko DBD pada rentang sekitar 15,5-90,7 pada skala 0-100. Rata-rata indeks risiko seluruh kecamatan adalah sekitar 54, dengan sebaran yang cukup lebar (simpangan baku 31,9), yang menunjukkan adanya variasi tingkat risiko antar kecamatan yang cukup jelas. Indeks risiko yang dihasilkan oleh Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani yang diimplementasikan dengan bantuan *Python* kemudian diklasifikasikan ke dalam empat kategori linguistik, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Distribusi nilai indeks risiko beserta kategorinya untuk setiap kecamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi nilai indeks risiko beserta kategorinya untuk setiap kecamatan

Kecamatan	Rata-rata Kasus	Rata-rata kepadatan penduduk	Indeks risiko	Kategori risiko
Wonosari	92	1170,38	90,71	Sangat Tinggi
Playen	48,6	583,16	90,54	Sangat Tinggi
Semin	23	714,09	90,37	Sangat Tinggi
Karangmojo	43,6	704,22	89,83	Sangat Tinggi
Semanu	40	546,90	89,26	Sangat Tinggi
Ponjong	39,2	530,80	86,05	Sangat Tinggi
Paliyan	32	560,63	80,40	Sangat Tinggi
Saptosari	32,4	443,96	60,97	Tinggi
Ngawen	13,6	739,27	60,45	Tinggi
Nglipar	19,6	463,39	59,21	Tinggi
Gedangsari	9,8	572,25	39,07	Sedang
Tanjungsari	13	400,84	33,05	Sedang
Tepus	12,2	342,41	21,95	Rendah
Patuk	8,8	480,47	16,55	Rendah
Panggang	8,4	294,36	16,44	Rendah
Rongkop	7	348,64	16,07	Rendah
Purwosari	2	291,47	15,56	Rendah
Girisubo	3,6	264,49	15,56	Rendah

Kelompok sangat tinggi didominasi kecamatan dengan kombinasi rata-rata kasus cukup besar dan kepadatan penduduk menengah-tinggi. Wonosari sebagai kecamatan

dengan indeks risiko tertinggi karena menggabungkan rata-rata kasus jauh diatas kecamatan lain dan kepadatan penduduk tertinggi. Kecamatan seperti Semin menarik untuk dicermati, meskipun rata-rata kasusnya 23 kasus/tahun (tidak setinggi Wonosari dan Playen), kepadatannya yang tinggi (714 jiwa/km²) membuat indeks risiko naik ke kategori sangat tinggi.

Sebaliknya, kecamatan-kecamatan pada kategori rendah umumnya memiliki kombinasi rata-rata kasus yang kecil dan kepadatan penduduk rendah-sedang. Misalnya Purwosari dan Girisubo masing-masing hanya memiliki rata-rata sekitar 2-4 kasus/tahun dan kepadatan di bawah 300 jiwa/km², sehingga sistem fuzzy menempatkannya pada risiko rendah meskipun tetap tercatat ada kasus DBD.

Kecamatan dengan risiko tinggi dan sedang berada diantara kedua ekstrem tersebut. Misalnya Saptosari dan Nglipar memiliki rata-rata kasus sedang-tinggi tetapi dengan kepadatan penduduk yang tidak setinggi Wonosari, Semin, atau Karangmojo, sehingga indeks risikonya berada pada kisaran 59-61. Gedangsari menjadi contoh kecamatan dengan rata-rata kasus relatif rendah, tetapi indeks risikonya naik ke kategori sedang karena kepadatan penduduk berada pada kisaran menengah.



Gambar 6. Peta risiko kasus DBD Kabupaten Gunungkidul

Peta indeks risiko kasus DBD Kabupaten Gunungkidul (skala 0-100) pada Gambar 6 memperlihatkan variasi tingkat risiko antar kecamatan yang ditunjukkan oleh gradasi warna hijau, kuning, oranye, dan merah. Warna hijau merepresentasikan wilayah dengan risiko rendah, sedangkan kuning menunjukkan risiko sedang. Warna oranye menandakan risiko tinggi, dan merah menggambarkan risiko sangat tinggi.

Secara spasial terlihat bahwa zona risiko tertinggi (merah) terletak pada wilayah bagian tengah hingga timur, yang mencerminkan kecamatan-kecamatan dengan kombinasi kasus DBD rata-rata lebih besar dan kepadatan penduduk yang relatif lebih tinggi. Sementara itu, beberapa kecamatan lain berada pada kategori sedang hingga tinggi (kuning-oranye) sebagai wilayah transisi yang tetap perlu kewaspadaan, terutama pada musim penghujan dan saat terjadi peningkatan kasus.

3.2. Peran kombinasi kasus DBD dan kepadatan penduduk

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy yang dirancang memang sensitif terhadap kombinasi dua faktor utama yang digunakan, bukan hanya dipengaruhi oleh besarnya rata-rata kasus semata. Hal ini tampak pada beberapa contoh sebagai berikut:

- 1) Semin: rata-rata kasus hanya dikategorikan sedang, tetapi kepadatan penduduk tinggi, sehingga derajat keanggotaan pada himpunan “kepadatan tinggi” besar. Aturan fuzzy yang menghubungkan kasus sedang dan kepadatan tinggi menghasilkan risiko sangat tinggi.
- 2) Saptosari vs Paliyan: kedua kecamatan memiliki rata-rata kasus yang relatif mirip, namun kepadatan penduduk Paliyan sedikit lebih tinggi dibanding Saptosari. Dalam FIS, kombinasi kasus tinggi dan kepadatan menengah-tinggi mengaktifkan aturan dengan konsekuen “risiko sangat tinggi” pada Paliyan, sedangkan Saptosari cenderung mengaktifkan aturan dengan konsekuen “risiko tinggi”.
- 3) Gedangsari: contoh kecamatan dengan rata-rata kasus di batas antara rendah-sedang namun kepadatan penduduk cukup besar, sehingga indeks risiko naik ke sedang, bukan rendah.

Dari sisi epidemiologi, pola ini logis karena kepadatan penduduk yang tinggi berpotensi mempercepat transmisi DBD, terutama bila didukung oleh kondisi lingkungan yang memungkinkan untuk berkembangbiakan nyamuk. Dengan demikian, kecamatan dengan kasus “tidak terlalu tinggi”, tetapi padat penduduk, tetap layak menjadi perhatian dalam prioritas pengendalian.

Jika dibandingkan dengan pendekatan klasifikasi sederhana berbasis satu variabel (misalnya hanya berdasarkan rata-rata kasus), beberapa kecamatan akan memperoleh penilaian risiko yang berbeda. Misalnya kecamatan Semin akan mudah terlewat apabila hanya memakai ambang kasus, karena rata-rata kasusnya tidak setinggi Wonosari atau Playen. Namun, dengan mempertimbangkan kepadatan penduduk, sistem fuzzy mengangkat kecamatan tersebut ke kategori risiko sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa FIS dapat memperhalus batas kategori dan membantu mengidentifikasi wilayah yang mungkin tidak terlihat dalam klasifikasi berbasis satu indikator.

3.3. Implikasi temuan dan keterbatasan penelitian

Hasil pemetaan risiko ini dapat digunakan untuk:

- 1) Menentukan prioritas wilayah intervensi: kecamatan dalam kategori risiko sangat tinggi (Wonosari, Playen, Semin, Karangmojo, Semanu, Ponjong, dan Paliyan) dapat ditempatkan sebagai sasaran utama intensifikasi kegiatan *surveilans*, *fogging*, dan penyuluhan.
- 2) Mendukung perencanaan berbasis bukti: indeks risiko memberikan ukuran kuantitatif yang dapat dikomunikasikan kepada pemangku kebijakan di tingkat kabupaten maupun kecamatan, sekaligus menjadi dasar untuk alokasi sumber daya yang lebih proporsional.
- 3) Menyediakan kerangka yang mudah direplikasi: karena hanya menggunakan data kasus DBD dan kepadatan penduduk, model dapat diterapkan ulang pada tahun berikutnya atau diadaptasi oleh kabupaten lain dengan pola data serupa.

Hasil ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, model hanya menggunakan dua variabel (rata-rata kasus dan kepadatan penduduk), sehingga faktor penting lain seperti curah hujan, indeks Breteau, kondisi sanitasi, atau mobilitas penduduk belum ikut dipertimbangkan. Kedua, batas-batas fungsi keanggotaan ditentukan berdasarkan sebaran data lokal sehingga perlu dikaji ulang apabila pola kasus berubah secara signifikan di masa mendatang. Ketiga, indeks risiko yang dihasilkan belum divalidasi terhadap indikator lain (misalnya KLB, kluster kasus dalam radius tertentu).

Meskipun demikian, sebagai langkah awal, model FIS Mamdani dua *input* yang dikembangkan dalam penelitian ini telah menunjukkan bahwa kombinasi data kasus dan kepadatan penduduk dapat menghasilkan pemetaan risiko DBD tingkat kecamatan yang lebih informatif dibandingkan klasifikasi sederhana berbasis satu indikator. Temuan ini berpotensi untuk mendukung penyusunan prioritas pengendalian DBD di Kabupaten Gunungkidul secara lebih sistematis dan terarah.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model pemetaan risiko DBD berbasis Sistem Inferensi Fuzzy tipe Mamdani dengan dua variabel *input* yang mudah diperoleh, yaitu rata-rata kasus DBD per kecamatan periode 2019-2023 dan kepadatan penduduk. Kedua variabel diformulasikan dalam himpunan fuzzy rendah, sedang, tinggi dan menghasilkan indeks risiko DBD pada skala 0-100 yang diklasifikasikan ke dalam kategori rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa indeks risiko mampu membedakan kecamatan di Kabupaten Gunungkidul ke dalam level risiko yang lebih baik dibandingkan klasifikasi berbasis satu ambang batas. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan kombinasi kasus dan kepadatan penduduk dalam penilaian risiko. Model yang disusun bersifat relatif sederhana, transparan, dan dapat direplikasi oleh pemerintah daerah lain dengan struktur data serupa. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memasukkan variabel lingkungan serta melakukan validasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, "Dengue - Global situation." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2024-DON518?utm_source
- [2] S. Keman, R. Azizah, and F. M. Hamzah, "Meta Analysis: Risk Factor Analysis of Dengue Disease Incidence in Indonesia," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 17, no. 1, pp. 69–76, Jan. 2025, doi: 10.20473/jkl.v17i1.2025.69-76.
- [3] M. Meyrita, S. Suwarno, N. Saidi, and N. M. Razi, "Tren Kejadian Dengue (Incidence Rate) dan Kematian Akibat Dengue (Case Fatality Rate) di Indonesia," *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, vol. 11, no. 2, p. 1753, Dec. 2023, doi: 10.33394/bioscientist.v11i2.9500.
- [4] S. A. Rahmat, D. N. A. Ningrum, and S. Suharna, "Identification of Dengue Hemorrhagic Fever Risk Zone in Daerah Istimewa Yogyakarta Province 2021," *HIGEIA*

- (*Journal of Public Health Research and Development*), vol. 8, no. 1, pp. 97–110, Jun. 2024, doi: 10.15294/higeia.v8i1.67935.
- [5] N. A. Ammar and T. W. Kesetyaningsih, "Comparison of Wolbachia Knowledge between High School Students in Suburban and Urban of Yogyakarta," *Jurnal Berkala Kesehatan*, vol. 10, no. 1, p. 46, May 2024, doi: 10.20527/jbk.v10i1.19092.
- [6] E. Mujiarto, N. Nurjazuli, and M. Martini, "Analisis indeks entomologi dan ovitrap yang berhubungan dengan kejadian demam berdarah dengue (DBD)," *Holistik Jurnal Kesehatan*, vol. 19, no. 1, pp. 100–109, Mar. 2025, doi: 10.33024/hjk.v19i1.734.
- [7] A. Nugrafitra Murti et al., "Gambaran Penyakit Demam (Aliya Nugrafitra Murti) | 12 Gambaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) di Dusun Singkil, Giring, Paliyan, Gunungkidul, Yogyakarta," *Jurnal Pengabdian Serulingmas*, vol. 2, no. 1, pp. 12–15, 2022.
- [8] N. H. Suryaningtyas, M. Salim, and I. Margarethy, "Pemetaan Karakteristik Wilayah Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Tahun 2011-2015," *Buletin Penelitian Kesehatan*, vol. 47, no. 3, pp. 143–152, Dec. 2019, doi: 10.22435/bpk.v47i3.1448.
- [9] M. T. Handayani, M. Raharjo, and T. Joko, "Pengaruh Indeks Entomologi dan Sebaran Kasus Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Sukoharjo," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 22, no. 1, pp. 46–54, Feb. 2023, doi: 10.14710/jkli.22.1.46-54.
- [10] M. G. Tansil, N. H. Rampengan, and R. Wilar, "Faktor Risiko Terjadinya Kejadian Demam Berdarah Dengue Pada Anak," *Jurnal Biomedik: JBM*, vol. 13, no. 1, p. 90, Mar. 2021, doi: 10.35790/jbm.13.1.2021.31760.
- [11] D. Romero, J. Olivero, R. Real, and J. C. Guerrero, "Applying fuzzy logic to assess the biogeographical risk of dengue in South America," *Parasit Vectors*, vol. 12, no. 1, Sep. 2019, doi: 10.1186/s13071-019-3691-5.
- [12] T. Tsheten, A. C. A. Clements, D. J. Gray, and K. Wangdi, "Dengue risk assessment using multicriteria decision analysis: A case study of Bhutan," *PLoS Negl Trop Dis*, vol. 15, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.1371/journal.pntd.0009021.
- [13] Y. Vernando and D. Andreswari, "Implementasi Sistem Inferensi Fuzzy dalam Menentukan Tingkat Kerawanan Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan Menggunakan Metode Mamdani (Studi Kasus: Kota Bengkulu)," *Jurnal Rekursif*, vol. 6, no. 2, pp. 91–99, Jun. 2018.
- [14] J. S. Komputer, "Implementasi Logika Fuzzy dalam Pengolahan Peta Tematik Daerah Rawan Penyakit Demam Berdarah (Studi Kasus: Kota Pontianak)," 2013.
- [15] Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul, "Jumlah Penderita Penyakit Demam Berdarah." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://gunungkidulkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTA3IzI%3D/jumlah-penderita-penyakit-demam-berdarah.html>
- [16] Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul, "Kepadatan Penduduk." Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://gunungkidulkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzYjMg==/kepadatan-penduduk.html>

- [17] S. M. Sani, "Design of Fuzzy Membership Functions for Predicting Student's Knowledge Performance," *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 6, Nov. 2019, doi: 10.24018/ejece.2019.3.6.139.
- [18] S. N. Sivanandam, S. N. Deepa, and S. Sumathi, *Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB*. Springer, 2007.
- [19] H.-J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory—and Its Applications*, 4th ed. Springer Netherlands, 2001. doi: 10.1007/978-94-010-0646-0.
- [20] T. J. Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*, 3rd ed. United Kingdom: John Wiley, 2010.
- [21] S. S. Izquierdo and L. R. Izquierdo, "Mamdani fuzzy systems for modeling and simulation: A critical assessment," 2018.
- [22] K. M. Saridakis and A. J. Dentsoras, "A Fuzzy Rule-Based Approach for the Collaborative Formation of Design Structure Matrices," pp. 81–94, 2005.