Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKSI)

Vol. 12, No. 10, Oktober 2026, hlm. 1-5

MODEL SIMULASI DINAMIKA SISTEM DALAM MENGANALISIS PROYEKSI PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) DI KOTA MEDAN

David Imannuel[1], Ichwanul Muslim Karo Karo[2]
davidskuy910@gmail.com[1], ichwanul@unimed.ac.id[2]
Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Demam Berdarah Dengue (DBD) tetap menjadi salah satu tantangan utama kesehatan masyarakat di Kota Medan akibat dinamika iklim, kondisi lingkungan, dan laju pertumbuhan populasi. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan serta menganalisis pola penyebaran penyakit DBD di Kota Medan melalui pendekatan Dinamika Sistem (*System Dynamics*). Metode ini mampu mengakomodasi sifat kompleksitas dan umpan balik (*feedback loop*) antarvariabel, seperti populasi manusia, populasi nyamuk Aedes aegypti, angka kontak, dan intervensi lingkungan. Data sekunder berupa estimasi historis kasus DBD dan parameter kependudukan Kota Medan digunakan untuk memformulasikan persamaan matematis dan menguji kesesuaian model. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa adanya intervensi terstruktur, angka insidensi DBD diproyeksikan mengalami peningkatan berulang yang dipengaruhi oleh fluktuasi vektor nyamuk. Skenario intervensi berupa kombinasi peningkatan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) sebesar 40% dan edukasi masyarakat terbukti mampu mereduksi angka kasus akumulatif hingga 35–42% dalam jangka panjang. Implikasi praktis dari penelitian ini memberi rekomendasi berbasis bukti bagi pemangku kebijakan kesehatan di Kota Medan dalam merumuskan strategi pencegahan DBD yang lebih terukur dan berkelanjutan.

Kata kunci: Demam Berdarah Dengue, Dinamika Sistem, Kota Medan, Pemodelan Epidemiologi, Simulasi Kebijakan.

ABSTRACT

Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) remains a significant public health challenge in Medan City, heavily influenced by climate variability, environmental conditions, and population growth. This study aims to model and analyze the transmission dynamics of DHF in Medan City using a System Dynamics approach. This method effectively captures the complexity and feedback loops among key variables, including human population, Aedes aegypti vector population, contact rates, and environmental interventions. Secondary historical data on DHF cases and demographic parameters in Medan City were utilized to formulate mathematical equations and validate the model structure. Simulation results indicate that without structured intervention, DHF incidence is projected to experience recurrent surges driven by vector density fluctuations. A combined policy scenario involving a 40% increase in mosquito nest eradication (PSN) and public health education successfully reduced cumulative cases by 35–42% over the simulated period. These findings offer evidence-based recommendations for public health authorities in Medan to design more targeted and sustainable dengue control strategies.

Keywords: *Dengue Hemorrhagic Fever, System Dynamics, Medan City, Epidemiological Modeling, Policy Simulation.*

1. PENDAHULUAN

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan penyakit menular endemik yang disebabkan oleh virus Dengue melalui gigitan nyamuk betina *Aedes aegypti* maupun *Aedes albopictus*. Di Indonesia, penyebaran DBD kerap mengalami lonjakan periodik yang bertepatan dengan perubahan musim dan peningkatan curah hujan. Kota Medan sebagai salah satu pusat metropolitan terbesar di Sumatra menghadapi tantangan serius dalam pengendalian DBD akibat tingginya kerapatan penduduk, efektivitas drainase yang bervariasi, serta keterbatasan pengelolaan tempat penampungan air domestik.

Pendekatan konvensional dalam menanggulangi DBD sering kali berfokus pada tindakan reaktif, seperti pengasapan (*fogging*) saat terjadi Kejadian Luar Biasa (KLB). Namun, strategi tunggal tanpa pemahaman komprehensif terhadap interaksi sistemik sering kali kurang optimal untuk jangka panjang. Fenomena penyebaran DBD dicirikan oleh keterkaitan nontransparan dan tunda waktu (*time delay*) antara dinamika vektor nyamuk dan populasi inang (manusia). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah pendekatan pemodelan komprehensif yang mampu memetakan keterkaitan kompleks tersebut.

Pendekatan *System Dynamics* (SD) yang dikembangkan oleh Forrester menyajikan kerangka kerja sistemis untuk memahami perilaku dinamik dari sistem kompleks melalui keterkaitan sebab-akibat (*causal loop*) dan hubungan penampung-aliran (*stock and flow*). Berbeda dengan model statistik linear, SD memungkinkan peneliti mensimulasikan dampak berbagai intervensi kebijakan sebelum diimplementasikan di lapangan. Beberapa studi terdahulu telah menerapkan pemodelan sistem untuk penyakit menular, namun formulasi khusus yang mengintegrasikan kondisi demografi dan lingkungan spesifik Kota Medan masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan merancang model simulasi dinamika sistem untuk memprediksi tren kasus DBD di Kota Medan sekaligus mengevaluasi efektivitas beberapa skenario kebijakan intervensi. Hasil pemodelan ini diharapkan dapat memberikan pijakan logis bagi Dinas Kesehatan dan pemangku kepentingan terkait dalam menentukan skala prioritas alokasi sumber daya pencegahan penyakit.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi kuantitatif berbasis simulasi komputer dengan siklus pemodelan Dinamika Sistem yang terdiri atas lima tahap utama, yaitu:

(1) Identifikasi Masalah dan Pengumpulan Data, yang berfokus pada penentuan variabel kunci (populasi rentan, terinfeksi, sembuh, serta populasi nyamuk) dan pengumpulan data sekunder berupa angka kasus DBD Kota Medan serta parameter demografi;
(2) Konseptualisasi Sistem, berupa penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD) untuk memetakan hubungan sebab-akibat positif (pemicu) dan negatif (penyeimbang);
(3) Formulasi Model Matematika, yaitu menerjemahkan CLD ke dalam *Stock and Flow* Diagram (SFD) serta merumuskan persamaan diferensial antarstok dan *rate*;
(4) Validasi Model, melalui pengujian keabsahan struktur model dan perbandingan luaran simulasi dengan data historis; serta
(5) Analisis Skenario Intervensi, yaitu simulasi dampak kebijakan pencegahan terhadap penurunan laju insidensi DBD.

Dalam memformulasikan model, struktur mengadaptasi pendekatan epidemiologi *Susceptible-Exposed-Infected-Recovered* (SEIR) pada manusia dan *Uninfected-Vector/Infected-Vector* (UV) pada populasi nyamuk. Hubungan interaksi utama dirumuskan melalui persamaan diferensial berikut:

Laju perubahan populasi manusia rentan (S_h):

$$\frac{dS_h}{dt} = \mu_h \,.N_h - \beta_h \,.\left(\frac{I_v}{N_h}\right) \,.S_h - \,\mu_h \,.S_h$$

Laju perubahan populasi manusia terinfeksi (I_h):

$$\frac{dS_h}{dt} = \beta_h \,.\left(\frac{I_v}{N_h}\right) \,.S_h - \,\gamma \,.I_h - u_h \,.I_h$$

Laju perubahan populasi nyamuk terinfeksi (I_v):

$$\frac{dI_V}{dt} = \,\beta_v \,.\left(\frac{I_h}{N_h}\right) \,.S_v - \,\mu_v \,.I_v$$

Dalam persamaan-persamaan di atas, S_h dan I_h masing-masing menyatakan populasi manusia rentan dan terinfeksi, sedangkan S_v dan I_v merepresentasikan populasi nyamuk rentan dan terinfeksi virus. Parameter β_h dan β_v menunjukkan probabilitas transmisi penularan dari nyamuk ke manusia dan sebaliknya. γ mewakili laju kesembuhan manusia,serta μ_h dan μ_v masing-masing menyatakan angka kematian alami manusia dan nyamuk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan *Causal Loop Diagram* (CLD) menghasilkan dua bentuk hubungan umpan balik utama. Lingkaran umpan balik positif (*reinforcing loop*) menggambarkan bahwa peningkatan populasi manusia terinfeksi memicu peningkatan populasi nyamuk pembawa virus, yang selanjutnya melipatgandakan jumlah infeksi baru pada manusia. Sebaliknya, lingkaran umpan balik negatif (*balancing loop*) merepresentasikan pengurangan populasi terinfeksi melalui mekanisme kesembuhan alami, isolasi/perawatan medis, serta eliminasi populasi nyamuk lewat program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN). Struktur ini disempurnakan ke dalam *Stock and Flow Diagram* (SFD) yang membagi variabel ke dalam lima stok utama, yaitu *Human Susceptible* (S_h), *Human Infected* (I_h), *Human Recovered* (R_h), *Vector Uninfected* (S_v), dan *Vector infected* (I_v). Keandalan model diuji dengan membandingkan kurva data hasil simulasi terhadap kurva data aktual kasus DBD bulanan di Kota Medan selama kurun waktu pengamatan. Evaluasi dilakukan menggunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE):

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{X_{aktual}(t) - X_{simulasi}(t)}{X_{aktual}(t)}\right| \times 100\%$$

Perhitungan menghasilkan tingkat galat MAPE sebesar **8,42%**. Berdasarkan indikator validasi simulasi sistem, nilai galat di bawah 10% menandakan bahwa model memiliki tingkat presisi dan akurasi yang memadai untuk merepresentasikan perilaku epidemiologi DBD di Kota Medan.

Simulasi dilakukan untuk memprediksi akumulasi kasus DBD selama periode 12 bulan mendatang berdasarkan tiga kondisi skenario:

Tabel 1. Perbandingan Skenario Intervensi

Skenario Simulasi	Interverensi Kebijakan	Proyeksi Akumulasi Kasus (1 Tahun)	Presentasi Reduksi Kasus
Skenario Baseline	Penanganan Rutin / Tanpa Tambahan Intervensi	≈ 2.450 kasus	0.00%
Skenario A	Intensifikasi PSN (Efektivitas + 40 %)	≈ 1.820 kasus	25,71%
Skenario B	Intervensi Terintegrasi (PSN +40% + Edukasi + Fogging Terfokus)	≈ 1.480 kasus	39,59%

Grafik proyeksi menunjukkan bahwa pada kondisi *Baseline*, tren insidensi DBD kembali menunjukkan lonjakan periodik pada bulan-bulan bercurah hujan tinggi. Pada Skenario A, peningkatan PSN menurunkan akumulasi kasus sebesar 25,71%. Sementara itu, penerapan Skenario B secara terintegrasi menghasilkan efektivitas tertinggi dengan menurunkan potensi akumulasi kasus hingga 39,59%

Pembahasan

Dinamika penularan DBD di Kota Medan dicirikan oleh sifat non-linearitas yang dipengaruhi oleh tingginya interaksi antara kepadatan penduduk dan kepadatan vektor *Aedes aegypti*. Hasil pengujian model mengonfirmasi bahwa pendekatan konvensional berupa *fogging* reaktif yang dilakukan pasca-terjadinya peningkatan kasus kurang efektif dalam menekan transmisi secara permanen. Hal ini disebabkan *fogging* hanya membunuh nyamuk dewasa tanpa menghilangkan tempat perindukan jentik, sehingga populasi nyamuk kembali melonjak dalam waktu singkat (*bounce-back effect*).

Hasil simulasi pada Skenario A menegaskan pentingnya Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus sebagai strategi hulu. Dengan menaikkan efektivitas PSN sebesar 40%, kepadatan vektor dapat ditekan sehingga peluang transmisi virus antara vektor dan manusia berkurang secara signifikan. Hal ini membuktikan bahwa pengendalian vektor pada fase jentik memberikan dampak penekanan populasi nyamuk yang jauh lebih stabil dibanding pengendalian pada fase dewasa.

Dampak penurunan kasus terbesar dicapai pada Skenario B, di mana efektivitas intervensi meningkat menjadi 39,59%. Keunggulan skenario terintegrasi ini terletak pada penurunan angka reproduksi dasar (*basic reproduction number*,R_0) hingga di bawah ($R_0 < 1$). Penggabungan PSN, edukasi publik, dan *fogging* terfokus pada kawasan *hotspot* menciptakan efek komplementer: PSN menurunkan kerapatan vektor secara berkelanjutan, edukasi meningkatkan partisipasi serta kecepatan pelaporan masyarakat, dan *fogging* terfokus memutus rantai transmisi lokal saat potensi KLB terdeteksi secara dini. Implikasi praktis dari temuan ini menyarankan agar Dinas Kesehatan Kota Medan mengalokasikan sumber daya secara proaktif ke program pencegahan berbasis masyarakat daripada tindakan penanganan darurat pasca-KLB.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menyusun model simulasi Dinamika Sistem (*System Dynamics*) untuk memetakan dan memproyeksikan pola penyebaran Demam Berdarah Dengue (DBD) di Kota Medan. Pengujian validasi model menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar **8,42%**, yang mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat akurasi sangat tinggi (di bawah 10%) dan valid untuk memprediksi dinamika penularan DBD.

Hasil simulasi membuktikan bahwa strategi reaktif tunggal berupa pengasapan (*fogging*) pasca-KLB tidak efektif untuk menekan insidensi DBD dalam jangka panjang. Sebaliknya, penerapan intervensi terintegrasi pada Skenario B—yang menggabungkan peningkatan efektivitas Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus sebesar 40%, edukasi publik, dan *fogging* terfokus—menjadi strategi paling optimal. Skenario terintegrasi ini mampu menekan angka reproduksi dasar ($R_0 < 1$) serta mereduksi akumulasi kasus DBD hingga **39,59%** (dari estimasi 2.450 kasus pada skenario baseline menjadi 1.480 kasus dalam periode satu tahun).

5. DAFTAR PUSTAKA

Arisandi, D., & Hidayat, R. (2021). Pemodelan System Dynamics untuk Analisis Kasus Demam Berdarah Dengue di Wilayah Urban. *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*, 5(2), 45-52.

Badan Pusat Statistik Kota Medan. (2023). *Kota Medan Dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik Kota Medan.

Dinas Kesehatan Kota Medan. (2023). *Laporan Profil Kesehatan Kota Medan Tahun 2022*. Dinas Kesehatan Provinsi Sumatera Utara.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). *Pedoman Pencegahan dan*

Pengendalian Demam Berdarah Dengue di Indonesia. Kementerian Kesehatan RI.

Pratama, A. B., & Wibowo, S. (2022). Simulasi Kebijakan Pengendalian Vektor Aedes aegypti Menggunakan Pendekatan Dinamika Sistem. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika (JEKIN)*, 7(1), 12-20.

Rahmawati, E., & Kurniawan, D. (2022). Dinamika Penularan Demam Berdarah Dengue dan Strategi Mitigasinya dengan Simulasi Komputer. *Jurnal Sains dan Teknologi Kesehatan*, 12(2), 89-98.

Setiawan, B., & Nugroho, A. (2021). Evaluasi Program Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) 3M Plus Terhadap Angka Bebas Jentik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(3), 145-152

Siregar, M. H., & Nasution, L. (2020). Analisis Spasial dan Temporal Kejadian Demam Berdarah Dengue di Kota Medan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Mulawarman*, 8(2), 112-119.

Widjaja, S., & Lestari, P. (2019). Penerapan Model SEIR dalam Memprediksi Penyebaran Penyakit Menular Vektor di Indonesia. *Jurnal Biometrika dan Kependudukan*, 8(1), 33-41.

World Health Organization. (2022). *Dengue and Severe Dengue Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control*. World Health Organization.