

# PEMODELAN DAN SIMULASI PENYEBARAN PENYAKIT DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) DI KOTA BANDUNG MENGGUNAKAN CELLULAR AUTOMATA

## MODELING AND SIMULATION OF SPREAD DENGUE FEVER DISEASE (DHF) IN BANDUNG CITY USING CELLULAR AUTOMATA

Affiah Shalihah<sup>1</sup>, Budhi Irawan S.Si. M.T.<sup>2</sup>, Dr. Purba Daru Kusuma M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>[afifahshalihah7@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:afifahshalihah7@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[budhiirawan@telkomuniversity.ac.id](mailto:budhiirawan@telkomuniversity.ac.id),  
<sup>3</sup>[purbadaru@telkomuniversity.ac.id](mailto:purbadaru@telkomuniversity.ac.id)

---

### Abstrak

Pemodelan dan Simulasi Penyebaran Penyakit DBD di Kota Bandung menggunakan Cellular Automata bertujuan untuk membuat pemodelan dan simulasi penyebaran penyakit, penerapan metode Cellular Automata didalam penyebaran penyakit DBD, menemukan nilai MRI yang dapat mendekati nilai RIA, dan menemukan threshold yang mendekati RIA pada setiap tahun kejadian. Penerapan Cellular Automata pada kasus penyebaran penyakit DBD akan maksimal ketika pembobotan dan model matematika ditentukan dengan pas, permasalahan ini muncul ketika hasil simulasi tidak ada yang memenuhi syarat validasi dari suatu program simulasi. Selain itu, keterbatasan resource yang diperoleh juga menjadi penghambat bagi pembuat model. Kemungkinan pada luas cell memiliki peran yang sama untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan keadaan aktual, seperti hasil simulasi yang sudah diperoleh dari luas cell yang berbeda tetap dapat menghasilkan program simulasi yang nilainya mendekati keadaan aktual, namun proses validasi tetap perlu dilakukan untuk memeriksa status program simulasi apakah program simulasi yang dibuat sudah valid. Tingkat kesalahan atau error rate yang dihasilkan pada kasus penyebaran penyakit DBD adalah 0.611609% dan memiliki status valid karena hasil masih dibawah 5%.

**Kata kunci:** Cellular Automata, Pemodelan dan Simulasi, Model Matematika

---

### Abstract

Modeling and Simulation Spreading Dengue Disease in Bandung City using Cellular Automata aims to make modeling and simulation of disease spread, application of Cellular Automata method in the spread of DHF disease, find MRI value that can approach RIA value, and find threshold approaching RIA on every year of occurrence. The application of Cellular Automata in cases of DHF spread will be maximized when weighting and mathematical models are determined appropriately, this problem arises when no simulation results meet the validation requirements of a simulation program. In addition, resource constraints are also an impediment to model makers. The possibility of cell area has the same role to get the result which is close to the actual state, as the simulation result which has been obtained from different cell area can still produce simulation program which is close to the actual condition, but validation process still need to be done to check the status of the simulation program whether the created simulation program is valid. The error rate or error rate generated in the case of DHF spread is 0.611609% and has a valid status because the result is still below 5%.

**Keywords:** Cellular Automata, Modelling and Simulation, Math Model

---

### 1. Pendahuluan

Demam berdarah *Dengue* (DBD) adalah penyakit yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes Aegypti* dengan menyebarkan virus *Dengue* [5]. Indonesia dinobatkan sebagai peringkat kedua Negara endemis Demam Berdarah Dengue (DBD) karena seringnya terjadi kasus DBD pada pertahunnya. Pada wilayah Kabupaten Bandung, dilaporkan pada tahun 2009, sebanyak lima kecamatan di Kabupaten Bandung yaitu Kecamatan Pameungpeuk, Cileunyi, Banjaran, Katapang, dan Kecamatan Margahayu disinyalir endemis DBD[4]. Musim Pancaroba (Peralihan) dikenal dengan musim yang lebih mudah mempengaruhi keadaan tubuh manusia karena tidak meratanya keadaan cuaca di daerah tertentu[1]. Penyakit yang bermunculan pada musim pancaroba salah satunya adalah Demam Berdarah *Dengue* (DBD) [8]. Penyebaran penyakit DBD disebabkan oleh manusia yang memiliki virus dan keturunan yang dihasilkan oleh nyamuk DBD [10]. Faktor utama penyebabnya adalah lingkungan, karena nyamuk berperan sebagai mediator perantara antar manusia atau nyamuk yang akan diturunkan dalam keadaan tidak terinfeksi menjadi terinfeksi [2]. Nyamuk *Aedes Aegypti* hidup pada lingkungan tertentu, sering dijumpai pada lingkungan tropis dan sub-tropis,

nyamuk cenderung menyukai lingkungan yang hangat dan lingkungan yang banyak mengandung genangan air [3]. Air yang disenangi oleh nyamuk betina untuk bertelur adalah air yang memiliki pH normal. Dalam penyebaran penyakit DBD, dilakukan pemodelan dan simulasi bilangan diskrit dengan menggunakan Cellular Automata (CA) sebagai metode untuk melihat penyebaran penyakit dengan menggunakan model matematika untuk melakukan penyebaran virusnya. Pemodelan yang dilakukan oleh Cellular Automata (CA) mengubah model matematika menjadi bentuk cell. Syarat penentu perpindahan penyakit ditentukan oleh *score* yang disesuaikan dengan faktor penyebaran yang diketahui, lalu diakumulasikan sesuai dengan pengaruh setiap faktor.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Pemodelan dan Simulasi

Model adalah rencana, representasi, atau deskripsi yang menjelaskan suatu objek, sistem, atau konsep, yang seringkali berupa penyederhanaan atau idealisasi. Contoh model dapat berbentuk benda, peragaan dari sesuatu, model matematika, atau logika berdasarkan kejadian nyata. Simulasi merupakan suatu teknik meniru kondisi, sifat, atau karakter dari lingkungan nyata ke dalam sebuah model. Pemodelan dan simulasi dapat digunakan sebagai alat analisa sistem atau proses [14]. Berikut adalah rincian tahapan pembuatan simulasi yang dilakukan:

1. Formulasi masalah, pada tahap ini, pembuatan konsep awal akan ditentukan dan penentuan sistem yang akan dimodelkan dan disimulasikan,
2. Mengumpulkan data dan analisis, setelah tahap pertama dilakukan, lakukan pengumpulan data dari suatu sistem, mulai dari teori, atribut, dan kumpulan peraturan untuk dimodelkan,
3. Pengembangan model, setelah tahap kedua dilakukan, ubahlah atribut dan teori peraturan yang sudah dikumpulkan menjadi model matematika sesuai peraturan yang ada didalam sistem. Pada saat akan melakukan simulasi, pembuatan model pada suatu sistem adalah hal yang penting dilakukan, berikut adalah tahapan pembuatan model [14]:
  1. Pahami dengan sistem yang akan disimulasikan, lampirkan gambaran sistem dari teori-teori yang dibuat oleh narasumber, dan lampirkan parameter yang mempengaruhi sistem,
  2. Pembuatan model matematika didalam suatu sistem, dengan cara mengumpulkan parameter yang berpengaruh lalu diubah ke model matematika, contoh faktor penyebaran  $\rightarrow$  Contoh:  $a_n, w_n$  [6].
  3. Pengembangan model matematika untuk simulasi, penyederhanaan model matematika yang sudah dibuat didalam tahap 2, dengan cara membuat parameter yang sudah diubah menjadi model matematika, berdasarkan common sense didalam kenyataan, contoh: independen disimbolkan + dan dependen disimbolkan \* berdasarkan *common sense*,
  4. Pembuatan Simulasi, setelah melakukan tahap pengembangan model, buatlah program simulasi sesuai dengan model yang sudah dibuat, komponen yang harus diperhatikan pada tahap ini adalah implementasi sistem yang sudah disiapkan pada tahap pemodelan, lalu diubah ke bahasa pemrograman, ada beberapa kondisi dimana variabel berstatus random, dan susun semua yang sudah dilakukan.
4. Verifikasi dan validasi model, pada tahap ini, kegiatan yang dilakukan termasuk analisis dari sebuah model. Verifikasi model adalah proses penentuan model tergolong sudah merefleksikan dengan tepat secara konseptual. Validasi model adalah proses penentuan model tergolong sudah merefleksikan dengan tepat sesuai dengan sistem nyata.
5. Eksperimen dan optimasi, tahap ini hampir mirip dengan uji sederhana pada validasi model, tetapi bedanya ini dilakukan setelah program simulasi dapat digunakan, lalu program simulasi diberi suatu keadaan dimana keadaan tersebut akan mempengaruhi sebuah program simulasi,
6. Implementasi, penggunaan model didalam program simulasi dapat digunakan sesuai keperluan.
 

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk melakukan verifikasi dan validasi model, berikut adalah syarat yang dimaksud:

  1. Verifikasi model
    1. Memeriksa common sense, apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan konsep dari suatu sistem,
    2. Pemeriksaan kode, variabel, parameter, dan relasi ketiganya setelah melakukan simulasi.
  2. Validasi model
    1. Perkiraan secara garis besar seharusnya dapat lebih rinci dan akurat,
    2. Uji sederhana, ada beberapa komponen pada uji sederhana, yakni, penandaan aljabar, tingkat pangkat dari besaran, respon dari suatu sistem, dan nilai batas peubah.

Aturan pada uji validitas yang perlu diperhatikan adalah evaluasi yang diusulkan harus berdasarkan observasi, analisis kelebihan dan kekurangan dari sebuah simulasi. Selain aturan yang perlu diperhatikan, ada

beberapa teknik validasi yang dapat digunakan sesuai dengan sistem yang akan diuji, berikut adalah kumpulan teknik validasi yang dapat dilakukan diantaranya Pengujian pada perilaku transformasi, Perbandingan dengan sistem nyata, Perbandingan antara model lain, Adakan uji pada kondisi ekstrim dan degenerasi, Uji fase validitas, Uji data historic, Uji sensitifitas, Uji trace, Uji turing.

Pada berbagai macam uji diatas, dapat dilakukan perbandingan rata-rata yang dihasilkan oleh program simulasi dan rata-rata yang dihasilkan oleh kejadian aktual, berikut adalah persamaan yang digunakan dalam perbandingan tersebut [21]:

$$E \% = \frac{|\bar{S}-\bar{A}|}{\bar{A}} \quad \text{Valid ketika } E \leq 5\%, \text{ dimana } E \% = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \quad (2,1)$$

Dengan keterangan

$E$  = Tingkat kesalahan

$\bar{S}$  = Rata – rata simulasi

$\bar{A}$  = Rata – rata aktual

## 2.2 Demam Berdarah Dengue

Demam berdarah dengue (DBD) adalah penyakit yang ditularkan oleh nyamuk *Aedes Aegypti* dengan menyebarkan virus Dengue kepada manusia [16]. DBD banyak ditemukan di daerah tropis dan sub-tropis. Terhitung sejak tahun 1968 hingga tahun 2009, *World Health Organization (WHO)* mencatat negara Indonesia sebagai negara dengan kasus DBD tertinggi di Asia Tenggara. Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) masih merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat yang utama di Indonesia. Di Indonesia Demam Berdarah pertama kali ditemukan di kota Surabaya pada tahun 1968, penyakit ini menyebar luas ke seluruh Indonesia [9]. Nyamuk *Aedes Aegypti* memiliki proses reproduksi, pada saat bertelur, nyamuk betina banyak bertelur di penampungan air, berikut adalah beragam tempat genangan air yang ditempati oleh nyamuk betina untuk bertelur [16]:

1. Tempat penampungan air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari, contoh: bak mandi, drum, sumur, dll.
2. Tempat penampungan air lain, contoh: tempat minum hewan peliharaan, vas bunga, barang bekas yang terkena air hujan seperti kaleng, botol, dll.
3. Genangan air alami, pelepah daun, lubang pohon, dll.

Nyamuk betina akan bertelur tergantung dengan tempat penampungan airnya. Faktor lain yang menyebabkan jentik masih bertahan adalah ketahanan larva terhadap sumber makanan yang ada didalam container, tinggi rendah atau normalnya suhu air, dan ph asam, basa, atau normal. Jentik akan mati bila suhu air terlalu tinggi atau terlalu rendah, jentik akan bertahan di suhu yang hangat. Jentik akan bertahan apabila ph air normal dan jentik akan mati apabila ph air asam atau basa. Bahan-bahan pembuat tempat penampungan air juga berpengaruh dalam ketersediaan makanan untuk jentik yang ada di penampungan air tersebut. Tetapi, air dalam ph asam belum tentu dapat membuat jentik mati, berikut adalah gambar hasil percobaan pada jentik yang hidup di air yang tercemar [8].

## 2.3 Investigasi Wabah

Rasio, proporsi, dan rate pada investigasi wabah, umumnya seragam dengan rumus seperti berikut [15]:

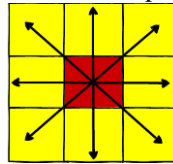
$$rate = \frac{x}{y} * 10^n \quad (2.5)$$

Rumus diatas menandakan  $x$  adalah numerator dibanding  $y$  adalah denominator dan  $10^n$  adalah konstanta peubah bilangan pecahan menjadi bilangan bulat. Nilai  $n$  bergantung pada kasus yang digunakan, sebagai contoh  $10^0$  membuat  $\frac{x}{y}$  menjadi bilangan desimal,  $10^1$  membuat  $\frac{x}{y}$  menjadi bilangan bulat pada desimal 1 angka dibelakang koma,  $10^2$  membuat  $\frac{x}{y}$  menjadi bilangan bulat pada desimal 2 angka dibelakang koma atau bilangan dalam persen, dan seterusnya. Rate Incidence adalah Incidence Density yang merepresentasikan populasi di suatu daerah berdasarkan waktu yang sama dengan kasus terjadinya wabah penyakit. Berikut persamaan Rate incident:

$$Rate Incident = \frac{Jumlah\ kasus\ pada\ periode\ yang\ sama}{Populasi\ yang\ beresiko\ pada\ periode\ yang\ sama} * 10^n \quad (2.2)$$

## 2.4 Cellular Automata

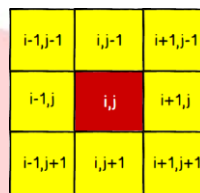
Cellular Automata (CA) adalah bagian dari Nature of Code. Nature of Code adalah teknik simulasi yang menggunakan natural sistem atau simulasi berdasarkan kejadian nyata. Nature of Code memiliki hal-hal yang diperhatikan dalam pembuatan simulasi berbasis program komputer[24].



Moore Neighborhood

Gambar 2.4. Bentuk Cellular Automata [7].

CA Moore Neighborhood, memiliki 9 kemungkinan untuk menyebar, 8 kemungkinan menyebar dan 1 kemungkinan untuk diam di tempat, kemungkinan arah sebar yang dilalui oleh CA Moore Neighborhood adalah atas, bawah, kiri, kanan, diantara atas dan kiri, diantara atas dan kanan, diantara bawah dan kiri, dan diantara bawah dan kanan.



Gambar 2.4 Moore Neighborhood pada Cellular Automata [7].

Pada gambar diatas, cell yang berwarna merah menunjukkan cell pusat terjadinya suatu peristiwa atau kasus,  $i$  dan  $j$  berperan sebagai koordinat dari suatu cell, setiap cell memiliki value atau isi cell yang menentukan peristiwa selanjutnya, apakah warna merah pada cell ini akan menyebar atau tidak. Cell berwarna kuning yang mengelilingi sekitar cell pusat adalah kemungkinan penyebaran cell berwarna merah menjadi calon destinasi selanjutnya [7].

## 2.5 Rule yang digunakan pada pemodelan dan simulasi

$$V = \sum w_n * a_n \text{ atau } \prod w_n * a_n \quad (2.3)$$

Persamaan 2.5 ini digunakan pada rule cellular automata, simbol  $\sum$  digunakan untuk menandakan bahwa hubungan antar faktor adalah independen. Simbol  $\prod$  digunakan untuk menandakan bahwa hubungan antar faktor adalah dependen.

$$\text{Rate Incidents Actual (RIA)} = \frac{\text{Jumlah kasus pada periode yang sama}}{\text{populasi yang beresiko pada periode yang sama}} * 10^5 \quad (2.4)$$

$$\text{Rate Incidents Simulation (RIS)} = \frac{\sum \text{cell bernilai } S=1}{\text{luas cell}} * 10^5 \quad (2.5)$$

Persamaan RIA digunakan untuk mencari Rate Incident Aktual. RIS digunakan untuk mencari Rate Incident pada program simulasi. Pada bagian validasi, nilai RIA dan RIS akan digunakan pada persamaan 2.1, untuk membandingkan tingkat error yang dihasilkan program simulasi.  $10^5$  adalah konstanta yang dimiliki oleh penyakit DBD. Pada penyakit yang berbeda akan berbeda juga konstanta dan populasi yang beresikonya. Pada penyakit DBD, tidak ada batasan umur, jenis kelamin, dapat dikatakan bahwa populasi beresiko yang dimiliki oleh penyakit DBD adalah total jumlah penduduk yang ada di wilayah tersebut pada periode yang sama. Bila jumlah kasus perodenya bulan, maka jumlah penduduk harus menyesuaikan, dalam arti jumlah penduduk yang terdata pada bulan tersebut.

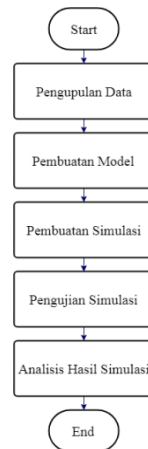
$$\text{Mean Rate Incidents Simulation (MRIS)} = \frac{\sum \text{Hari terakhir simulasi}}{\sum \text{sampling}} \quad (2.6)$$

Pada persamaan 2.6, digunakan untuk mengambil rata-rata dari program simulasi yang dihasilkan oleh program simulasi, harapan setelah mengubah RIS menjadi nilai MRIS dapat mendekati hasil dari RIA.

## 3. Pembahasan

### 3.1 Gambaran Umum Sistem

Pemodelan dan simulasi penyebaran penyakit DBD dibuat untuk memodelkan dan simulasi penyebaran penyakit DBD menggunakan metode Cellular Automata. Pemodelan dan simulasi yang dilakukan dalam kasus ini tergolong model program computer dengan bantuan model matematika yang nilainya diubah menjadi diskrit, jenis waktu simulasi menggunakan time variant. Hasil pemodelan dan simulasi yang diharapkan adalah hasil simulasi dapat mendekati nilai aktual.



Gambar 3.1. Gambaran umum sistem

Kegiatan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini terjabarkan didalam gambar diatas. Kegiatan pertama yang akan dilakukan adalah mengumpulkan data-data akurat tentang DBD. Setelah data dikumpulkan, data-data tersebut dimodelkan dalam bentuk model matematika, membuat model dengan metode cellular automata. Setelah proses pemodelan dan kejelasan relasi antar model sudah selesai, model yang sudah dibuat diimplementasikan pada program simulasi. Ketika program simulasi sudah jadi, program diuji dengan melakukan simulasi ulang berdasarkan sampel yang ditentukan. Hasil uji dari program simulasi kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan keadaan nyata.

### 3.2 Pemodelan

Tahap selanjutnya adalah pembuatan model pada setiap atribut pendukung penyebaran penyakit DBD. Atribut pendukung ini dibagi menjadi 3 bagian, yakni input, angka, dan output. Atribut yang tergolong bagian dari input adalah faktor penyebaran penyakit DBD dan bobot masing-masing faktor penyebaran penyakit DBD. Berikut adalah tabel pemodelan yang digunakan pada penyebaran penyakit DBD:

Tabel 3.3. Pemodelan atribut kedalam model matematika

No	Input	
	Atribut	Model Matematika
1	Rentang faktor	$a_n$
2	Bobot faktor	$w_n$
Angka		
	Atribut	Model Matematika
3	Infeksi	1
4	Tidak infeksi	0
Output		
	Atribut	Model Matematika
5	Batas (Threshold)	$T$
6	Score (Value)	$V$
7	Status (State)	$S$

Pada tabel diatas, pembuatan model atribut diterjemahkan kedalam model matematika, seluruh input, angka, dan output disesuaikan dengan kondisi yang diperlukan oleh sistem. Model matematika yang sudah dibuat akan digunakan oleh program simulasi. Faktor penyebaran penyakit DBD dimodelkan menjadi  $a_n$  dan bobot untuk masing-masing faktor dimodelkan menjadi  $w_n$  [6]. Batas, Score, dan Status dimodelkan berturut-turut menjadi  $T$ ,  $V$ , dan  $S$ . Nilai rentang faktor penyebaran penyakit dibuat menjadi nilai random dalam kemunculan nilai pada program simulasi, karena pada kejadian nyata genangan air atau tempat penampungan air tidak diketahui kondisinya secara spesifik. Tetapi, sebelumnya nilai rentang faktor ditentukan terlebih dahulu sesuai kejadian nyata, hanya kemunculan kemungkinannya yang dibuat random.

Rentang nilai faktor penyebaran penyakit DBD, bobot pada masing-masing faktor penyebaran penyakit DBD, Rentang nilai faktor penyebaran penyakit DBD dan bobot pencegahan ditentukan oleh narasumber. Berikut adalah rentang nilai faktor penyebaran serta masing-masing bobot yang dimiliki pada penyakit DBD yang sudah ditentukan oleh narasumber:

Tabel 3.2. Rincian faktor penyebaran penyakit DBD

Faktor penyebaran				
No	Genangan Air			
	Kondisi	Nilai	Potensi sebar	Bobot faktor
1	Suhu panas atau suhu dingin, ph basa atau ph normal atau ph asam	0	Tidak menyebar	100%
2	Suhu hangat, ph asam	1	Sedikit menyebar	
3	Suhu hangat, ph normal	2	Menyebarkan	

Kondisi dan nilai yang sudah ditentukan ini sudah disahkan oleh narasumber Dinas Kesehatan Kota Bandung bagian pengendalian penyakit dan penyehatan lingkungan (P2PL). Tetapi, kondisi yang ada didalam masing-masing faktor ada yang diasumsikan karena belum ada peraturan baku pada bobot faktor penyebaran penyakit dari buku panduan maupun pengalaman narasumber, narasumber memberikan saran pada untuk pembobotan faktor yaitu membagi keadaan 100% dengan jumlah faktor penyebarannya. Pada suhu air dan ph mempengaruhi kehidupan larva nyamuk dan nyamuk betina [2]. Tempat bertelur nyamuk pada umumnya sangat senang jika bertelur pada tempat penampungan air yang bersih dan hangat, potensi sebarannya akan lebih tinggi dari kondisi yang lain [1].

Pada kasus ini, simulasi menggunakan persamaan yang sudah dimodelkan dan sesuai dengan sistem nyata. Score atau value yang diperoleh dari penjumlahan atau perkalian dari beberapa faktor penyebaran penyakit dengan masing-masing bobotnya. Berdasarkan persamaan 2.3, persamaan yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

Persamaan 2.3 menunjukkan penjumlahan yang digunakan pada penyebaran penyakit DBD karena pada masing-masing faktor penyebaran penyakit DBD tidak mempengaruhi satu sama lain, ketika salah satu berpotensi menyebarkan penyakit DBD dan salah satunya tidak berpotensi menyebarkan penyakit, kondisi tersebut tidak dipengaruhi oleh faktor penyebaran yang lain. Penyebaran penyakit DBD masih akan tetap berjalan meskipun salah satunya tidak berpotensi. Posisi  $w * a$  digunakan oleh faktor penyebaran penyakit oleh genangan air. Berikut adalah nilai kemungkinan yang akan muncul pada kasus ini:

Tabel 3.2. Kemungkinan yang akan muncul pada saat simulasi

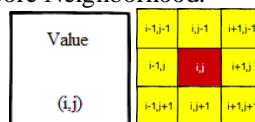
Kemungkinan	Persamaan	V
1	$(100\% * 0) =$	0
2	$(100\% * 1) =$	1
3	$(100\% * 2) =$	2

Peraturan berikutnya adalah ketika suatu cell akan terinfeksi jika sesuai dengan syarat  $V \geq T$  lalu S akan bernilai 1 dan cell tidak terinfeksi apabila  $V < T$  lalu S akan bernilai 0. Nilai T, nilai T menjadi acuan nilai V apakah cell dengan nilai V menimbulkan penyebaran penyakit DBD atau tidak. Berikut adalah persamaan yang dimaksud:

$$S = \begin{cases} 1, V \geq T \\ 0, V < T \end{cases} \tag{3.3}$$

Pada persamaan 3.2 adalah penentuan nilai infeksi atau tidaknya suatu daerah. Nilai T memiliki rentang dari 0.1 hingga 2.0 untuk menguji titik dari tidak terinfeksi menjadi terinfeksi. Batas nilai T = 2.0 karena nilai V maksimal pada kasus ini sama dengan 2.0, ketika T melebihi 2.0 akan menyebabkan titik sebar tidak menyebar. Setelah nilai S didapat, setiap cell yang memiliki nilai S=1 dijumlah, simulasi ini diulang dengan jumlah 10 sampel untuk mencari rata-rata dan waktu simulasi digunakan sebanyak 12 bulan. Kemungkinan cell memiliki nilai V atau score yang sama akan terjadi didalam simulasi ini.

Model Cellular Automata pada dasarnya memiliki kumpulan cell yang berkumpul membentuk satu kesatuan dapat disebut juga sebagai processing window. Cell yang dimaksud dapat berbentuk kotak atau segi enam. Pada simulasi yang akan dilakukan, model cell yang digunakan adalah bentuk kotak dan menggunakan penyebaran model cellular Automata Moore Neighborhood.



Gambar 3.2. Cell pada Cellular Automata Moore Neighborhood

Masing-masing cell memiliki koordinat dan nilai didalamnya, penyebaran cell ditentukan oleh ketentuan yang sudah dibuat. Pada kasus ini, penyebaran cell ditentukan oleh rule yang sudah dibuat, pada kasus ini rule yang dimaksud adalah model matematika yang sudah dirancang. Koordinat digunakan untuk identitas dari suatu cell dan koordinat juga dapat digunakan sebagai acuan penyebaran penyakit DBD. Pergerakan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah model Cellular Automata Moore Neighborhood, karena mengikuti gerak

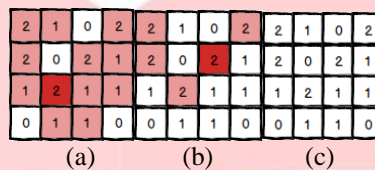
nyamuk yang tidak jauh atau penyebarannya bersifat lokal dan penyebarannya dapat ke segala arah. Processing Window pada kasus ini adalah kumpulan dari beberapa cell, jumlah luas cell yang digunakan adalah 10000 cell atau 100x100 cell, cell ini diasumsikan sebagai lingkungan yang ada di wilayah kota Bandung.

**3.3 Simulasi**

Pembuatan simulasi yang dilakukan adalah membuat program dengan bahasa pemrograman Java dengan menggunakan compiler java Netbeans versi 8.0.2. Tampilan yang digunakan adalah Graphic Unit Interface (GUI), salah satunya menggunakan library java awt untuk membuat animasi grafik, pewarnaan cell, pembuatan cell, pembuatan processing windows, dan lain-lain.

Komponen yang akan digunakan pada program simulasi di kasus penyebaran penyakit DBD adalah atribut yang sudah diubah menjadi model matematika, waktu simulasi, dan nilai investigasi wabah yang diterapkan menjadi rule dari suatu simulasi.

Rule yang dimaksud dalam program simulasi dibagi menjadi 2, yakni rule untuk model matematika dan investigasi wabah dalam program simulasi. Persamaan investigasi wabah yang digunakan pada kasus ini adalah Rate Incident, karena Rate Incident dapat menghitung perbandingan antara jumlah kasus dengan total populasi yang beresiko pada periode yang sama, lalu dikali dengan 10<sup>5</sup> untuk menjadikan nilai tersebut pada setiap 100.000 penduduk. Berikut adalah gambaran yang mungkin terjadi pada program simulasi

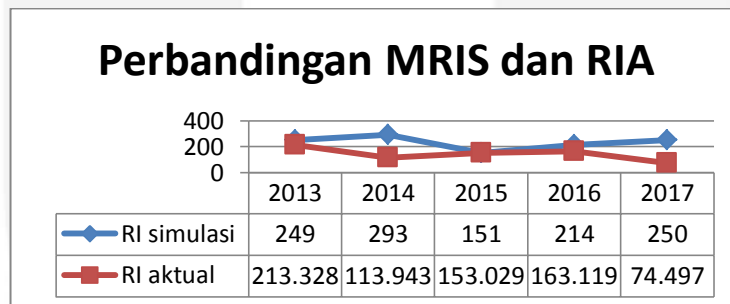


Gambar 3.4 (a) CA dengan T=0.1, (b) CA dengan T=1.1, (c) CA dengan T=2.1

**4. Pengujian dan Analisis**

Pada pengujian program dengan menggunakan Black Box, pengujian ini ditujukan untuk memeriksa seluruh fungsi yang ada didalam program simulasi, dalam pengujian yang akan diuji adalah kumpulan kondisi input dan reaksi atau output yang dihasilkan, memeriksa apakah semua fungsi sudah sesuai dengan tujuan.

**4.1 Hasil Pengujian Program Simulasi**



Gambar 4.2 Perbandingan MRIS dan RIA

Rate Incidents Aktual (RIA) berperan sebagai data aktual atau data dalam kenyataan pada kasus penyebaran penyakit DBD. Pada 5 tahun ini, besarnya kasus penyakit DBD mengalami naik turun. Faktor penyebab terjadinya naik turun diantaranya terjadi karena nyamuk yang dapat beradaptasi dengan lingkungannya, manusia berpotensi menderita penyakit DBD sebanyak 4x. Pada penurunan terjadi penyuluhan dan masyarakat sudah bisa antisipasi dan lebih siap jika penyakit DBD menyerang. Rate Incident Simulasi (RIS) berperan sebagai data hasil simulasi pada kasus penyebaran penyakit DBD. Pada MRIS yang mengusahakan untuk dekat dengan nilai RIA pada 5 tahun terakhir, mengalami naik turun juga, disebabkan oleh nilai random yang diset pada posisi cell awal, jumlah infeksi yang didapat dari nilai V. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan program simulasi yang sudah dibuat berstatus valid menggunakan persamaan 2.1:

$$\bar{S} = \frac{S_1+S_2+S_3+S_4+S_5}{5} \mid \bar{S} = \frac{249+293+151+214+250}{5} = 231.4$$

$$\bar{A} = \frac{A_1+A_2+A_3+A_4+A_5}{5} \mid \bar{A} = \frac{213.328+113.943+153.029+168.119+74.497}{5} = 143.5832$$

$$E \% = \frac{|231.4-143.5832|}{143.5832} = 0.611609\% \text{ model valid karena } E \% \leq 5\%$$

## 5. Kesimpulan dan Saran

Penerapan Cellular Automata pada kasus penyebaran penyakit DBD akan maksimal ketika pembobotan dan model matematika ditentukan dengan pas, permasalahan ini muncul ketika hasil simulasi tidak ada yang memenuhi syarat validasi dari suatu program simulasi. Selain itu, keterbatasan resource yang diperoleh juga menjadi penghambat bagi pembuat model. Kemungkinan pada luas cell memiliki peran yang sama untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan keadaan aktual, seperti hasil simulasi yang sudah diperoleh dari luas cell yang berbeda tetap dapat menghasilkan program simulasi yang nilainya mendekati keadaan aktual, namun proses validasi tetap perlu dilakukan untuk memeriksa status program simulasi apakah program simulasi yang dibuat sudah valid. Tingkat kesalahan atau error rate yang dihasilkan pada kasus penyebaran penyakit DBD adalah 0.611609% dan memiliki status valid karena hasil masih dibawah 5%.

## DAFTAR ISI

- [1]. T. Wurisastuti, "Perilaku Bertelur Nyamuk *Aedes aegypti* pada Media Air Tercemar", Pusat Loka Penelitian dan Pengembangan Penyakit Bersumber Binatang, Jurnal Biotek Medisiana Indonesia . Vol.2.1.2013:25-31, Baturaja 20 Maret 2013
- [2]. L. Hidayati, U. K. Hadi, S. Soviana, "Kejadian Demam Berdarah Dengue di Kota Sukabumi Berdasarkan Kondisi Iklim", Acta Veterinaria Indonesiana, Vol. 5, No. 1: 22-28, Januari 2017
- [3]. H. Mulyani, T. Djatna, I. S. Sitanggang, "Agent Based Modeling on Dynamic Spreading Dengue Fever Epidemic", Telkonnika, vol.15, no.3, september 2017, pp. 1380-1388.
- [4]. A. N. R. N. Tyas, A. Fariza, W. T. Sesulihatien, "Analisa Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Di Surabaya Dengan Menggunakan Cellular Automata", Science and Technology Index, 2011.
- [5]. P. D. Kusuma, "Modifikasi Motif Kain Tradisional Menggunakan Cellular Automata", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATi) 2016 ISSN: 1907 – 5022 Yogyakarta, 6 Agustus 2016.
- [6]. P. D. Kusuma, "Implementation of Pedestrian Dynamic In Cellular Automata Based Pattern Generation", (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications Vol. 7, No. 3, 2016.
- [7]. P. Eosina, T. Djatna, and H. Khusun, A Cellular Automata Modeling for Visualizing and Predicting Spreading Patterns of Dengue Fever, TELKOMNIKA, Vol.14, No.1, pp. 228-237, March 2016.
- [8]. M. U. Riandi, M. Ipa, J. Hendri, "Sebaran jentik *Aedes Spp.* di kecamatan Tawang Kota Tasikmalaya", Seminar Nasional Politeknik Banjarnegara 2012.
- [9]. W. T. Yunis, M. Haryanto, B. Mulyono. S. Adiwibowo, Andrio, "Buletin jendela epidemiologi: Demam berdarah Dengue". Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Volume 2. 2010.
- [10]. N. Nurullah. [Online] 2016. "musim pancaroba awas demam berdarah". Diambil dari <http://www.pikiran-rakyat.com/bandung-raya/2016/11/04/kasus-demam-berdarah-terbanyak-terjadi-di-kota-bandung-waspadalah-383883>. (4 September 2017).
- [11]. K. Agniya. [Online] 2016. "Jakarta Indonesia Perangkat ke 2 Negara Endemis Demam Berdarah" diambil dari <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20160616170332-255-138672/indonesia-peringkat-dua-negara-endemis-demam-berdarah/> (4 September 2017).
- [12]. Puspasari, Siska Nurmala. [Online] 2017. "Waspada Penyakit Musim Pancaroba". Diambil dari <http://www.pikiran-rakyat.com/bandung-raya/2017/02/13/waspada-penyakit-musim-pancaroba-393336>. (4 September 2017).
- [13]. Miriansya, "Wawancara tentang Demam Berdarah Dengue," Dinas Kesehatan Kota Bandung, [Interview],17 Maret 2018.
- [14]. B. Sridadi, "Pemodelan dan Simulasi Sistem Edisi Cetakan Pertama", Bandung Informatika, Bandung 2009.
- [15]. K. M. Arias, "Quick Reference to Outbreak Investigation and Control in Health Care Facilities", Jones and Bartlett, 2000.
- [16]. Direktorat Jendral Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan, "Pedoman Pengendalian Demam Berdarah Dengue", 2015.
- [17]. Mathcentre. "Mean, Median, and Mode". [www.mathcentre.ac.uk](http://www.mathcentre.ac.uk), [Online], Juni 2003.
- [18]. O. Hasan, S. R. Sentinuwo, A. M. Sambul. 2017."Pemodelan dan Simulasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan Menggunakan Model Cellular Automata". E-journal Teknik Informatika, Vol 10, No. 1, ISSN : 2301-8364.
- [19]. M.Effendi. [Online]." Teori dan pemodelan Sistem: Analisis model". <http://masud.lecture.ub.ac.id/2014/06/teori-dan-pemodelan-sistem/>. 2012. (Diakses pada 17 Mei 2018)
- [20]. H.Lestari. [Online]. "Analisis Model dan Simulasi". <https://dinus.ac.id/detailstaf/0686.11.2015.608>. (Diakses pada 17 Mei 2018)
- [21]. Y.Barlas. "Formal Aspect of Model Validity and Validation in System Dynamics". System Dynamic Review Vol.12 No.3.
- [22]. M.Effendi. [Online]." Teori dan pemodelan Sistem: Klasifikasi model". <http://masud.lecture.ub.ac.id/2014/06/teori-dan-pemodelan-sistem/>. 2012. (Diakses pada 17 Mei 2018)
- [23]. M.Effendi. [Online]." Teori dan pemodelan Sistem: Formulasi Model Matematika". <http://masud.lecture.ub.ac.id/2014/06/teori-dan-pemodelan-sistem/>. 2012. (Diakses pada 17 Mei 2018)
- [24]. D. Shiffman. "The Nature of Code". 2012.