

PEMODELAN DAN SIMULASI PENYEBARAN PENYAKIT FLU BURUNG DI SUATU KECAMATAN WILAYAH KABUPATEN BANDUNG DENGAN CELLULAR AUTOMATA

MODELING AND SIMULATION SPREAD OF AVIAN INFLUENZA DISEASE IN A SUB-DISCRICT BANDUNG REGENCY USING CELLULAR AUTOMATA

Nadhifah¹, Budhi Irawan, S.Si.,M.T², Dr. Purba Daru Kusuma, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹nadhifahalkatiri@telkomuniversity.ac.id, ²budhiirawan@telkomuniversity.ac.id, ³purbadaru@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Flu burung merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus H5N1. Kasus flu burung pertama kali dilaporkan di Indonesia pada tahun 2003. Kala itu, flu burung endemik di populasi ayam di beberapa daerah di Indonesia. Jutaan unggas mati karena penyakit ini. Penyebab flu burung di suatu wilayah sangat beragam contohnya seperti, daya tahan tubuh unggas yang lemah, kebersihan lingkungan, dan control biosekuriti yang belum benar.

Pada tugas akhir ini dilakukan pemodelan dan simulasi penyebaran penyakit flu burung di suatu wilayah yang bertujuan merancang model yang cocok dengan penyebaran penyakit flu burung menggunakan Cellular Automata untuk melakukan visualisasi berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan. Kemudian, mencari nilai Infection Rate yang merupakan presentase tingkat infeksi di daerah yang disimulasikan menggunakan pengujian batas.

Metode yang digunakan dalam tugas Akhir ini adalah Metode Cellular Automata yang merupakan model diskrit kemudian, untuk menunjang metode cellular automata dilakukan pula perancangan model matematika yang berfokus pada faktor-faktor penyebab flu burung di daerah yang disimulasikan, kemudian membandingkan dua simulasi untuk melihat tingkat kesalahan, selisih infection rate kedua simulasi.

Kata kunci: *Cellular Automata, Infection Rate, Avian Influenza, Penyebaran penyakit, Threshold*

Abstract

Avian Influenza is a disease that caused by H5N1 virus. Avian Influenza's case is first reported in Indonesia in 2003. At that time, Avian Influenza was endemic among poultry in some areas in Indonesia. Millions of poultry died because of this disease. The factors of AI disease are vary such as poor poultry's metabolism, environment, and bad biosecurity control

This final project is modelling and simulating spread of AI disease in an area that has the goal to design the right model that fits in to the spread of Avian Influenza disease using Cellular Automata to visualize based on the model that has been designed. Then, find the Infection Rate which is the percentage of infection in the simulated area using Threshold testing.

The method that used in this final project is Cellular Automata which is a discrete model, to support the CA method, the mathematical model is designed. The mathematical model is focusing on factors that cause AI disease in the simulated area. Then, comparing between two simulation to see the error rate, the difference of the Infection Rate of two simulation

Keywords: *Cellular Automata, Infection Rate, Avian Influenza, Spread of Disease, Threshold.*

1. Pendahuluan

Flu burung atau dalam bahasa Inggris disebut dengan istilah *Avian Influenza* (AI) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh virus influenza tipe A dengan diameter 90-120 nanometer. Jenis atau subtype dari virus penyebab penyakit flu burung merupakan virus H5N1 [9]. Penyakit flu burung secara ekonomi dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar bagi pelaku bidang perunggasan. Karena virus flu burung sangat berbahaya sehingga dapat menyebabkan kematian unggas secara mendadak dan cepat. Selain dapat menular pada unggas penyakit ini sangat membahayakan kesehatan manusia dan dapat menyebabkan kematian[3]. Namun, secara normal flu burung hanya menginfeksi ternak unggas seperti ayam, kalkun, dan itik. Namun, virus AI juga dapat menginfeksi ternak ruminansia, terutama babi. Walaupun hampir semua jenis unggas dapat terinfeksi virus flu burung. Tapi, unggas yang paling rentan terserang virus ini adalah unggas yang diternakkan secara masal seperti ayam, puyuh dan itik[9].

Keberadaan unggas air liar dan burung liar yang tersebar di seluruh dunia merupakan perantara alami (*reservoir*) virus influenza A yang paling heterogen. Itik adalah salah satu dari kelompok unggas air yang peka terhadap serangan penyakit flu burung. Itik mempunyai perilaku berpindah-pindah tempat dan memberi peluang untuk menjadi itik pembawa penyakit flu burung dari daerah satu ke daerah lainnya [10]. Salah satu cara guna memetakan penyebaran penyakit dapat dilakukan menggunakan metode simulasi [15]. Simulasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu simulasi numerik dan simulasi visual [15]. Salah satu metode simulasi visual yang banyak digunakan adalah *Cellular Automata*. Dengan menggunakan *Cellular Automata* lokasi dibuat menjadi per-sel dimana sifat *Cellular Automata* adalah kondisi satu sel dipengaruhi oleh sel-sel tetangga [6]. Jika satu sel terinfeksi maka, kemungkinan menginfeksi sel berikutnya [6].

2. Dasar Teori

2.1 Flu Burung Pada Unggas

Keberadaan unggas air liar (*Anseriformes* (itik, entok dan angsa) dan *Charadriiformes* (burung camar laut), burung laut, burung liar yang tersebar luas merupakan perantara alami virus influenza A. Unggas air merupakan *reservoir* untuk virus *Avian Influenza* karena, sebuah subtype H dan N virus *Avian Influenza* dapat ditemukan dalam tubuh unggas air. Semua subtype *Avian Influenza* dapat berkembang biak dalam jumlah banyak di dalam saluran pencernaan unggas air. Dan juga, unggas air yang mengandung subtype virus ini biasanya tanpa memperlihatkan gejala sakit seperti yang ditunjukkan oleh unggas lain yang terserang flu burung. Oleh karena itu, unggas air mempunyai peranan penting dalam penularan virus *Avian Influenza* ke manusia mengingat kemampuan unggas air dalam berpindah-pindah tempat[15].

itik merupakan salah satu dari kelompok unggas air yang peka terhadap serangan penyakit flu burung. Itik mempunyai perilaku berpindah-pindah tempat dan berpergian dalam jarak yang sangat jauh dimana kemampuan ini memberikan peluang yang sangat besar terhadap itik sebagai carrier dari penyakit flu burung dari satu daerah ke daerah lain. Selain itu, itik sering kali di bebaskan atau liar dan berpindah-pindah tempat terutama saat musim panen tiba dimungkinkan sebagai faktor yang berperan terhadap penyebaran virus flu burung (HPAI H5NI) ke lingkungan sekitar. Para peternak atau petani juga menggembalakan itik secara berpindah-pindah dari satu sawah ke sawah lain. Itik akan dibiarkan bebas berkeliaran untuk mencari makan di sawah yang telah panen[3].

Penyebaran flu burung pada unggas dapat melalui dua cara yaitu kontak secara langsung dan kontak secara tidak langsung. Berikut cara penyebaran penyakit flu burung antar unggas[7]:

1. Kontak Langsung

- Unggas yang terinfeksi, sebagai contoh: unggas yang sehat bercampur dengan unggas yang terinfeksi saat berkeliaran di halaman atau berada dalam satu kandang.
- Burung liar yang terinfeksi.

2. Kontak Tidak Langsung

- Kotoran dari unggas yang terkena virus flu burung
- Sumber air yang tercemar kotoran atau bulu dari unggas yang terinfeksi.
- Jerami tempat sarang unggas yang terinfeksi.
- Virus yang terbawa oleh orang-orang yang datang dari daerah yang terjangkit, melalui sepatu, baju, perkakas (cangkul, sekop, sangkar, bak, peti telur) dan alat transportasi (sepeda dan ban sepeda motor).
- Pakan unggas yang terinfeksi

2.2 Cellular Automata

Metode *Cellular automata* merupakan metode yang menerapkan prinsip ketetanggaan dengan titik pusat yang diasumsikan sebagai titik pertama kali terjadi penyebaran. Kemudian tetangganya adalah tempat yang diprediksikan juga memiliki potensi penyebaran penyakit. Untuk mengetahui tetangga mana yang akan mengalami penyebaran, dilihat dari tetangga yang mempunyai nilai terbesar. Berikut unsur-unsur pembentuk *Cellular automata* meliputi [6]:

1. Geometri

Geometri pada *Cellular Automata* terdiri atas dimensi *Cellular automata* tersebut dan bentuk geometri dari masing-masing sel penyusunnya.

2. State Set

State Set merupakan himpunan status atau keadaan yang dimiliki oleh masing - masing sel *Cellular automata*. Status dapat berupa angka atau sifat tertentu.

3. Neighborhood

Neighborhood merupakan ketetanggaan antara sel dalam *Cellular automata*, *neighborhood* dapat mempengaruhi status suatu sel pada *Cellular automata*. Umumnya *neighborhood* suatu sel menjangkau sel-sel yang berada di sekitarnya.

Cellular automata mempunyai beberapa model diantaranya yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah model *Moore Neighborhood*[12]. *Moore Neighborhood* merupakan sebuah konsep ketetanggaan yang umum dan populer digunakan. Proses simulasi dalam tingkat piksel, keadaan suatu piksel akan dipengaruhi oleh piksel lain disekitarnya. *Moore Neighborhood* memiliki sel yang berada dalam area *neighborhood* digambarkan dengan arah $N=\{BL, U, TL, B, P, T, BD, S, TG\}$ seperti arah mata angin[12].

2.2.1 Perhitungan Dasar Perpindahan Sel Cellular Automata

Pada *Cellular automata* setiap satu sel memiliki nilai koordinat masing-masing. Nilai koordinat dalam sel berperan sebagai penentu apakah suatu sel dapat menyebar atau tidak karena, pada dasarnya jika satu sel terinfeksi, sel tersebut akan mendeteksi apakah sel disekitar sel yang terinfeksi tersebut memiliki nilai yang memenuhi untuk suatu sel melakukan penyebaran. Pengaturan nilai dalam penyebaran sel dapat disesuaikan kebutuhan, misalnya jika diinginkan sel yang memiliki nilai terbesar dapat melakukan penyebaran maka, perhitungan harus mencari nilai terbesar setelah mendapatkan sel terinfeksi. Berikut merupakan contoh penyebaran sel dengan melihat nilai sel paling besar. Jika diketahui nilai beserta koordinat untuk setiap sel adalah:

Tabel 1 Contoh Kasus Perhitungan Sederhana Cellular Automata

Koordinat	Nilai Sel
(0, 0)	4
(0, 1)	5
(0, 2)	3
(1, 0)	2
(1, 1)	1
(1, 2)	3
(2, 0)	4
(2, 1)	6
(2, 2)	7

Dari contoh kasus diatas diketahui bahwa titik awal penyebaran adalah terdapat di koordinat (1,1) dengan nilai sel 1. Oleh karena itu, bentuk sel dapat dipetakan seperti dibawah ini

4 (0,0)	5 (0,1)	3 (0,2)
2 (1,0)	1 (1,1)	3 (1,2)
4 (2,0)	6 (2,1)	7 (2,2)

Gambar 2 Sel dengan Nilai dan Koordinatnya

Setelah diketahui nilai setiap sel beserta koordinatnya berikut langkah-langkah untuk penyebaran sel:

1. Mencari Nilai Sel Terbesar

Langkah pertama adalah mencari nilai sel terbesar disekitar sel terinfeksi dengan melakukan perhitungan dengan rumus dibawah ini:

$$X = \text{Nilai sel sekitar} + \text{Nilai Sel Awal} \quad (2.1)$$

Dari rumus sederhana diatas dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui penyebaran sel. Berikut adalah hasil perhitungan langkah pertama:

$$\begin{aligned} (0, 0) + (1, 1) &= 4 + 1 &= 5 \\ (0, 1) + (1, 1) &= 5 + 1 &= 6 \\ (0, 2) + (1, 1) &= 3 + 1 &= 4 \\ (1, 0) + (1, 1) &= 2 + 1 &= 3 \\ (1, 2) + (1, 1) &= 3 + 1 &= 4 \\ (2, 0) + (1, 1) &= 4 + 1 &= 5 \\ (2, 1) + (1, 1) &= 6 + 1 &= 7 \\ (2, 2) + (1, 1) &= 7 + 1 &= 8 \end{aligned}$$

2. Penambahan Sel Berwarna Merah

Pada tahap pertama telah ditemukan sel kedua yang berwarna merah, yakni pada koordinat (2, 2) dengan nilai sel adalah 8. Berikut adalah visualisasi dari penambahan sel yang berwarna merah. Setelah didapatkan penambahan sel berwarna merah yang terdapat di koordinat (2, 2) langkah selanjutnya adalah tetap mencari sel berwarna merah lainnya dengan melakukan perhitungan yang sama. Pada perhitungan kali ini sel yang menjadi pusat atau sel awal adalah sel pada koordinat (2, 2), sel pada koordinat (1, 1) tidak lagi diikutkan dalam perhitungan.

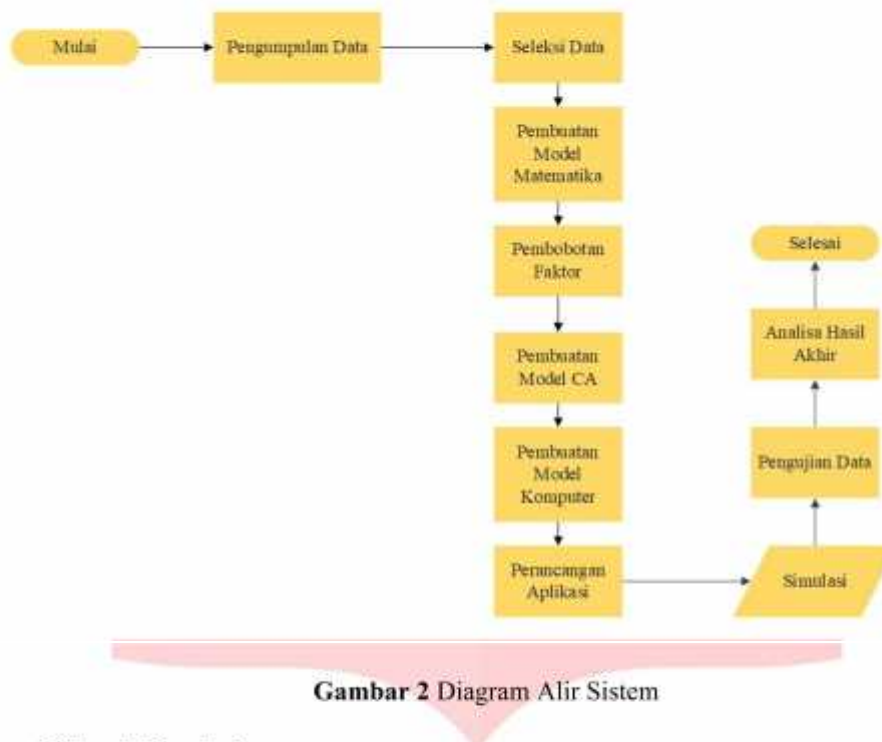
4 (0,0)	5 (0,1)	3 (0,2)
2 (1,0)	7 (1,1)	3 (1,2)
4 (2,0)	6 (2,1)	8 (2,2)

Gambar 3 Visualisasi Hasil Perhitungan Tahap 1

3. Pembahasan

3.1 Gambaran Umum Sistem

Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penyebaran virus flu burung di suatu peternakan yang berlokasi di Desa Sekarwangi Kecamatan Soreang Kabupaten Bandung. Faktor yang didapatkan berupa faktor vaksinasi, biosekuriti dan kepadatan kandang. Pemetaan penyebaran penyakit menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) untuk mempermudah perhitungan status penyebaran dan proses penyebaran. Adapun Gambaran pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir di gambar 3.1



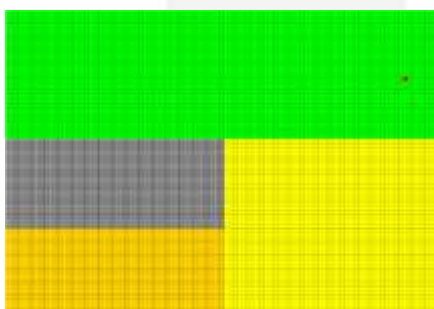
Gambar 2 Diagram Alir Sistem

3.2 Rancangan Wilayah Simulasi

Perancangan wilayah untuk kedua simulasi di dunia Cellular Automata pada tugas akhir ini memiliki luas yang berbeda-beda mereplikasi wilayah sebenarnya ke dalam bentuk sel-sel Cellular Automata

1. Simulasi 1

Pada simulasi 1 luas wilayah asli kurang lebih adalah 100 x 100m² meliputi wilayah peternakan yakni kandang, rumah peternak, halaman dan sawah dibelakang lingkungan peternakan tempat itik diliaran. Oleh karena itu, pada dunia Cellular Automata diasumsikan sebagai 100 x 100 piksel dengan ukuran sel yang diasumsikan 10 piksel. Kemudian, untuk warna dari sel disesuaikan dengan status sel.



asi 2

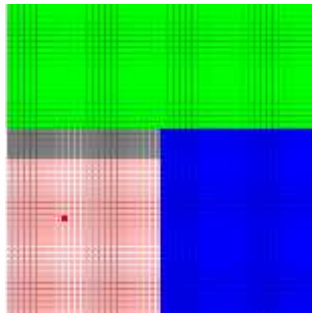
Warna	Keterangan
Merah	Terinfeksi
Hijau	Sawah
Kuning	Wilayah Peternakan
Orange	Rumah Peternak
Abu	Lain-lain

Tabel 3.19. Representasi Warna 1

2. Simul

Pada simulasi 2 yakni simulasi untuk tahun 2013, luas wilayah asli kurang lebih adalah 50 x 50 m² meliputi wilayah peternakan yakni kandang, rumah peternak dan halaman. Oleh karena itu, pada desain dunia Cellular Automata diasumsikan sebagai 50 x 50 piksel dengan ukuran sel yang diasumsikan 10 piksel. Kemudian, untuk warna dari sel disesuaikan dengan status sel.

Gambar 3.3. Representasi Warna 1



Gambar 3.4. Representasi Warna 2

Merah	Terinfeksi
-------	------------

Tabel 3.20. Representasi Warna 2

3.3 Perancangan Model Matematika

Penghitungan *Cellular automata* pada tugas akhir penyebaran penyakit flu burung ini adalah dengan memperhitungkan faktor-faktor penyebab terjadinya penyebaran flu burung di daerah yang diteliti. Berikut adalah persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan faktor penyebaran penyakit.

Tabel 3.8. Keterangan Persamaan Bagian Input

No.	Input	
	Nama	Notasi Matematika
1.	Rentang Faktor	α_n
2.	Bobot Faktor	w_n

Tabel 3.8. Keterangan Persamaan Bagian Output

No.	Output	
	Nama	Notasi Matematika
1.	Batas	T
2.	Nilai Sel	V
3.	Status	S

Untuk mengetahui nilai suatu sel dalam penyebaran penyakit flu burung, nilai V harus dihitung dengan mengalikan bobot faktor dan juga rentang faktor. Sebelum itu, urutkan w_n dan α_n sesuai dengan banyaknya faktor. Berikut adalah urutan nilai bobot faktor w_1 sampai dengan w_3 :

Tabel 3.9. Nilai Bobot Faktor Penyebaran

w_n	Faktor	Nilai w
w_1	Vaksinasi	0.4
w_2	Biosekuriti	0.3
w_3	Lingkungan	0.3

Nilai w_n merupakan nilai yang ditetapkan sebagai bobot faktor setiap faktor terhadap pengaruh penyebaran penyakit flu burung sesuai dengan keadaan yang diteliti. Setelah mengurutkan w_n sesuai dengan faktor, langkah selanjutnya adalah membuat urutan yang sama untuk nilai α_n

Tabel 3.10. Nilai Rentang Faktor Penyebaran

α_n	Faktor	Nilai α
α_1	Vaksinasi	0, 1
α_2	Biosekuriti	0, 1
α_3	Lingkungan	0, 1

Nilai α_n adalah nilai rentang faktor penyebaran yang memiliki nilai dari 0 sampai n sesuai dengan rentang pembobotan setiap faktor. Nilai α akan diacak dengan rentang 0 dan 1. Dari parameter yang diketahui, langkah selanjutnya adalah memasukkan ke persamaan 2.2. Berikut adalah contoh perhitungan nilai V jika dimisalkan nilai dari seluruh α adalah nilai maksimal dari rentang masing masing faktor:

$$V = w_1 * \alpha_1 + w_2 * \alpha_2 + w_3 * \alpha_3$$

$$V = 0.4 * 1 + 0.3 * 1 + 0.3 * 1$$

$$V = 1$$

Jika sudah mendapatkan nilai V atau *value cell*, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai S atau nilai Status *cell*. Nilai Status yang dibandingkan dengan nilai V digunakan untuk menentukan apakah sel terinfeksi atau tidak dengan aturan seperti persamaan 2.3

$$S \begin{cases} V > T; 1; \\ 0; \end{cases} \quad (2.3)$$

Nilai status akan bernilai 1 atau terinfeksi jika, nilai V lebih besar dari nilai T atau nilai *Threshold* selain itu nilai S adalah 0 atau tidak terinfeksi. Jika dari contoh kasus yang sama seperti diatas nilai $V = 1$, dan diketahui *Threshold* adalah 0.33 Nilai $V > T$ dimana $1 > 0.33$ maka, nilai S adalah 1 atau terinfeksi.

3.4 Perancangan Model Threshold

Pada tahap perancangan model *Threshold*, dilakukan run program sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai yang *Infection Rate* terdekat dengan nilai *Infection Rate* yang diinginkan pada satu *Threshold* tertentu.

Tabel 3.12. Tabel Simulasi Pertama *Threshold* 0.1

Threshold = 0.1	
Simulasi Ke-1	
Sesi	Nilai <i>Infection Rate</i> %
1	53
2	56
3	58
4	60
5	61
6	63
7	64
<i>Average</i>	59.28

Pada tabel 3.12 terdapat 7 sesi simulasi yang merepresentasikan waktu penyebaran penyakit yaitu 7 hari. Kemudian didapatkan nilai rata-rata simulasi sebesar 59.28. Nilai tersebut merupakan nilai *Infection Rate* pada simulasi pertama di *Threshold* 0.1. Langkah berikutnya adalah melakukan percobaan pada *Threshold* selanjutnya sampai mendapatkan nilai *Threshold* yang cocok dengan nilai *Infection Rate* yang diinginkan. Jika nilai *Threshold* yang diinginkan tidak didapat dengan pengujian pada suatu angka pasti, maka dapat dilakukan dengan memfokuskan pengujian pada dua angka yang diantara angka tersebut kemungkinan terdapat *Threshold* yang diinginkan.

4. Implementasi dan Pengujian Sistem

4.1 Hasil Pengujian Threshold

Setelah dilakukan pengujian terhadap 10 threshold untuk mendapatkan threshold yang memiliki nilai *Infection Rate* simulasi terdekat dengan *Infection Rate* keadaan nyata, setiap satu threshold dilakukan sebanyak 10 sesi, dengan hasil setiap sesinya memiliki 7 iterasi yang merepresentasikan lama waktu penyakit tersebut mewabah di daerah tersebut. Dalam kasus ini waktu penyakit flu burung mewabah di daerah tersebut adalah selama 7 hari. Pada kasus ini selama 7 hari tidak ada tindakan penanganan terhadap penyakit. Oleh karena itu, untuk melihat tingkat infeksi pada hari terakhir wabah diambil sampel *infection rate* pada hari ke 7 saat sesi ke 10 untuk mendapatkan nilai *infection rate* yang stabil.

4.2 Hasil Pengujian

Dari pengujian *Threshold* yang telah dilakukan, didapatkan hasil *Infection Rate* simulasi terdekat dengan *Infection Rate* nyata yang bernilai yakni 38% adalah 41.2% dengan selisih sebesar 3.2%. Kemudian untuk mengetahui validitas dari model yang telah dirancang dilakukan perhitungan tingkat kesalahan sesuai dengan persamaan 2.8.

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Kesalahan} &= (|41.2-38|)/38 \\ &= 0.0842\% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tingkat kesalahan diperoleh nilai sebesar 0.0842%, berdasarkan peraturan validitas model, jika nilai tingkat kesalahan kurang dari sama dengan 5% maka, model yang telah dirancang tergolong valid.

5. Kesimpulan dan Saran

1. Model simulasi penyebaran penyakit flu burung berhasil dirancang menggunakan metode Cellular Automata
2. Kedua model simulasi yang dirancang valid dengan nilai tingkat kesalahan sebesar 0.0473% untuk simulasi 1 dan 0.564% untuk simulasi 2
3. *Threshold* yang paling mendekati dengan keadaan nyata adalah pada Simulasi 1 yaitu *Threshold* 0.3 dengan nilai *Infection Rate* 39.8%

4. Semakin kecil nilai Threshold maka, semakin besar nilai Infection Rate karena, nilai T yang bertindak sebagai pembanding mempunyai kemungkinan besar memiliki nilai cell lebih rendah dari nilai Threshold yang dapat mengakibatkan kemungkinan banyaknya status cell yang bernilai 1 atau Infected, begitu pula sebaliknya.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat ditambah menambah model matematika penanganan penyakit
1. Penelitian selanjutnya nilai *Infection Rate* simulasi dapat lebih mendekati atau sesuai dengan nilai *Infection Rate* nya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anthony Gar-On Yeh, X. L. (2004). Errors and uncertainties in urban cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, (pp. 10-28).
- [2] Badan Litbang Pertanian. (2012). Waspadailah Keberadaan Itik dalam Penyebaran Virus Flu Burung atau AI.
- [3] Food and Agriculture Organization. (2005). *Pencegahan dan Pengendalian Flu Burung pada Peternakan Unggas Skala Kecil*.
- [4] Hasan, O., Sentinuwo, S. R., & Sambul, A. M. (2017). Pemodelan dan Simulasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan Menggunakan Model Cellular Automata. *E-journal Teknik Informatika*, Vol.10, No.1.
- [5] Info Medion. (2014, Juni). Retrieved from Strategi Mencegah Outbreak AI: <http://info.medion.co.id/konsultasi/8-penyakit/1264-strategi-mencegah-outbreak-ai.html>
- [6] Kusuma, P. D. (2016). Implementation of Pedestrian Dynamic In CA Based Pattern Generation. (*IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol.7 No.3).
- [7] Kusuma, P. D., & SN, A. (2013). Multi Agents based Traditional Market Customers Behaviour Design. *International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications*, (pp. 331-336).
- [8] Mohamad, K. (2005). *Flu Burung*. Influenza Report.
- [9] Ning Tyas, A. R., Fariza, A., & Sesulihatien, T. W. (2015). *Analisa Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Di Surabaya Dengan Menggunakan Cellular Automata*.
- [10] Pertanian, K. d. (2017). *Data Flu Burung Kabupaten Bandung*. Bandung.
- [11] S, H., A., M., & G, R. (2007). Modeling Epidemics Using Cellular Automata. *Applied Mathematics and Computation*.
- [12] Saadah, Lestari, V., Natsir, A., & Ali, H. (2010). Penerapan Biosekuriti Untuk Kegiatan Usaha Peternakan Unggas Non Industri Komersial Di Sulawesi Selatan. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, (pp. 707-713). Makasar.
- [13] Sridadi, B. (2011). *Pemodelan dan Simulasi Sistem Edisi Cetakan Pertama*. Bandung: Informatika Bandung.
- [14] World Health Organization. (2011). *WHO*. Retrieved from FAQs: H5N1 influenza:http://www.who.int/influenza/human_animal_interface/avian_influenza/h5n1_research/faqs/en/
- [15] Yuni Yupiana, S. J. (2010). Risk factors of poultry outbreaks and human cases of H5N1 avian influenza virus infection in West Java Province, Indonesia. *International Journal of Infectious Diseases*.