

SIMULASI PENYEBARAN BANJIR MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA*

SIMULATION OF FLOOD DISTRIBUTION USING CELLULAR AUTOMATA

¹Zurratul Ikhsan, ²Budhi Irawan, ³Purba Daru Kusuma

^{1,2,3}Program Studi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹zikhsan0424@gmail.com, ²budhiirawan@telkomuniversity.ac.id, ³purbodaru@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang sering mengalami bencana alam, seperti gempa bumi, banjir, tanah longsor, kekeringan, gunung meletus dan lain-lain. Bencana banjir yang belakangan ini sering terjadi di Bandung, tepatnya terletak di daerah Pagarsih. Dampak yang ditimbulkan dari bencana banjir sangat beragam, mulai dari kerugian material, kerusakan lingkungan, bahkan korban jiwa. Penelitian ini berfokus pada bencana banjir yang sering terjadi di Indonesia khususnya pada musim hujan, yaitu dengan meneliti simulasi penyebaran banjir dengan metode Cellular Automata yang merupakan pemodelan sistematis dari sistem fisik dimana ruang dan waktu sistem yang digunakan sebagai diskrit dan jumlah kisi terdiri dari satu set nilai diskrit yang terbatas. Selain menggunakan metode tersebut dibutuhkan parameter-parameter untuk mendukung penelitian ini seperti curah hujan, lahan, daya serap dan debit air. Berdasarkan hasil pengujian telah dilakukan pembuatan simulasi penyebaran banjir menggunakan Cellular Automata yang dapat memprediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebarannya, sehingga Threshold yang paling mendekati pada rasio keadaan nyata adalah Threshold 0.4 dengan nilai rasio simulasi 19.5%, dimana mendekati nilai rasio keadaan nyata 19% yang memiliki selisih 0.5% dan model simulasi yang dibuat valid dengan tingkat kesalahan 0.0263%.

Kata kunci : Simulasi, Banjir, Automata Seluler

Abstract

Indonesia is a country that often experienced natural disasters, such as earthquakes, floods, landslides, droughts, volcanoes erupt and others. The recent floods that often occur in Bandung, precisely located in the area Pagarsih. The impact of the flood disaster is very diverse, ranging from material losses, environmental damage, and even casualties. This study focuses on the flood disasters that often occur in Indonesia especially in the rainy season, namely by examining the simulation of the spread of flood by Cellular Automata method which is a systematic modeling of the physical system where space and time system used as discrete and the number of lattice consists of a set of values discrete is limited. Besides using the method, it is needed parameters to support this research such as rainfall, land, absorption and water discharge. Based on the results of the test has been done making the simulation of the spread of flooding using Cellular Automata which can predict the ratio of the possibility of homes affected by floods and distribution patterns, so that the Threshold closest to the real state ratio is Threshold 0.4 with 19.5% simulation ratio value, which approaches the real state ratio 19% had 0.5% difference and simulated model made valid with error rate of 0.0263%..

Keywords : Simulation, Flood, Cellular Automata

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia terdapat banyak bencana alam salah satunya bencana banjir. Banjir bencana yang dapat mengakibatkan kerugian baik secara material maupun korban jiwa. Kali ini penulis mengambil contoh kasus bencana banjir yang terjadi di Bandung lebih tepatnya terletak di daerah Pagarsih. Pagarsih atau Jalan Pagarsih adalah sebuah nama jalan di Kota Bandung. Letaknya tak jauh dari pusat kota, atau kurang-lebih sekitar 1 kilometer dari Alun-alun Bandung. Kawasan ini masuk dalam dua area, kecamatan Astanaanyar, Bandung dan Kecamatan Bojongloa Kaler, Bandung. Pada daerah tersebut banyak menghabiskan kerugian terutama pada segi material yang diakibatkan terjadinya banjir. Dengan demikian penulis bermaksud melakukan penelitian simulasi penyebaran banjir di daerah Pagarsih.

Untuk melakukan simulasi penyebaran banjir di area Pagarsih dapat digunakan berbagai metode. Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan metode Cellular Automata. Penelitian ini akan mengacu pada beberapa parameter. Parameter yang akan digunakan ada lima yaitu curah hujan, debit air, lahan, dan daya serap karena parameter ini termasuk penyebab terjadinya banjir.

Prinsip dasar dari Cellular Automata adalah bahwa fungsi transisi lokal yang menentukan keadaan setiap sel individu pada langkah waktu tertentu harus didasarkan pada keadaan sel-sel di lingkungan terdekatnya pada langkah waktu sebelumnya atau bahkan langkah waktu sebelumnya[1]. Dengan menggunakan parameter curah hujan yang tinggi, debit air sungai yang meluap, lahan yang banyak ditebang dan daya serap air yang rendah membuat terjadinya banjir. Berdasarkan empat parameter penyebab banjir yang digunakan, dapat dilakukan penelitian simulasi penyebaran banjir menggunakan metode Cellular Automata sehingga dapat memprediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebaran.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah.

- a. Dapat membuat simulasi penyebaran banjir menggunakan Automata Seluler.
- b. Dapat memprediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebaran.
- c. Mendapatkan *Threshold* yang sesuai atau mendekati dengan keadaan yang disimulasikan.
- d. Mendapatkan nilai rasio simulasi yang sesuai atau mendekati dengan nilai rasio keadaan nyata.

1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa identifikasi Masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana membuat simulasi penyebaran banjir menggunakan Automata Seluler ?
- b. Bagaimana hasil yang diharapkan dari simulasi penyebaran banjir menggunakan Automata Seluler ?
- c. Bagaimana mencari *Threshold* yang sesuai atau mendekati untuk keadaan yang disimulasikan ?
- d. Bagaimana mencari nilai rasio simulasi yang sesuai atau mendekati nilai rasio keadaan nyata ?

2. Dasar Teori

Bagian ini berisi tentang dasar teori yang digunakan untuk membuat simulasi penyebaran banjir menggunakan Automata Seluler. Adapun teori-teori yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.1 Banjir

Banjir dapat berupa genangan pada lahan yang biasanya kering seperti pada lahan pertanian, permukiman, pusat kota dan banjir dapat juga terjadi karena volume air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran drainase[2]. Banyak faktor penyebab banjir yang terjadi seperti curah hujan yang tinggi, perubahan lahan yang gersang, perubahan debit air sungai yang meluap, dan daya serap yang rendah karena lahan yang di pangkas habis mengurangi penyerapan[3][4].

2.2 Simulasi

Simulasi adalah salah satu alat analisis paling kuat yang tersedia bagi mereka yang bertanggung jawab untuk desain dan operasi proses atau sistem yang kompleks[5]. Kelebihan dari simulasi adalah relatif mudah, fleksibel, mudah dikembangkan, analisa *what if*, tidak mengaruhi dunia nyata dan memungkinkan *time compression* sedangkan kekurangannya situasi yang kompleks umumnya sangat mahal, tidak menghasilkan solusi yang optimal dan harus membangkitkan kondisi dan batasan yang hendak dicapai[6]. Pada simulasi memiliki klasifikasi model seperti model statis dan dinamis, deterministik dan stokastik, kontinu dan diskrit[7].

2.3 Cellular Automata

Cellular Automata adalah sistem dinamis diskrit yang terdiri dari jaringan sel yang mengubah statusnya bergantung pada negara tetangganya, sesuai dengan aturan pembaruan lokal[8]. *Cellular Automata* memiliki bentuk kisi persegi panjang, segitiga dan heksagonal yang umum digunakan bentuk kisi yang pada umumnya digunakan dua lingkungan yaitu Moore dan von Neumann dikarenakan sel tetangga yang berdekatan bentuk kisi persegi panjang pada radius satu dengan empat sel berdekatan dan pada radius dua dengan delapan sel berdekatan[9]. Pada kelasnya *Cellular Automata* memiliki kelas perilaku dasar dapat dicirikan secara empiris yaitu kelas satu yang mengarah pada keadan homogen, kelas dua mengarah ke struktur stabil, kelas tiga mengarah pada pola kacau dan kelas empat mengarah ke struktur kompleks[10]. Tahapan pembuatan simulasi penyebaran banjir menggunakan *Cellular Automata*.

- a. Data yang disiapkan berupa data faktor penyebab banjir yang terjadi di lokasi yang akan disimulasikan bobot dan rentang faktor penyebaran banjir, jumlah rumah yang ada disekitar daerah pengamatan dan jumlah rumah yang terkena banjir disekitar daerah pengamatan.

- b. Pembobotan faktor, digunakan untuk melihat pengaruh dari setiap faktor terhadap penyebaran banjir. Langkah pertama adalah dengan melakukan pembobotan dari setiap faktor dengan rentang tertentu langkah ini merupakan penentuan nilai b yang merupakan rentang dari setiap faktor yang akan dilakukan input acak pada program. Kemudian membobotkan presentase pengaruh dari seluruh faktor terhadap penyebaran banjir langkah ini merupakan penentuan nilai w [11].
- c. Menghitung dan mencari nilai sel, setelah mendapatkan nilai b dan w . Perhitungan nilai sel ini terhadap Cellular Automata dengan menggunakan rumus berikut.

$$R = w_n * b_n \quad (1)$$

Keterangan : R = Nilai Sel w_n = Bobot Faktor b_n = Rentang Faktor

Perhitungan nilai sel yang digunakan untuk mencari nilai sel pada $R[i, j]$ sehingga mendapatkan apakah status sel tersebut terkena banjir atau tidak.

$$H \begin{cases} R > T; 1; \\ 0; \end{cases} \quad (2)$$

- d. Menghitung rasio, setelah mendapatkan perhitungan dan mencari nilai sel maka tahap selanjutnya menghitung rasio keadaan nyata yang terjadi pada daerah yang diamati dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Rasio} : \frac{\text{jumlah rumah yang terkena banjir}}{\text{jumlah seluruh rumah yang diamati}} \times 100\% \quad (3)$$

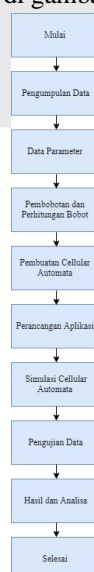
- e. Mencari nilai rasio simulasi terdekat, pada tahap ini melakukan percobaan sebanyak 10 kali untuk masing-masing Threshold untuk mendapatkan nilai sampling berupa nilai rasio simulasi yang mendekati dengan nilai rasio keadaan nyata[11]. Setelah dilakukan percobaan 10 kali akan dirata-ratakan seluruh percobaan tersebut.
- f. Menghitung tingkat kesalahan, suatu model simulasi dapat dinyatakan valid jika tingkat kesalahan yang dihasilkan kurang dari 5% ($E < 5\%$) untuk mendapatkan tingkat kesalahan dibutuhkan nilai rasio simulasi yaitu \bar{S} dan nilai rasio keadaan nyata yaitu \bar{A} setelah didapatkan kedua nilai tersebut dapat dicari tingkat kesalahan untuk membuktikan validitas model[12].

$$\text{Error Rate (E\%)} = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (4)$$

3 Perancangan

3.1 Gambaran Umum Sistem

Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab banjir di suatu daerah yang diamati yang berlokasi di Bandung lebih tepatnya daerah Pagarsih. Penyebab banjir yang didapatkan berupa penyebab atau parameter curah hujan, debit air, lahan dan daya serap. Pemetaan penyebaran banjir menggunakan metode Cellular Automata untuk mempermudah perhitungan status penyebaran dan proses penyebaran. Adapun Gambaran umum sistem ini dapat dilihat pada diagram alir di gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Aliran Sistem

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan mengacu pada sumber[13] dan mengunjungi Posko Kendali Banjir Citepus yang berada di Bandung lebih tepatnya jalan Pagarsih dan Stasiun Geofisika Bandung yang berada di Bandung lebih tepatnya jalan Cemara. Dari hasil observasi lapangan melakukan wawancara dari dua pihak yang dikunjungi mendapatkan data sebagai berikut.

a. Pagarsih atau Jalan Pagarsih adalah sebuah nama jalan di Kota Bandung. Letaknya tak jauh dari pusat kota, atau kurang-lebih sekitar 1 kilometer dari Alun-alun Bandung. Kawasan ini masuk dalam dua area, kecamatan Astanaanyar, Bandung dan Kecamatan Bojongloa Kaler, Bandung. Banjir yang terjadi di daerah tersebut memiliki dampak rumah yang terendam 216 rumah dari 1168 rumah terdiri dari 4 RW pada bulan Oktober tahun 2016. Rumah yang terendam air itu bertahan selama 1 sampai 2 jam.

b. Faktor penyebab banjir yang mempengaruhi pada bulan Oktober tahun 2016 di Pagarsih dengan persentase pengaruh yaitu curah hujan 50%, debit air 10%, lahan 20% dan daya serap 20%.

Terdapat parameter curah hujan, ketinggian lahan, volume air sungai, sumbatan sampah dan penyerapan tanah. Dari tiap parameter ini berperan penyebab terjadinya banjir. Berhubungan dengan data parameter yang akan di *input* pada penelitian ini menggunakan model simulasi stokastik. Untuk itu parameter yang akan di *input* sebagai pengujian ini memiliki data yang rasio tiap parameternya dengan range 0 sampai 1.

3.3 Data Parameter

Parameter yang akan digunkan pada simulasi penyebaran banjir adalah faktor penyebab banjir. Berdasarkan data yang telah diperoleh dari Posko Kendali Banjir dan Stasiun Geofisika Bandung didapatkan nilai pengaruh masing-masing faktor terhadap penyebaran banjir di Pagarsih. Nilai pengaruh ini merupakan nilai w_n yang akan menjadi dari setiap parameter. Parameter terhadap penyebaran banjir merupakan presentase pengaruh setiap faktor, yaitu : curah hujan 50%, debit air 10%, lahan 20% dan daya serap 20%.

3.4 Pembobotan dan Perhitungan Bobot

Untuk mengetahui nilai suatu sel dalam penyebaran banjir, nilai R harus dihitung dengan mengalikan bobot faktor dan rentang faktor. Sebelum itu, urutkan w_n dan b_n sesuai dengan banyaknya factor sebagai parameter. Berikut adalah urutan nilai bobot parameter w_1 sampai dengan w_4 :

Tabel 3.1 Nilai Bobot Parameter Penyebaran

w_n	Parameter	Nilai w
w_1	Curah Hujan	0.5
w_2	Lahan	0.2
w_3	Daya Serap	0.2
w_4	Debit Air	0.1

Nilai w_n merupakan nilai yang ditetapkan sebagai bobot faktor sebagai parameter yang akan digunakan terhadap pengaruh penyebaran banjir yang diteliti. Setelah mengurutkan w_n sesuai dengan parameter, langkah selanjutnya adalah membuat urutan yang sama untuk nilai b_n :

Tabel 3.2 Nilai Rentang Faktor Penyebaran

b_n	Parameter	Nilai b
b_1	Curah Hujan	0 dan 1
b_2	Lahan	0 dan 1
b_3	Daya Serap	0 dan 1
b_4	Debit Air	0 dan 1

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

$$R = w_1 * b_1 + w_2 * b_2 + w_3 * b_3 + w_4 * b_4$$

$$R = 0.5 * 1 + 0.2 * 1 + 0.2 * 1 + 0.1 * 1$$

$$R = 1$$

Jika sudah mendapatkan nilai R 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.

$$H \begin{cases} V > T; 1; \\ 0; \end{cases}$$

Nilai status akan bernilai 1 atau terkena banjir jika, nilai R lebih besar dari nilai T atau nilai Threshold selain itu nilai H adalah 0 atau tidak terkena banjir. Jika dari contoh kasus yang sama seperti diatas nilai R = 1, dan diketahui Threshold adalah 0.22 Nilai $R > T$ dimana $1 > 0.22$ maka, nilai H adalah 1 atau terkena banjir.

Setelah melakukan perhitungan dan status terkena banjir atau tidak. Selanjutnya akan mencari perhitungan nilai rasio keadaan nyata dengan data yang telah dijelaskan pada sub bab 3.2 dimana jumlah rumah yang terkena banjir sebanyak 216 rumah dibagi dengan jumlah rumah keseluruhan sebanyak 1168 rumah. Dilakukan pada persamaan 3 sebagai berikut.

$$\text{Rasio} = \frac{216}{1168} \times 100\% = 19\%$$

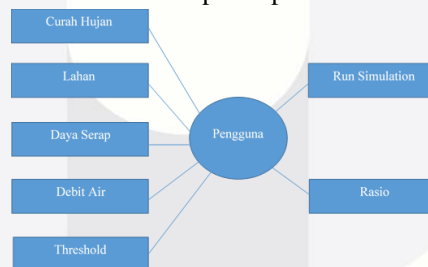
Hasil nilai rasio keadaan nyata rumah yang terkena banjir menunjukkan bahwa untuk mencari *Threshold* yang akurat harus sesuai atau mendekati nilai 19% dengan melakukan simulasi pada *Cellular Automata*. Rasio simulasi pada *Cellular Automata* akan dilakukan percobaan masing-masing *Threshold* sebanyak 10 kali yang akan dirata-ratakan untuk mendapatkan hasil akhir rasio simulasi yang mendekati nilai rasio keadaan nyata.

3.5 Pembuatan *Cellular Automata*

Pada *Cellular Automata* setiap satu sel memiliki nilai koordinat masing-masing. Nilai koordinat berperan sebagai indikator status penyebaran dan hasil perhitungan dari seluruh parameter yang berpengaruh terhadap penyebaran. Nilai koordinat awal yang akan diset dimulai dari tengah dan nilai sel tetangga sekitar akan melakukan penyebaran secara acak. Untuk waktu yang diset *time-step* 2 yang diasumsikan 2 jam pada sub bab 3.2 kemudian akan disimulasikan sebanyak 10 kali percobaan untuk mencari *Threshold* yang sesuai atau mendekati nilai rasio keadaan nyata. Percobaan 10 kali tersebut akan dirata-ratakan untuk mendapatkan hasil akhir. Pada gambar dibawah ini ditunjukkan bagaimana tampilan sel yang proses penyebarannya yang acak sesuai dengan parameter dan *Threshold* yang akan diuji dengan pola penyebarannya ke arah kiri, kanan, atas, bawah dan diagonal dapat dilihat pada gambar.

3.6 Perancangan Aplikasi

Pada perancangan aplikasi ini untuk mengetahui sistem aplikasi yang akan dirancang menggunakan *use case diagram*. *Use Case Diagram* dibuat guna lebih mengetahui proses dari suatu sistem. Dengan dibuatnya *use case diagram*, dapat diketahui proses apa saja yang terjadi pada aplikasi. Pada *use case diagram* di gambar 3.2 akan ditampilkan rencana menu-menu pada aplikasi.

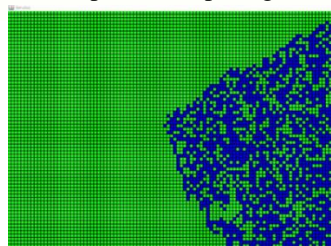


Gambar 3.2 *Use Case Diagram* Perancangan Aplikasi

4 Implementasi dan pengujian

4.1 Implementasi

Pada penelitian ini, model yang diusulkan diimplementasikan ke dalam program ditulis menggunakan bahasa java. Dengan demikian, terdapat parameter-parameter dan *Threshold* yang berpengaruh dalam pola penyebaran banjir. Salah satu hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola Hasil Simulasi

4.2 Skenario Pengujian

Pada skenario pengujian akan dilakukan simulasi dengan beberapa sampel data yang akan di input untuk menentukan prediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebaran. Skenario pengujian ini akan menguji setiap parameter yang digunakan curah hujan dengan nilai 0.5, lahan dengan nilai 0.2, daya serap dengan nilai 0.2, dan debit air dengan 0.1.

Untuk itu pada skenario pengujian ini penulis menentukan Threshold 0.1 sampai 0.9 sebagai pengujian. Supaya tercapainya Threshold yang mendekati dengan nilai rasio keadaan nyata yaitu 19% serta mendapatkan tingkat kesalahan. Dapat dilihat pada tabel skenario pengujiannya sebagai berikut.

Tabel 4.1 Skenario Pengujian 0.1 - 0.9

No.	Parameter	Data								
		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5	Skenario 6	Skenario 7	Skenario 8	Skenario 9
1.	Curah Hujan	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2.	Lahan	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3.	Daya Serap	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4.	Debit air	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<i>Threshold</i>	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

4.3 Pengujian

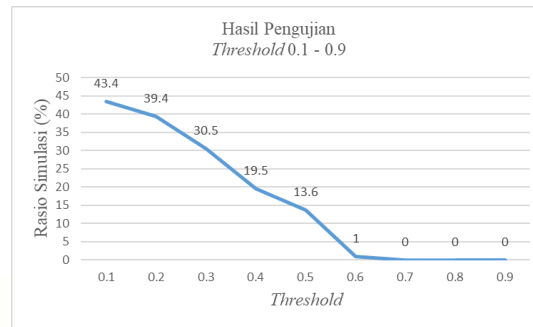
Dari skenario pengujian yang telah dilaksanakan didapatkan keluaran data untuk prediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebaran. Pengujian dilakukan dengan 10 kali percobaan. Setelah didapatkan keluaran data dari pengujian yang telah dilaksanakan, kemudian dicari presentase hasil prediksi kemungkinan rumah yang terkena banjir. Untuk mencari presentase tersebut, seluruh hasil data yang akan dirata-ratakan.

4.4 Hasil Pengujian

Pada sub bab 4.2 telah dijelaskan skenario pengujian yang dilakukan dengan hasil yang dipaparkan pada sub bab 4.3 dengan melakukan dari setiap skenario 10 kali percobaan. Dari hasil pengujian yang telah didapatkan dari pengujian tersebut dapat menganalisa yang ada pada tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Threshold* 0.1 - 0.9

<i>Threshold</i>	Rasio Simulasi (%)
0.1	43.4
0.2	39.4
0.3	30.5
0.4	19.5
0.5	13.6
0.6	1
0.7	0
0.8	0
0.9	0



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian *Threshold* 0.1 – 0.9

Grafik hasil pengujian *Threshold* 0.1 – 0.9 menunjukkan bahwa semakin besarnya nilai *threshold* maka rasio simulasi memprediksi kemungkinan rumah yang terkena banjir mengalami penurunan dengan nilai terbesar 43.5% dengan *threshold* 0.1 dan nilai terendah 0% dengan *threshold* 0.7, 0.8, 0.9. Untuk mendapatkan *threshold* yang mendekati dengan rasio keadaan nyata dengan nilai 19% pada sub bab 3.3 dapat dilihat pada gambar grafik 4.3 yaitu *threshold* 0.4 menunjukkan nilai rasio simulasi 19.5% yang memiliki selisih 0.5%. Kemudian untuk mengetahui validitas dari model simulasi yang telah dibuat dilakukan tingkat kesalahan dengan persamaan 4.

$$\text{Error Rate (E\%)} = \frac{|19.5 - 19|}{19} = 0.0263\%$$

Setelah dilakukan perhitungan tingkat kesalahan diperoleh nilai sebesar 0.0263%, berdasarkan peraturan validitas model, jika nilai tingkat kesalahan kurang dari sama dengan 5% maka, model yang telah dirancang tergolong valid.

5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

- Kesimpulan yang didapat dari penelitian simulasi penyebaran banjir menggunakan *Cellular Automata* adalah
- Berdasarkan hasil pengujian, telah dilakukan pembuatan simulasi penyebaran banjir menggunakan *Cellular Automata*.
 - Berdasarkan hasil pengujian, dapat memprediksi rasio kemungkinan rumah yang terkena banjir dan pola penyebaran.
 - Berdasarkan hasil pengujian, *Threshold* yang paling mendekati dengan rasio keadaan nyata adalah pada *Threshold* 0.4 dengan nilai rasio simulasi 19.5%
 - Berdasarkan hasil pengujian, rasio simulasi dengan nilai 19.5% sesuai atau mendekati rasio keadaannya nyata yaitu 19% dengan selisih 0.5% dan model simulasi yang dibuat valid dengan tingkat kesalahan sebesar 0.0263%.

Saran

Adapun saran yang dianjurkan untuk penelitian selanjutnya adalah.

- Dapat melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode lainnya agar dapat dibandingkan dengan metode *Cellular Automata*.
- Dapat melakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan parameter dan parameter yang berbeda.
- Dapat melakukan penelitian lebih lanjut mencari *threshold* yang lebih sesuai dan mendekati dengan nilai rasio keadaan nyata.

Daftar Pustaka:

- [1] J. L. Schiff, "Cellular Automata: A Discrete View of the World (Google eBook)," 2011.
- [2] A. Rosyidie, "Banjir : Fakta dan dampaknya, serta pengaruh dari perubahan guna lahan," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 24, no. 3, pp. 241–249, 2013.
- [3] Y. Retna, "siklus hidrologi kita dapat melihat bahwa volume air yang mengalir di permukaan Bumi dominan," pp. 7–48.
- [4] R. Rizkiah and K. Tikala, . "Kata Kunci : penyebab banjir, Kecamatan Tikala 105," 2014.
- [5] R. E. Shannon, "Introduction to simulation," *Proc. 24th Conf. Winter Simul.*, pp. 65–73, 1992.
- [6] J. Heizer and B. Render, *Operation Management (Flexible Edition)*. 2011.

- [7] A. M. Law, *Simulation modeling and analysis*, vol. 2. 1991.
- [8] E. Codd, "Cellular Automata," pp. 312–324, 1968.
- [9] S. Maerivoet and B. De Moor, "Cellular Automata Models of Road Traffic," vol. 22, pp. 2002–2006, 2005.
- [10] S. Wolfram, "Automata 1983," *Los Alamos Sci.*, vol. 9, no. Fall, pp. 411–437, 1983.
- [11] P. D. Kusuma, "Implementation of Pedestrian Dynamic," vol. 7, no. 3, pp. 65–70, 2016.
- [12] H. Lestari, "MODSIS_09." .

