

Pemodelan Dan Simulasi Penyebaran Penyakit Covid-19 Dengan Menggunakan Model Cellular Automata

Vira Makahinda¹, Gladly C. Rorimpandey², Cindy P. Munaiseche³

Program Studi Teknik Informatika UNIMA

Email: viramakahinda@gmail.com

Abstract—The covid-19 is a virus that is currently plaguing the world by a highly unexpected form of infection. The covid-19 virus infection itself has grown remarkably fast not only in Indonesia but worldwide. Even its spread can be spread quickly and people are vulnerable to the virus. Based on data obtained from the spread of Sitaro health services, the number of covid-19 cases in Sitaro district from April to June was 139 with 10 dead and 116 with a recovery from covid-19. In the case of covid-19, there is a dire need for cooperation from all good people of the general public, health and government efforts to be together-together prevent further spread of covid-19 in our area. At current research the author USES the cellular model in simulation making. The cellular automata model was first introduced by Jhon Von Neuman and Stain Slaw Marchin Ulam in 1948 with the cellular space name that was a simple model for studying the behavior of a large complex system and learning biological processes. Cellular automata in this study was also used to predict the covid-19 spread spread in the coming month.

Key word—Cellular Automata, simulation, Virus Covid-19

Abstrak— Covid-19 merupakan sebuah virus yang saat ini sedang menggemparkan dunia dengan cara penularannya yang sangat tidak terduga. Penularan virus Covid-19 itu sendiri sudah berkembang sangat pesat bukan hanya di Indonesia namun di seluruh dunia. Penyebarannya pun dapat di katakana sangat cepat dan orang - orang sangat rentan terjangkit virus tersebut. Berdasarkan data yang diperoleh dari sebaran Dinas Kesehatan SITARO jumlah kasus Covid-19 di Kabupaten SITARO dari bulan april hingga - juni yaitu 139 penderita 10 diantaranya meninggal serta 116 sudah dinyatakan sembuh dari Covid-19. Dari kasus Covid-19 yang telah terjadi, sangat diperlukannya kerja sama dari semua pihak baik dari masyarakat umum, tenaga kesehatan dan pemerintah untuk dapat bersama – sama mencegah lebih lanjut penyebaran Covid-19 di daerah kita. Pada penelitian saat ini penulis menggunakan model Cellular Automata dalam pembuatan simulasi. Model Cellular Automata merupakan pemodelan sederhana yang pertama kali diperkenalkan oleh Jhon Von Neuman dan Stain Slaw Marchin Ulam pada tahun 1948 dengan nama cellular space yang merupakan model sederhana untuk mempelajari perilaku suatu sistem besar yang kompleks dan mempelajari proses biologis. Cellular Automata pada penelitian ini pun dipakai untuk dapat memprediksi perkembangan penyebaran Covid-19 di bulan yang akan datang. Hasil yang akan di peroleh yaitu suatu sistem yang dapat memberikan informasi mengenai perkembangan kasus virus Covid-19 pada 10 Kecamatan yang terdapat di Kabupaten Kepulauan Sitaro berdasarkan data yang di dapat.

Kata kunci—Cellular Automata, simulasi, Virus Covid-19

I. PENDAHULUAN

Perkembangan virus Covid-19 yang tiap harinya tidak terduga membuat masyarakat dan pemerintah kebingungan untuk menanggulangi penyebaran penyakit tersebut. Segala macam cara telah dilakukan pemerintah untuk mencegah penyebaran Covid-19 makin meluas dari melarang berkerumun, rajin mencuci tangan dan memakai masker serta pencegahan dari bagian Kesehatan yaitu dilakukannya vaksinasi bagi seluruh masyarakat yang tentu saja segala upaya ini membuahkan hasil untuk mengurangi penyebaran covid-19. Kepulauan Siau Tagulandang Biaro merupakan salah satu daerah yang terpapar virus Covid-19.

Berdasarkan data yang diperoleh dari sebaran Dinas Kesehatan Siau Tagulandang Biaro jumlah kasus Covid-19 di Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro yaitu 139 penderita 10 diantaranya meninggal serta 116 sudah dinyatakan sembuh dari Covid-19

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis akan membuat sebuah simulasi mengenai penyebaran Covid-19 yang bertujuan bukan lain yaitu memanfaatkan teknologi

yang ada dalam masa pandemi saat ini untuk memudahkan tiap pihak baik pemberi maupun penerima informasi mengenai perkembangan penyebaran Covid-19 di daerah sekitar kita.

Model *Cellular Automata* (CA) merupakan pemodelan sederhana yang pertama kali diperkenalkan oleh Jhon Von Neuman dan Stain Slaw Marchin Ulam pada tahun 1948 dengan nama cellular space yang merupakan model sederhana untuk mempelajari perilaku suatu sistem besar yang kompleks dan mempelajari proses biologis untuk mempelajari penyebaran secara bertahap terhadap cell-cell yang ada.

Berdasarkan dari hasil data yang telah didapatkan dari Dinas Kesehatan Kabupaten kepulauan Siau Tagulandang Biaro, maka penulis akan merancang suatu model simulasi penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model *Cellular Automata* di Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro. Hasil yang akan di peroleh yaitu suatu sistem yang dapat memberikan

informasi mengenai perkembangan kasus virus Covid-19 pada 10 Kecamatan yang terdapat di Kabupaten Kepulauan Sitaro berdasarkan data yang di dapat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pemodelan dan Simulasi

Simulasi merupakan suatu Teknik menirukan kondisi, karakter, atau sifat berdasarkan suatu lingkungan nyata ke dalam sebuah model. Adapun istilah pemodelan dan simulasi sering dikaitkan juga dengan memanfaatkan sumber daya komputer untuk menggambarkan system berdasarkan dunia nyata ke dalam sebuah bentuk logika, matematika atau statistik

Adapun model simulasi dibagi menjadi 3 yaitu, Model simulasi statis dan model simulasi dinamis, Model simulasi deterministik dan model simulasi stokastik serta Model simulasi kontinu dan model simulasi. Adapun beberapa keuntungan menggunakan simulasi yaitu, memiliki fleksibilitas tinggi saat memodelkan sistem yang kompleks, sehingga meningkatkan efektivitas model simulasi, memudahkan dalam melakukan perbandingan dengan alternative – alternative lain., kondisi pada saat melakukan eksperimen dapat dikontrol serta sistem dapat dipelajari dalam jangka waktu yang lama, serta dapat mengontrol skala waktu [1].

B. Virus Covid-19

Virus Covid-19 adalah sekelompok besar virus yang menyebabkan penyakit pada manusia. Pada manusia, biasanya menyebabkan infeksi saluran pernafasan, dari flu biasa hingga penyakit serius seperti *Middle East Respiratory Syndrome (MERS)* dan *Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS)*. Sejak mewabah di Wuhan, Tiongkok pada Desember 2019, telah ditemukan jenis baru virus corona pada manusia, yang kemudian dinamai *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-COV2)* dan menyebabkan penyakit *Coronavirus 2019 (COVID - 19)*.

Cara utama penularan penyakit ini adalah melalui tetesan kecil yang dikeluarkan saat batuk atau bersin. Saat ini, Organisasi Kesehatan Dunia menilai risiko penyebaran virus ke orang tanpa gejala itu kecil. Namun, banyak orang yang terdiagnosis Covid-19 hanya akan mengalami gejala ringan, seperti batuk ringan, atau tidak ada rasa tidak nyaman, yang mungkin terjadi pada tahap awal penyakit. Sejauh ini, para ahli masih menyelidiki untuk menentukan penyebaran atau masa inkubasi Covid-19 [2].

C. Cellular Automata (CA)

Cellular Automata (CA) merupakan model sistem fisik, di mana ruang dan waktu bersifat diskrit, dan interaksi yang

terjadi bersifat lokal. Selain strukturnya yang sederhana, CA juga dapat digunakan untuk menampilkan fenomena kompleks yang dinamis, dan dapat menjelaskan berbagai proses dan sistem fisik. Model CA terdiri dari array satu dimensi, dua dimensi, atau n dimensi, yang terdiri dari sel-sel seragam dan tetap. Model CA yang sering digunakan adalah model satu dimensi dan model dua dimensi, karena model CA dengan dimensi yang lebih tinggi sulit untuk divisualisasikan [3].

Unsur-unsur yang membentuk automata seluler yaitu Geometri CA terdiri dari ukuran CA dan geometri setiap unit penyusun, State Set State Set adalah sekelompok negara bagian atau negara bagian yang dimiliki oleh setiap unit CA. Status dapat berupa angka atau karakteristik. Neighbourhood adalah tetangga antara unit di CA, dan tetangga memengaruhi status unit di CA. Biasanya tetangga satu unit menjangkau unit sekitarnya [3].

D. ArcGis

ArcGis merupakan suatu perangkat lunak yang memberikan solusi dalam merancang suatu aplikasi sistem Informasi yang berbentuk geografis (SIG) yang integral. Dalam software ArcGis menyediakan beberapa fitur aplikasi sistem informasi geografis yang memiliki fungsi-fungsi berbeda. Adapun fungsi – fungsi yang terdapat dalam ArcGis yaitu ArcView, ArcMap yang saat ini penulis gunakan dalam merancang system yang dibuat, ArcCatalog serta ArcReader [4].

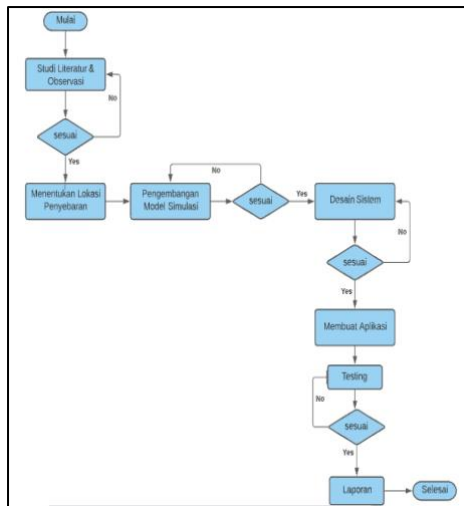
E. Shapefile ArcView

Shapefile ArcView adalah salah satu fitur yang terdapat dalam ArcGis shapefile (shp) merupakan format data dari Shapefile ArcView, yang bertujuan untuk menyimpan suatu lokasi geometrik serta informasi berupa atribut dari suatu fitur geografis [4].

III. METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Dalam membuat suatu penelitian dibutuhkan rancangan penelitian agar penelitian yang dilakukan dapat dilakukan dengan baik. Flowchart Rancangan Penelitian dapat dilihat pada Gbr.1.



Gbr. 1 Flowchart Rancangan Penelitian

- 1) *Study literatur atau Obserfasi*: Dalam tahap ini, akan dilakukan analisis kebutuhan sistem dengan memperoleh informasi mengenai topik dengan melakukan proses wawancara serta studi literasi dengan masyarakat ataupun dari study pustaka yang ada untuk mengumpulkan data yang perlukan dalam pengembangan sistem.
- 2) *Menentukan lokasi penyebaran* : menentukan lokasi mana saja yang menjadi tempat penyebaran penyakit tersebut, serta mengidentifikasi lokasi tersebut berdasarkan data yang telah didapat.
- 3) *Pengembangan model simulasi* : pengembangan model simulasi yang akan digunakan untuk melihat perubahan perkembangan penyakit yang disimulasikan secara bertahap pada tiap daerah dengan menggunakan model yang ada yaitu model *Cellular Automata*.
- 4) *Desain system*: mendesain sistem yang akan dibuat berdasarkan data-data yang telah kita peroleh. Tahap ini sangat membantu dalam menentukan perangkat keras dan persyaratan sistem serta membantu dalam mendefinisikan rancangan sistem secara menyeluruh.
- 5) *Membuat aplikasi* : Dalam tahap ini, sistem dikembangkan dalam suatu program sederhana, yang akan terintegrasi pada tahap selanjutnya. Pada tahap ini setiap unit dikembangkan serta diuji untuk melihat fungsionalitas dari sistem yang dibangun.
- 6) *Testing*: Setelah melakukan pengembangan secara keseluruhan pada tahap implementasi, berikutnya dalam tahap ini unit tersebut kemudian akan diintegrasikan ke dalam sistem setelah pengujian pada masing – masing unit telah dilakukan. Berikutnya seluruh sistem yang telah diintegrasikan

akan diuji untuk mengecek setiap kegagalan maupun kesalahan yang ada.

- 7) *Laporan* : Pada tahap terakhir ini, akan dibuat laporan hasil dari sistem yang telah dibuat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Studi literatur atau Obserfasi

Data yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu data Zona resiko Covid-19 Kab.Kepl. SITARO per Kelurahan per 10 mei 2021 dari Dinas Kesehatan Kab.Kepl. SITARO. Selanjutnya penulis merangkum data yang ada untuk digunakan pada proses pembuatan simulasi. Pada Table 2 merupakan table yang berisikan data-data yang akan digunakan.

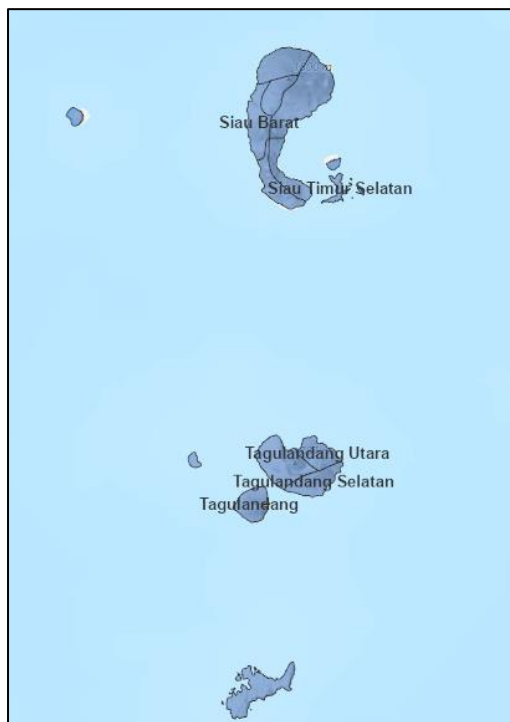
TABEL. 1 ZONA RESIKO COVID-19 KABUPATEN KEPULAUAN SIAU TAGULANDANG BIARO PER BULAN 10- MEI 2021

Kecamatan	Positif	Sembuh	Masih dirawat	Meninggal
Siau Timur	67	64	0	3
Siau Timur selatan	12	10	0	2
Siau Barat	16	16	0	0
Siau Barat Utara	4	3	0	1
Siau Barat Selatan	1	1	0	0
Siau Tengah	5	5	0	0
Tagulandang	39	35	0	4
Tagulandang Selatan	7	6	0	1
Tagulandang Utara	3	2	0	1
Biaro	0	0	0	0

B. Menentukan Lokasi Penyebaran

Lokasi penyebaran merupakan peta yang nantinya akan ditampilkan ketika akan menjalankan simulasi. Untuk lokasinya sendiri sistem akan menampilkan peta lokasi penyebaran meliputi kecamatan Siau Timur, Siau Timur Selatan, Siau Barat, Siau Barat Utara, Siau Barat Selatan, Siau Tengah, Tagulandang, Tagulandang Selatan,

Tagulandang Utara dan Biaro per bulan Mei 2021. Pada Gbr. 2 dibawah ini, merupakan tampilan peta lokasi penyebaran pada saat menjalankan simulasi pada sistem:



Gbr. 2 Lokasi Penyebaran

C. Pengembangan Model Simulasi

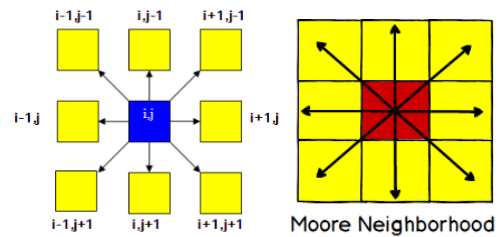
1. Penjelasan Cellular Automata

a) Cellular Automata

Berdasarkan dari pola suatu penyebaran penyakit Covid-19 yaitu menyebar dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Model Cellular Automata merupakan suatu model yang cara kerjanya yaitu dengan prinsip adalah ketegangan, maka tentu saja hal pertama yang harus ditentukan yaitu titik awal atau pusat dari suatu penyebaran penyakit tersebut.

Kemudian selanjutnya memprediksi area sekitar yaitu 8 tetangganya yang dekat dengan pusat penyebaran berpotensi juga dalam penyebaran penyakit Covid-19. Untuk itu agar dapat mengetahui areah mana saja yang akan menerima penyebaran selanjutnya, maka dalam Model CA Moore Neighborhood nilai terbesar yaitu nilai yang akan menerimanya.

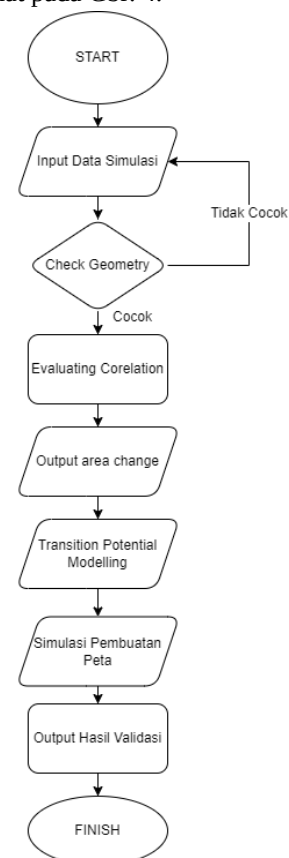
Gambaran representasi dari model CA Moore Neighborhood 2dimensi dengan ukuran 3x3 dapat dilihat pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Bentuk Cellular Automata (Moore Neighborhood) 3x3

b) Hasil Pengembangan Model Simulasi

Adapun alur pemrosesan data pada simulasi cellular automata dapat dilihat pada Gbr. 4.

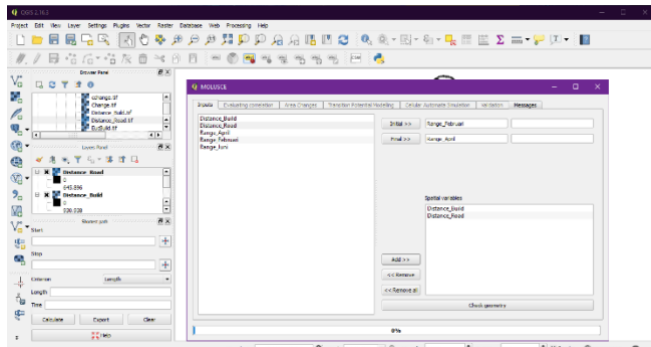


Gbr. 4 Alur Pemrosesan Data

Pembuatan simulasi untuk memprediksi perubahan penyebaran pada bulan tertentu, dengan menggunakan beberapa factor pendukung yaitu Road, Distance dan tentu saja membutuhkan data perkembangan penyebaran dibulan-bulan sebelumnya. Pada penelitian ini dikarenakan membutuhkan data yang lengkap maka untuk penyebaran dibulan sebelumnya, penulis menggunakan bulan tertentu yang memiliki factor pendukung yang sama, yaitu menggunakan data perkembangan bulan Februari dan April, serta Bulan Juni sebagai pembanding dari hasil prediksi kedua bulan tersebut.

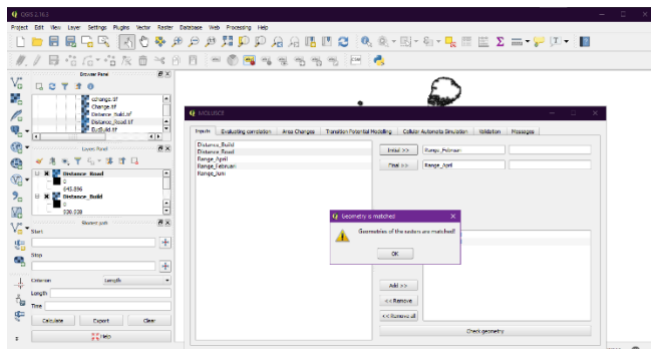
Pada penelitian ini penulis menggunakan Qgis 2.16 Molusce untuk melakukan prediksi penyebaran penyakit Covid-19.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk melihat hasil prediksi perubahan penyebaran pada bulan Juni, pembandingnya yaitu dengan data penyebaran bulan Juni yang ada, data yang di butuhkan yaitu data raster, yang kemudian hasilnya jadi data pembanding. Adapun tahapanya Penginputan Data Simulasi dapat dilihat pada Gbr.5.



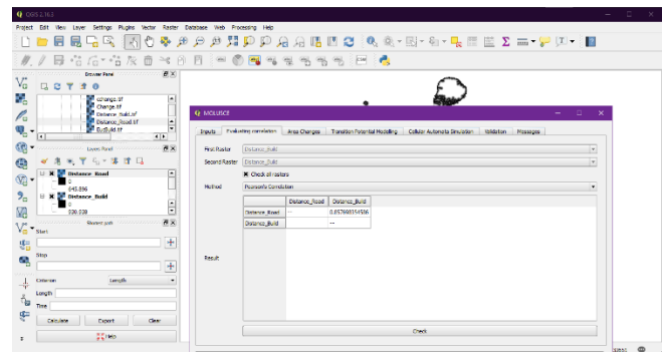
Gbr. 5 Penginputan Data Simulasi

Pada Gbr. 5 untuk sampai pada tahapan cellular automata simulation pada tahapan awal ini kita diminta untuk menginput data raster(.tif) berupa data pesebaran bulan February (Range_February) yang menjadi data Initial lalu data pesebaran bulan April (Range_April) yang menjadi data Final. Pada proses penginputan ini diperlukan juga faktor pendukung pertumbuhan atau Spatial Variables yang berupa Distance_Build dan Distance_Road.



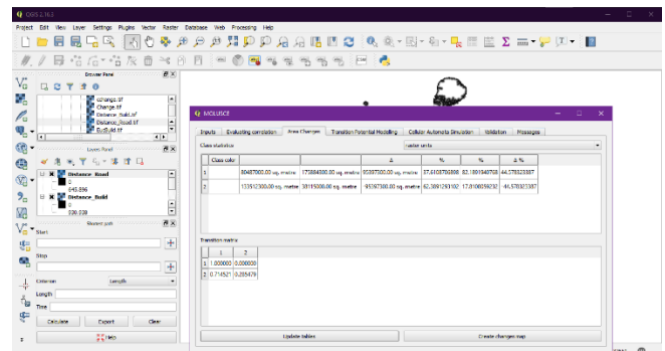
Gbr. 6 Check geometry

Pada Gbr. 6 jika semua yang dibutuhkan pada tahapan penginputan sudah dimasukan, maka kita dapat langsung melakukan *Check geometry*, proses input data sukses dengan pemberitahuan seperti pada gambar yang berarti semua input data memiliki resolusi spasial (cell size), letak koordinat yang sama.



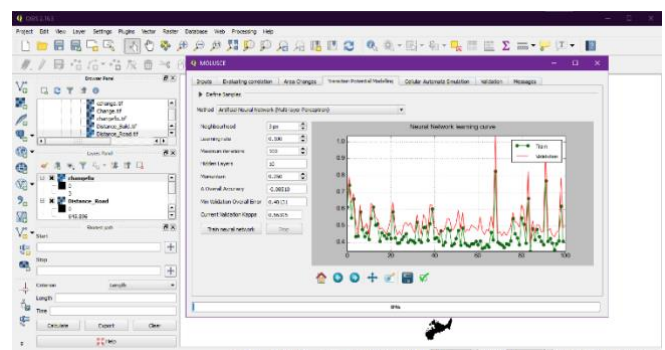
Gbr. 7 Evaluating correlation

Pada Gbr. 7 merupakan tahapan kedua yaitu menghitung hubungan antar *spatial variable*, pada penelitian ini penulis menggunakan metode *Pearson correlation*. *Pearson correlation* merupakan suatu metode yang umumnya dipakai untuk melakukan analisis korelasi yang bersifat parametrik, yaitu analisis yang dilakukan terhadap suatu variabel pengukuran yang menyajikan data-data yang bersifat kuantitatif.



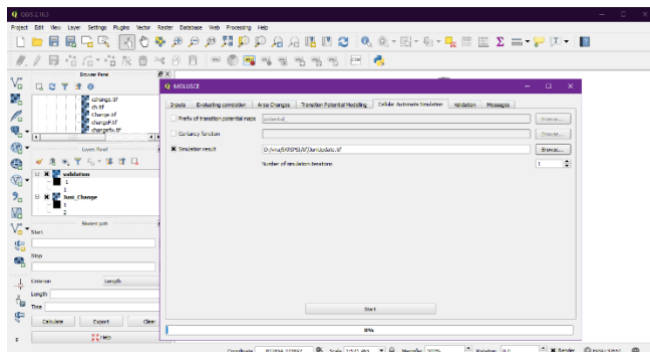
Gbr. 8 Area Changes

Gbr. 8 merupakan tahapan ketiga yang dimana merupakan proses untuk melihat *Area Changes* untuk mengetahui perubahan selanjutnya berdasarkan data yang diinput.



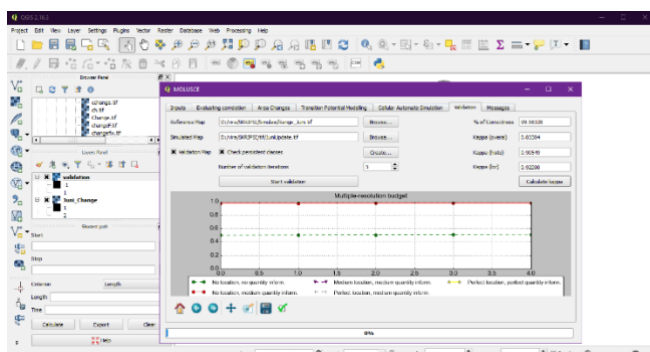
Gbr. 9 Transition Potential Modelling

Pada Gbr. 9 merupakan tahapan keempat yang merupakan proses membuat *Transition Potential Modelling*. Ini adalah suatu derajat yang mengindikasikan terjadinya perubahan kelas penyebaran berdasarkan input data yang telah dimasukan. Semakin tinggi jumlah iteration diasumsikan hasil akan semakin baik walaupun manambah waktu perosesan.



Gbr. 10 Cellular Automata Simulation

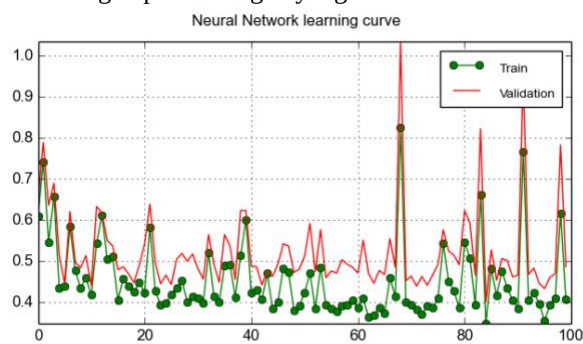
Pada Gbr. 10 merupakan tahapan pembuatan peta simulasi penyebaran pada bulan juni yang pada tahapan selanjutnya hasil dari tahapan ini akan di gunakan sebagai pembanding kedua peta di bulan yang sama.



Gbr. 11 Validation

Pada Gbr. 11 merupakan tahapan keenam yaitu tahapan validasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan peta simulasi penyebaran yang dibuat pada tahapan sebelumnya dengan peta referensi bulan Juni (*Range_juni*). Kita juga dapat mengetahui presentase akurasi dengan *Calculate Kappa* model prediksi yang kita buat mempunyai presentase akurasi sebesar 93,3%. Karena nilai *kappa* yang dihasilkan model terbilang sudah melewati standar, maka model tersebut bisa digunakan untuk memprediksi penyebaran dimasa depan.

Berikut merupakan hasil prediksi penyebaran penyakit Covid-19 dengan perbandingan yang ada:



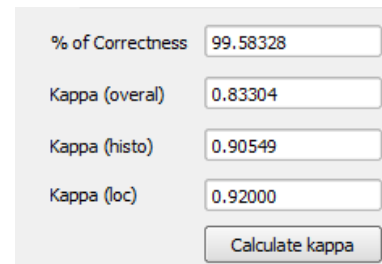
Gbr. 12 Neural Network Learning Curve

Gbr. 12 merupakan salah satu bentuk arsitektur jaringan ANN (Artificial Neural Network) multi layer preseption.



Gbr. 13 Multiple-reslution budget

Gbr. 13 merupakan hasil pengukuran tingkat kemajuan dari bagaimana proses perbandingan perubahan pada ke 2 peta simulasi. Gbr. 13 merupakan hasil dari tahapan keempat yang merupakan proses membuat Transition Potential Modelling pada tahapan sebelumnya dimana pada gambar di atas dapat di lihat bahwa garis merah merupakan data validasi dimana data ini digunakan untuk perbandingan dengan data prediksi dimana pada grafik di atas dapat dilihat dengan garis hijau yang merupakan data train. dapat dilihat bahwa hasil dari pengukuran perbandingan tersebut bernilai 99,58328% yang berarti hasil prediksi sangat mendekati kebenaran.



Gbr. 14 Nilai Kappa

Gbr. 14 merupakan ukuran untuk menyatakan seberapa konsistensi pengukuran yang dilakukan antara dua peta simulasi, atau seberapa konsistensi metode pengukuran yang pakai. Karena Nilai Kappa pada penelitian ini memiliki angka lebih dari 80% maka model bisa di pakai untuk mengukur prediksi.

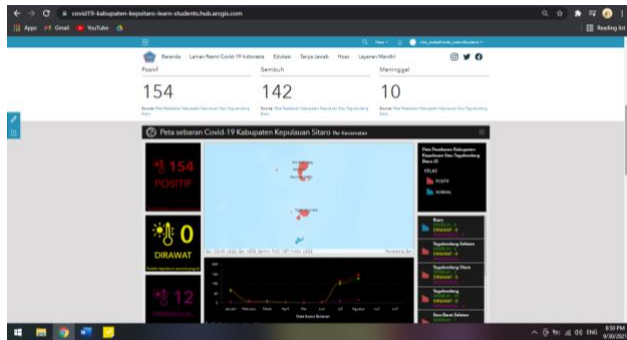
c) Hasil Tampilan Sistem

Pada tahapan ini setelah selesai melakukan perancangan system, maka selanjutnya dilakukan pengembangan system, berikut merupakan tampilan-tampilan system yang telah dibuat;

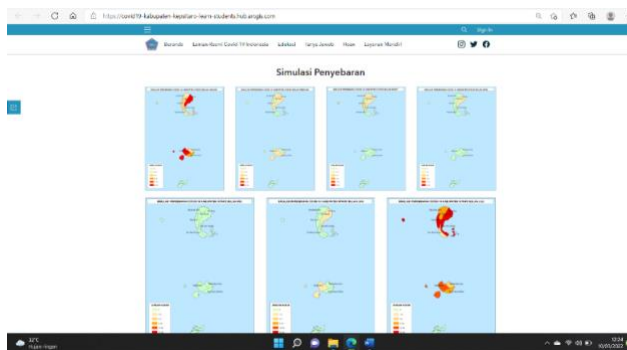


Gbr. 15 Tampilan Awal (header)

Halaman Gbr 15 merupakan halaman awal yang akan ditampilkan pada Sistem Informasi pantauan Covid-19 di Kab.Kepl.Sitaro

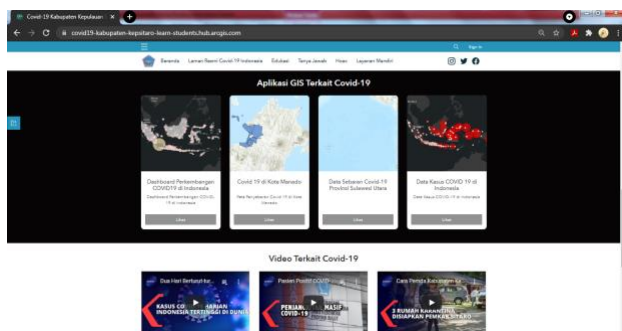


Gbr. 16 Tampilan Awal (semi-center)

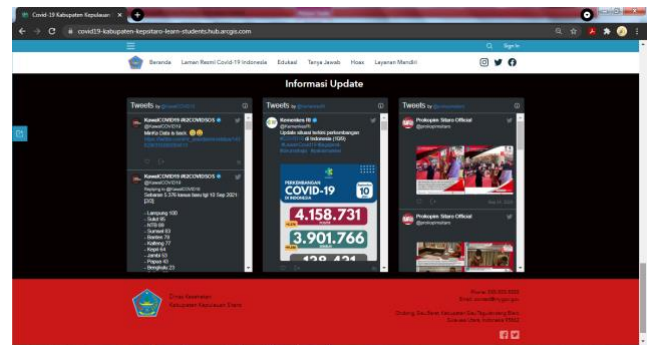


Gbr. 17 Tampilan Awal (semi-center 2)

Halaman Gbr 16 dan Gbr. 17 merupakan halaman dimana system akan menampilkan tampilan peta penyebaran penyakit Covid-19 di tiap kecamatan yang ada di Sitaro. Dilanjutkan dengan ditampilkannya penyebaran dari beberapa bulan sebelumnya. Saat pengguna menekan peta maka akan muncul Pop-up informasi penyebaran pada kecamatan yang di tekan, informasi berisi nama kecamatan, serta kasus.

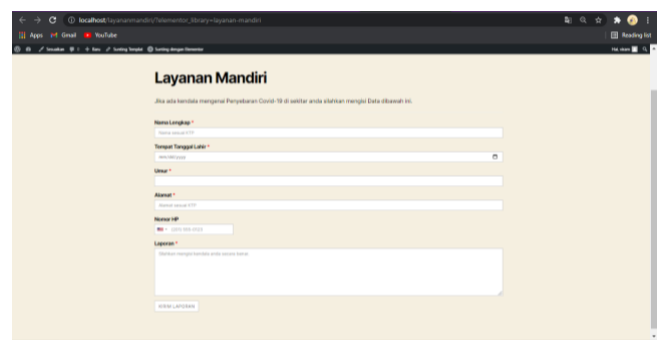


Gbr. 18 Tampilan Awal (center)



Gbr. 19 Tampilan Awal (footer)

Halaman Gbr. 18 tampilan Video terkait Covid-19, maka video yang membahas seputaran Covid-19 akan langsung diputar serta akan muncul beberapa informasi terupdate mengenai Covid-19, informasi yang akan muncul berupa informasi yang di ambil dari social media twitter.



Gbr. 20 Tampilan Layanan Mandiri

Halaman Gbr. 19 merupakan tampilan dimana pada terdapat pada menu Layanan Resmi Covid-19 Indonesia, maka penggunaan akan di arahkan menuju layanan resmi Covid-19 Indonesia yang merupakan salah satu layanan resmi yang mengenai pantauan Covid-19 yang ada di Indonesia.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan mengenai Pemodelan dan Simulasi penyebaran Penyakit Covid-19 Menggunakan Model Cellular Automata terdapat beberapa kesimpulan yang ada sebagai berikut:

- 1) Pengguna dapat melihat informasi mengenai seputaran perkembangan penyebaran Covid-19 di tiap kecamatan yang ada di Kabupaten Kepulauan Sitaro. Informasi akan di tampilkan pada Home screen system.
- 2) Pengembangan system informasi pantauan penyebaran penyakit Covid-19 di Kabupaten Kepulauan Sitaro dapat memberikan solusi mengenai kurangnya informasi yang kita miliki tentang Penyebaran Penyakit Covid-19 lebih khusus di Kabupaten Kepulauan Sitaro.
- 3) Menggunakan pemodelan Cellular Automata dalam mensimulasi penyebaran penyakit Covid-19 dapat

dikatakan mempermudah dalam mengetahui simulasi penyebaran penyakit secara bertahap.

- 4) Pengguna dapat memberikan laporan atau informasi bahkan keluhan secara langsung menggunakan Layanan Mandiri yang disediakan

UCAPAN TRIMA KASIH

Selesainya penelitian ini tentu saja tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih kepada Rektor Universitas Negeri Manado, Dekan Fakultas Teknik, serta seluruh Dosen-dosen Program Studi Teknik Informatika. Trimakasih juga penulis ucapkan kepada Dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Skripsi. Orang tua dan juga kepada teman-teman angkatan 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. L. Steven S, "Pemodelan dan Simulasi Arus Kendaraan Pada Persimpangan Bundaran Di kota Manado untuk Analisa Kepadatan Lalu Lintas dengan menggunakan model Cellular Automata," 2015.
- [2] P. Moengin, "Pemodelan dan analisis simulasi sistem: sebuah pendekatan praktis,," *BUKU DOSEN-2019*, 2021.
- [3] N. I. B. & K. P. D. Nadhifah, "Pemodelan dan Simulasi Penyebaran Penyakit Flu Burung di Suatu Kecamatan Wilayah Kabupaten Bandung dengan Cellular Automata," *eProceedings of Engineering*, 5(2), 2018.
- [4] S. K. J. S. M. & Ś. M. Szewrański, "Spatial data analysis with the use of ArcGIS and Tableau systems. In The Rise of big spatial data," *Springer, Cham*, pp. 337-349, 2017.
- [5] G. W, "Cellular automata as convolutional neural networks," *Physical Review E*, pp. 100(3),032402, 2019.
- [6] O. & S. S. Hasan, "Pemodelan dan Simulasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan Menggunakan Model Cellular Automata,," *Jurnal Teknik Informatika*, 10(1), 2017.