

Pemodelan dan Simulasi Komputer Terhadap Arus Lalu Lintas Menggunakan Cellular Automata

Brando Mathias Zusriadi
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Sam Ratulangi
Manado, Indonesia

Nathanael Michael Tuwaidan
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Sam Ratulangi
Manado, Indonesia

Savio Hendriko Palendeng
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Sam Ratulangi
Manado, Indonesia

Vincent Johanes Dareda
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Sam Ratulangi
Manado, Indonesia

Abstract— Sistem transportasi jalan raya merupakan elemen penting dalam kehidupan masyarakat karena berperan besar dalam mendukung pembangunan yang sedang berlangsung. Keberadaan jaringan lalu lintas yang baik mempermudah masyarakat dalam mengakses berbagai kegiatan ekonomi, yang pada gilirannya memperkuat perekonomian secara keseluruhan. Namun, dengan meningkatnya jumlah penduduk, kepadatan lalu lintas semakin meningkat, menyebabkan frekuensi kemacetan yang lebih tinggi. Kondisi lalu lintas yang kompleks serta tantangan dalam melakukan eksperimen langsung di lapangan membuat pencarian solusi menjadi lebih rumit. Salah satu pendekatan yang efektif adalah dengan menciptakan model simulasi lalu lintas. Melalui simulasi, teori dapat diuji dan dioptimalkan secara efisien sebelum diterapkan dalam situasi nyata. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan arus lalu lintas menggunakan cellular automata untuk mengeksplorasi hubungan antara tingkat kepadatan dan arus lalu lintas dalam simulasi arus lalu lintas.

Keywords—*Arus lalu lintas, Kepadatan, Model, Simulasi*

I. PENDAHULUAN

Aktivitas yang sering dilakukan manusia pada tiap hari yaitu adanya melakukan perjalanan dengan penggunaan transportasi. Kegunaan dari penggunaan transportasi yaitu untuk mempercepat perjalanan menuju tujuan masing-masing dari pengguna transportasi. Akan tetapi, semakin banyaknya para pengguna kendaraan di jalan sehingga menyebabkan kepadatan transportasi dan terjadinya kemacetan arus lalu lintas.

Dengan memanfaatkan cellular automata untuk mensimulasikan lalu lintas, kita dapat memperoleh pemahaman mendalam tentang berbagai permasalahan kemacetan arus lalu lintas. Cellular automata memungkinkan pemodelan pergerakan kendaraan dan interaksi antar sel jalan, sehingga dapat mereplikasi dan memprediksi pola lalu lintas yang kompleks seperti kemacetan, waktu perjalanan, dan efisiensi jalan. Simulasi ini menjadi alat yang sangat

bermanfaat bagi peneliti dan praktisi transportasi untuk merancang solusi efektif yang bertujuan mengurangi kemacetan, meningkatkan kapasitas jalan, dan mengoptimalkan sistem transportasi di Indonesia.

Lebih jauh, simulasi cellular automata bisa dimanfaatkan untuk menguji dan menilai berbagai skenario kebijakan transportasi yang diajukan. Misalnya, simulasi ini dapat digunakan untuk membandingkan dampak dari kebijakan seperti pembatasan kendaraan pada jalur tertentu. Melalui penggunaan simulasi cellular automata, kita dapat memperoleh wawasan yang lebih mendalam tentang konsekuensi dari tindakan tersebut sebelum menerapkannya secara nyata.

Beberapa studi ilmiah yang relevan dalam bidang simulasi lalu lintas dengan Cellular Automata (CA) dapat memperluas pemahaman kita mengenai aplikasinya. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Marina Irdyanti dan Dr. Irma Palupi, S.Si, M.Si. (2021) dengan judul "Simulasi Transportasi Arus Lalu Lintas Menggunakan Model Cellular Automata" membahas berbagai model CA yang diterapkan dalam simulasi arus lalu lintas. Penelitian ini memberikan wawasan tentang berbagai metode dan pendekatan yang dapat diterapkan dalam konteks simulasi arus lalu lintas.

Penerapan simulasi cellular automata dalam studi lalu lintas memungkinkan pengembangan strategi dan kebijakan transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Melalui simulasi ini, kita dapat meningkatkan efektivitas sistem transportasi dan mengurangi kemacetan dengan memprediksi dan menganalisis tingkat kepadatan lalu lintas secara akurat. Dengan demikian, kita dapat memahami dinamika kepadatan yang terjadi dan mengimplementasikan solusi yang tepat untuk mengelola arus lalu lintas.

II. STUDI KASUS

Dalam penelitian ini, fokus diberikan pada tantangan yang muncul dalam mengelola arus lalu lintas. Pentingnya penyelesaian masalah ini tergambar dari frekuensi kecelakaan lalu lintas yang sering terjadi, yang dipicu oleh interaksi yang kompleks antara kendaraan, pengemudi, dan kondisi lingkungan sekitarnya.

Oleh karena itu, penyelesaian masalah yang terkait dengan penerapan CA dalam model simulasi lalu lintas menjadi sangat vital dalam upaya menciptakan sistem lalu lintas yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan.

A. Cellular Automata

Cellular Automata merupakan model yang umumnya digunakan untuk mensimulasikan berbagai fenomena terkait aliran dan penyebaran. Secara umum, model ini menggambarkan distribusi atau pergerakan menggunakan apa yang disebut sel-sel, yang memiliki beberapa elemen khas:

1. Grid Spasial

Grid spasial merupakan kisi-kisi sel terpisah yang dapat memiliki ukuran yang seragam atau berbeda. Grid ini bisa dimensi 1, 2, atau bahkan 3 dimensi.

2. Kondisi (state)

Kondisi (state) merupakan status dari setiap sel yang mewakili keadaan atau karakteristik yang dimiliki oleh sel tersebut dalam grid. Contohnya, dalam simulasi arus lalu lintas dengan cellular automata, setiap sel dapat mewakili posisi diskrit yang ada di jalan. Oleh karena itu, keberadaan atau ketiadaan kendaraan pada setiap sel akan mempresentasikan status dari sel tersebut. Misalnya, dalam model dua dimensi, kita dapat mempertimbangkan hanya dengan dua kondisi, ada kendaraan atau tidak ada kendaraan.

3. Neighbours (tetangga)

Dalam konteks pemodelan arus lalu lintas, konsep neighbours merujuk pada sel-sel yang berdekatan dengan suatu sel tertentu. Dalam kerangka ini, setiap sel hanya memiliki dua neighbours yang relevan dan berpengaruh langsung pada dinamika arus lalu lintas di sekitarnya.

4. Behavior Rules (aturan perilaku)

Aturan Perilaku menjadi pedoman utama dalam menentukan perubahan status suatu sel dalam setiap iterasi waktu. Mereka menetapkan bagaimana keadaan sebuah sel akan berubah, dipengaruhi oleh keadaan sel tetangganya.

B. Rules Model

Dalam proses pembaruan cellular automata, terdapat serangkaian tindakan yang dilakukan oleh pengemudi dalam setiap pembaruan atau *update* langkah yang terjadi :

1. Akselerasi

Mobil akan meningkatkan kecepatannya sebesar 1 jika belum mencapai kecepatan maksimumnya.

2. Pengereman

Jika mobil berada pada jarak aman dari mobil di depannya, kecepatannya tidak akan berubah. Namun jika, mobil berada pada jarak yang tidak aman dari mobil didepannya, kecepatannya akan dikurangi 1

3. Probabilitas Pengacakan

Selama proses pembaruan, ada kemungkinan mobil akan mengalami perlambatan acak sebesar 1 sel.

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM SIMULASI

Pada pengujian sistem simulasi yang akan dilakukan terdapat perancangan sistem simulasi. Dalam hal ini perancangan sistem simulasi yang dikembangkan dapat dilihat pada gambar 1.

A. Parameter Input

Dalam pengujian simulasi arus lalu lintas terdapat beberapa parameter yang menjadi inputan di dalam simulasi yang diantaranya:

1. Length

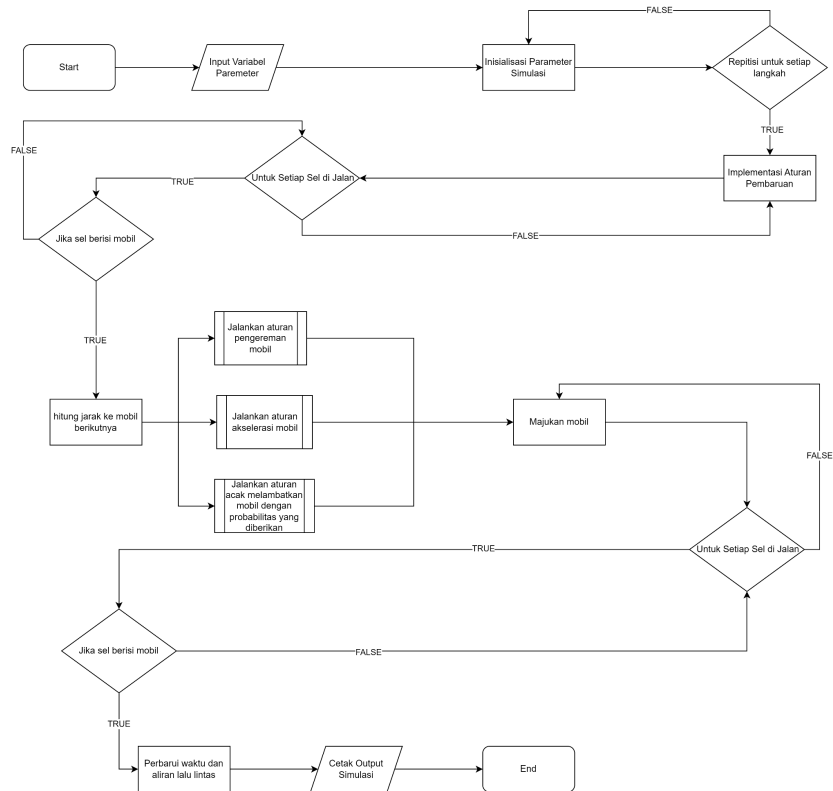
Penentuan panjang jalan yang diukur dalam jumlah sel dimana jalan yang panjang dapat membuat beberapa mobil.

2. Car_Density

Pada parameter ini ditentukan kepadatan mobil di jalan. Misalkan 0.2 bisa diartikan sebanyak 20% mobil sel pada jalan memiliki mobil, ataupun 0.5 yang diartikan 50% sel memiliki mobil.

3. Max_Speed

Dalam parameter ini ditentukan cepatnya suatu mobil yang dapat bergerak pada jalan. Dimana dimisalkan nilai 0.5 yang berarti mobil dapat bergerak 5 sel langkah pembaruan. Dalam hal ini nilai default dari Max_Speed sudah ditentukan yaitu 5.



Gambar 1. Flowchart Simulasi Arus Lalu Lintas

4. Slow_Down_prob

Pada parameter ini ditentukan kemungkinan suatu mobil melambat secara acak. Seperti nilai 0.5 yang dapat diartikan berarti ada kemungkinan sebanyak 50% bahwa mobil tersebut akan melambat secara acak.

B. Parameter Evaluasi

Berikut parameter-parameter yang menjadi output hasil akhir serta bahan kajian dari pengujian simulasi:

1. Density

Parameter ini memberikan visualisasi tingkat kepadatan kendaraan dalam setiap sel repetisi berdasarkan parameter-parameter input serta *Rules Model* yang telah dijalankan dan disimulasikan. Hasil tingkat kepadatan yang didapatkan nantinya akan divisualisasikan dalam bentuk grafik plot yaitu titik-titik berwarna merah.

2. Traffic Flow

Dalam parameter ini akan disimpan hasil dari banyaknya kendaraan yang telah berhasil melewati sel dalam setiap repetisi yang disimulasikan. Jumlah kendaraan yang telah berhasil melewati repetisi nantinya akan menjadi bahan kajian yang akan divisualisasikan dalam bentuk grafik plot yaitu garis tebal berwarna hitam.

IV. IMPLEMENTASI DAN HASIL PENGUJIAN

A. Pengujian Simulasi Arus Lalu Lintas Rendah dan Arus Lalu Lintas Tinggi

Pada bagian ini dilakukan pengujian terhadap sistem simulasi yang telah dikembangkan yang dimulai dari pemasukan input nilai parameter input hingga proses lainnya yang akan dilakukan melalui Google Collab dalam bahasa pemrograman Python.

1. Melakukan Pemasukan Parameter Input

Pada tahap pengujian pertama simulasi dilakukannya pemasukan input dengan nilai inputan tertentu. Pada gambar 2

penginputan untuk arus lalu lintas yang rendah. Sedangkan pada gambar 3 penginputan untuk arus lalu lintas yang tinggi. Kemudian, untuk inputan iterasi dijalankan sebanyak 20 langkah.

2. Output Hasil Pengujian Simulasi Arus Lalu Lintas Rendah dan Arus Lalu Lintas Tinggi

Selanjutnya output dari hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya dengan inputan yang berbeda pada tingkat kepadatannya. Bisa dilihat pada gambar 4 untuk arus lalu lintas rendah. Sedangkan pada gambar 5 untuk output arus lalu lintas yang tinggi.

B. Analisis Hasil Pengujian Simulasi Melalui Pengolahan Data Statistik

Pada bagian ini, dilakukan pengujian serta pengolahan data pada hasil simulasi. Metode pengolahan data statistik yang digunakan adalah metode statistik inferensial dan statistik deskriptif. Metode statistik inferensial digunakan untuk membuat kesimpulan atau generalisasi tentang populasi berdasarkan data. Dalam kasus simulasi lalu lintas, dilakukan pengujian apakah terdapat keterkaitan serta pengaruh signifikan antara kondisi arus lalu lintas dengan sampel tingkat kepadatan berbeda. Sedangkan, Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan data dari sebuah sampel atau populasi. Dalam kasus arus lalu lintas, disajikan rata-rata arus lalu lintas dengan berbagai tingkat kepadatan.

Dalam gambar 6 diperlihatkan rata-rata arus lalu lintas yang meningkat dengan seiring naiknya densitas yang mencapai hingga puncak yang terlihat pada densitas yang berkisar pada angka 0.1-0.2 mobil per lokasi. Selanjutnya, pada titik puncak arus rata-rata berada pada angka 0.4 angka mobil per langkah waktu. Saat mencapai puncaknya, terjadilah arus lalu lintas yang menurun seiring dengan kenaikan densitas. Dilihat secara keseluruhan arus lalu lintas mencapai maksimum pada densitas rendah hingga menengah terus menurun pada densitas yang lebih tinggi sehingga menunjukkan kemungkinan adanya kemacetan atau penurunan pergerakan mobil pada kondisi densitas yang tinggi

Pada gambar 6, diperlihatkan hasil dari pengujian metode statistik inferensial dalam bentuk grafik plot. Pengujian dilakukan pada populasi tingkat kepadatan berbeda, mulai dari tingkat kepadatan 0.01 hingga 0.079 dengan kenaikan 0.02. Lalu tingkat kepadatan 0.09 hingga 0.109 dengan kenaikan

0.002. Lalu tingkat kepadatan 0.15 hingga 1 dengan kenaikan 0.05. Kemudian untuk pengujian hipotesis diambil 2 sampel dari populasi tingkat kepadatan. Sampel 1 diisi dengan tingkat kepadatan 0.01 dan Sampel 2 diisi dengan tingkat kepadatan 0.1. Dengan Menggunakan interval kepercayaan untuk batas bawah dan batas atas yaitu 95%.

Hasil dari pengujian pada gambar 6, menunjukkan bahwa nilai p-value bernilai negatif. Karena nilai p-value jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai signifikansi umum yaitu 0.05, maka perbedaan antara arus lalu lintas sampel 1 (0.01) dan sampel 2 (0.1) adalah signifikan secara statistik. Ini berarti bahwa hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan terhadap arus lalu lintas antara sampel 1 dan sampel 2, ditolak. Sehingga dapat diambil hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan signifikan terhadap arus lalu lintas antara tingkat kepadatan pada sampel 1 dan sampel 2.

Pada gambar 7, diperlihatkan juga hasil dari metode deskriptif yang ditampilkan dalam bentuk grafik plot. Simulasi dilakukan pada tingkat kepadatan berbeda, mulai dari 0. sampai 0.8 dengan kenaikan sebesar 0.1. Pengujian simulasi dilakukan dengan menginput parameter `slow_down_prob` dengan nilai 0. Dengan menggunakan interval kepercayaan untuk batas bawah dan batas atas yaitu 95%.

Pada gambar 7, hasil menunjukkan bahwa grafik arus lalu lintas yang tidak ideal. Hal ini dikarenakan parameter input `slow_down_prob` diisi dengan nilai 0. Ini berarti bahwa dalam representasinya tidak ada pengemudi kendaraan yang akan melakukan perlambatan sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan di satu titik dengan kata lain terjadi kemacetan, yang dimana hal ini dapat menghambat kelancaran arus lalu lintas sehingga menyebabkan kondisi lalu lintas tidak kondusif.

Pada grafik yang diperlihatkan pada gambar 7, dapat dilihat terdapat *turning point* atau titik balik, dimana digambarkan terdapat kondisi arus lalu lintas mencapai batas maksimum sebelum mulai menurun saat kepadatan meningkat secara berkelanjutan. Yang pada mulanya dalam grafik terjadi peningkatan arus lalu lintas seiring dengan kepadatan, kemudian mencapai puncak, lalu mulai menurun perlahan. Kondisi ini dapat disebut sebagai gambaran arus lalu lintas yang tidak ideal atau tidak kondusif.

```
Masukkan panjang jalan: 100
Masukkan kepadatan mobil (misal: 0.1): 0.03
Masukkan probabilitas melambat (misal: 0.5): 0.5
Masukkan jumlah langkah simulasi: 20
```

Gambar 2. Input arus lalu lintas rendah


```

Masukkan panjang jalan: 100

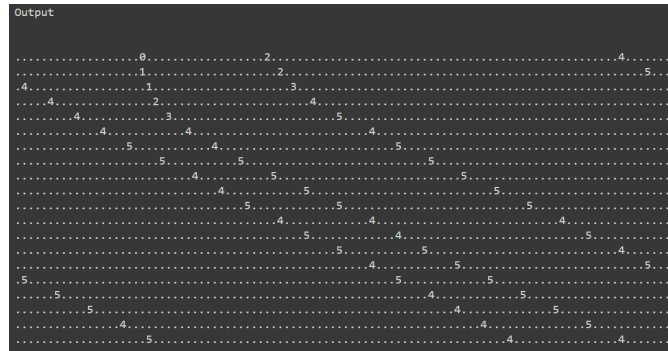
Masukkan kepadatan mobil (misal: 0.1): 0.1

Masukkan probabilitas melambat (misal: 0.5): 0.5

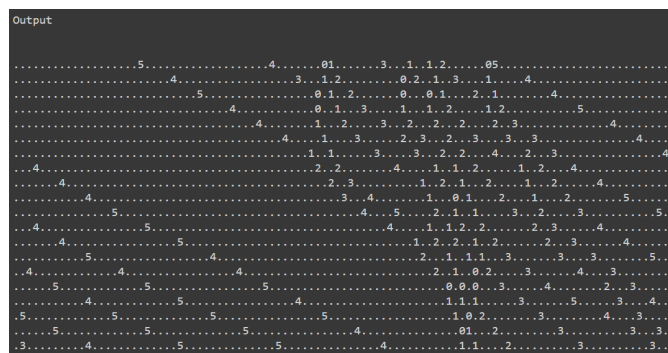
Masukkan jumlah langkah simulasi: 20

```

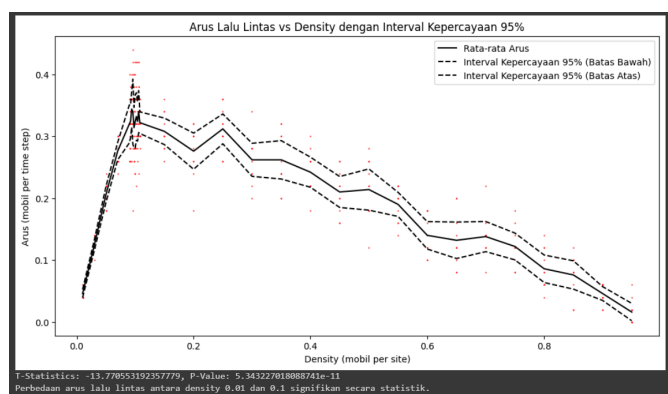
Gambar 3. Input Arus Lalu Lintas Tinggi



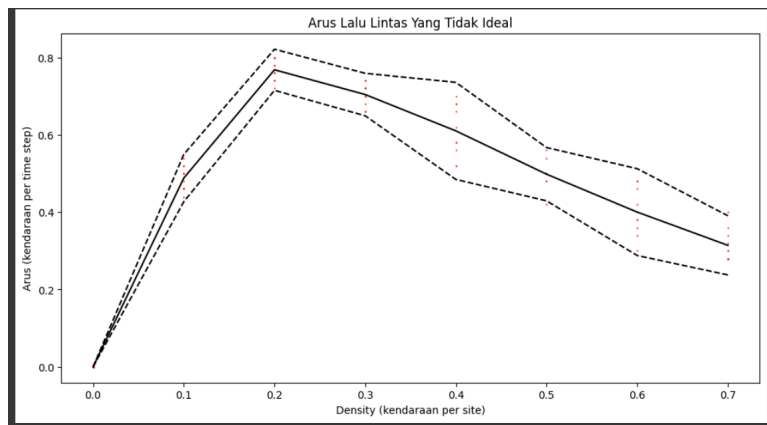
Gambar 4. Output Simulasi Arus Lalu Lintas Rendah



Gambar 5. Output Simulasi Arus Lalu Lintas Tinggi



Gambar 6. Grafik Plot Statistik Inferensi



Gambar 7. Grafik Plot Arus Lalu Lintas Yang Tidak Ideal

V. KESIMPULAN

Dalam melakukan perjalanan untuk aktivitas keseharian, sering kali terdapat banyak para pengguna kendaraan di jalan, sehingga menyebabkan kepadatan transportasi dan terjadinya kemacetan arus lalu lintas, tidak menutup kemungkinan pun bisa terjadi kecelakaan sehingga muncul tantangan yang terjadi dalam mengelola arus lalu lintas. Penyelesaian masalah tersebut dapat dikurangi dengan solusi yaitu penerapan Cellular Automata dalam model simulasi lalu lintas. Dengan penerapan simulasi cellular automata dalam studi lalu lintas memungkinkan pengembangan strategi dan kebijakan transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Melalui simulasi ini, kita dapat meningkatkan efektivitas sistem transportasi serta mengurangi kemacetan dengan memprediksi dan menganalisis tingkat kepadatan lalu lintas secara akurat. Dengan demikian, kita dapat memahami dinamika kepadatan yang terjadi dan mengimplementasikan solusi yang tepat untuk mengelola arus lalu lintas.

Pada pengujian hasil simulasi menggunakan metode statistik inferensial, yang dilakukan pada populasi beberapa tingkatan kepadatan berbeda, dengan mengambil 2 sampel kepadatan untuk pengujian hipotesis yaitu 0.01 dan 0.1, mendapatkan hasil nilai p-value yang bernilai jauh lebih kecil dibandingkan nilai signifikansi umum yaitu 0.05. Hasil ini menjadi bukti bahwa hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan terhadap arus lalu lintas antara tingkat kepadatan 0.01 dan sampel 0.1, ditolak. Sehingga dapat diterima hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan signifikan terhadap arus lalu lintas dengan tingkat kepadatan berbeda.

Jadi dari hasil pengujian yang didapatkan dapat disimpulkan, bahwa tingkat kelancaran arus lalu lintas dipengaruhi dengan tingkat kepadatan kendaraan. Jadi, semakin naiknya tingkat kepadatan kendaraan maka tingkat kelancaran arus lalu lintas akan semakin menurun atau

terhambat, begitupun sebaliknya semakin tingkat kepadatan kendaraan menurun maka tingkat kelancaran lalu lintas akan semakin naik atau lancar.

REFERENSI

- [1] Septian Nugraha Kudrat, Yuliant Sibaroni, Erwin Budi Setiawan, "SIMULASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS MENGGUNAKAN CELLULAR AUTOMATA DAN FUZZY INFERENCE SYSTEM" *e-Proceeding of Engineering*, Vol.2, No.1 April 2015, Page 1884.
- [2] Marina Irdyanti, Dr. Irma Palupi, S.Si, M.Si, "Simulasi Transportasi Arus Lalu Lintas Menggunakan Model Cellular Automata" *e-Proceeding of Engineering*, Vol.8, No.2 April 2021, Page 3537.
- [3] Muhammad Khoirul Anam Al Mufti, Wahyudi, Budi Setiyono, "SIMULASI LALU LINTAS SIMPANG EMPAT MENGGUNAKAN CELLULAR AUTOMATA DENGAN SISTEM KONTROL BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK PADA MATLAB" *TRANSIENT*, VOL. 7, NO. 2, JUNI 2018, ISSN: 2302-9927, 509.
- [4] Suwatri Jura, "Simulasi Arus Lalu lintas Menggunakan Automata Seluler", *e-jurnal JUSITI*, Vol 6 No 1 (2017).