

Mikro-Simulasi Prasarana *U-Turn* Menggunakan Software VISSIM Pada Ruas Jalan Teuku Nyak Arief Kota Banda Aceh

Cut Nawalul Azka*, Rifki Hidayat, Aldi Fajri

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Aceh, Banda Aceh

* Koresponden email: cut.nawalulazka@unmuha.ac.id

Diterima: 22 November 2024

Disetujui: 05 Desember 2024

Abstract

Heavy traffic conditions for road users, especially on Teuku Nyak Arief Street, Banda Aceh City at U-turn often cause high traffic disruption, where it is difficult to understand road conditions, because the position of the U-turn is often found to be ineffective, including less than ideal road conditions with the presence of roads so congested that it will affect U-turns and congestion at active U-turns. The problem is how to improve the effectiveness of U-turns through microsimulation of the VISSIM software against the model scenario. The method used is to analyse the level of service using VISSIM software on the delay value. Based on the analysis of existing, there is a poor LOS U-turn 4 which is LOS E with a delay value of 41.79 vehicles/second, but there is also a U-turn whose level is quite good such as U-turn 1 with 24.17 vehicles/second. Recommendation at U-turn 4 to improve road service by closing the north-south road and diverting to U-turn 3. U-turn 4, which was originally a double U-turn, has been changed to a single U-turn (for north-south U-turns only). The best advice given is traffic management with consideration based on local conditions.

Keywords: *delay, level of service, u-turn, vissim*

Abstrak

Kondisi lalu lintas yang padat bagi pengguna jalan khususnya di Jalan Teuku Nyak Arief Kota Banda Aceh pada putaran balik (*U-Turn*) sering menimbulkan gangguan lalu lintas yang tinggi, dimana sulitnya memahami kondisi jalan karena posisi putaran balik yang sering dijumpai kurang efektif diantaranya kondisi jalan yang kurang ideal dengan keberadaan jalan yang begitu padat sehingga akan mempengaruhi putaran balik dan kepadatan pada putaran balik yang masih aktif. Permasalahannya adalah bagaimana efektivitas putaran balik dapat ditingkatkan dengan mikrosimulasi perangkat lunak VISSIM terhadap model skenario. Metode yang digunakan adalah analisis *Level of Service* dengan menggunakan software VISSIM terhadap nilai tundaan. Berdasarkan hasil analisis yang ada, terdapat LOS *U-Turn* 4 yang kurang baik yaitu LOS D dengan nilai tundaan sebesar 41,79 kendaraan/detik, namun ada juga *U-Turn* yang tingkatannya cukup baik yaitu *U-Turn* 1 dengan nilai tundaan sebesar 24,17 kendaraan/detik. Rekomendasi pada *U-Turn* 4 untuk meningkatkan pelayanan jalan dengan arah jalan Utara - Selatan ditutup dan dialihkan ke *U-Turn* 3. *U-Turn* 4 yang semula merupakan *U-Turn* ganda diubah menjadi *U-Turn* tunggal (hanya melayani putaran balik dari arah utara ke selatan). Rekomendasi terbaik yang diberikan adalah manajemen lalu lintas dengan pertimbangan berdasarkan kondisi di lapangan.

Kata Kunci: *tundaan, tingkat pelayanan, putar balik arah, vissim*

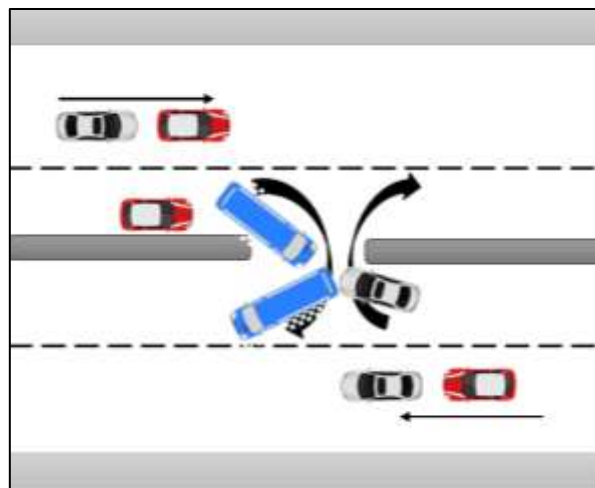
1. Pendahuluan

Transportasi darat masih menjadi pilihan utama karena masih dinilai memiliki keunggulan dalam hal aksesibilitas dan mobilitas [1]. Tingginya kebutuhan pergerakan juga menyebabkan permintaan perjalanan di Kota Banda Aceh meningkat yang mengakibatkan kemacetan lalu lintas. Kemacetan terjadi apabila arus lalu lintas melebihi kapasitas jalan yang direncanakan, sehingga kecepatan bebas ruas jalan mendekati atau bahkan melebihi 0 km/jam [2]. Untuk menampung volume kendaraan yang terus bertambah, sebagian besar jalan perkotaan kini dikembangkan menjadi jalan multijalur atau dua lajur diperlebar menjadi jalan multijalur. Jalan multijalur biasanya dilengkapi dengan median yang ditinggikan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan arah [3]. Bagian median pada desain jalan berfungsi sebagai pemisah lajur lalu lintas yang berlawanan arah sehingga mengurangi konflik lalu lintas [4]. Median juga sering disertai dengan bukaan garis tengah yang memudahkan kendaraan untuk melakukan manuver putar balik [5]. Kendaraan tersebut berdampak pada penurunan kecepatan kendaraan yang dapat mengganggu kendaraan lain, baik yang bergerak searah maupun berlawanan arah.



Gambar 1. Kondisi Putaran Balik 4

Di sepanjang jalan Teuku Nyak Arief Kota Banda Aceh, terletak simpang Pdam sampai simpang Mesra, merupakan salah satu simpul transportasi vital di Kota Banda Aceh yang mengalami tantangan dalam hal kepadatan lalu lintas. Setiap ruas jalan dilengkapi dengan median belt dan bukaan median untuk mengakomodir pergerakan putar balik. Jalan tersebut memiliki panjang 1,8 km dengan 6/2D terdapat 4 buah putar balik. Berdasarkan pengamatan, bahwa sebagian kendaraan tidak melakukan pergerakan putar balik dengan baik, dan kendaraan harus melakukan manuver tambahan untuk menyesuaikan pergerakan putar balik secara penuh, maka dari 4 buah putar balik yang ada, hanya putar balik 1 dan putar balik 4 yang operasional sedangkan putar balik 2 dan putar balik 3 hanya dapat dilalui kendaraan bermotor dan ditutup. Sehingga perlu dianalisa kembali karena dipengaruhi oleh beberapa aktivitas pusat kota (perkantoran, sekolah, pertokoan) yang mengakibatkan pusat kota menjadi padat dengan kendaraan dan hambatan samping lainnya, sehingga mengakibatkan kapasitas dan kinerja jalan berkurang.



Gambar 2. Kondisi Putar Balik

Dari **Gambar 2** dapat dilihat bahwa kendaraan yang berada dibelakang terhalang oleh kendaraan yang ada didepan, maka kendaraan yang berbelok harus menunggu celah arus dari arah berlawanan, begitu pula dengan kendaraan yang melakukan pergerakan arah sebaliknya akan mengurangi kecepatan dan akan berada pada lajur paling kanan sehingga terjadi perlambatan arus lalu lintas yang terjadi mengakibatkan antrian yang ditandai dengan panjang antrian, waktu tunda [6].

Pada saat kendaraan melakukan gerakan berbelok ke arah lajur berlawanan dipengaruhi oleh jenis kendaraan (kemampuan manuver, dan radius putar) [7]. Manuver kendaraan mempengaruhi lebar median dan interferensinya ke kedua arah (searah dan berlawanan arah) terhadap kondisi arus lalu lintas arah berlawanan [8].

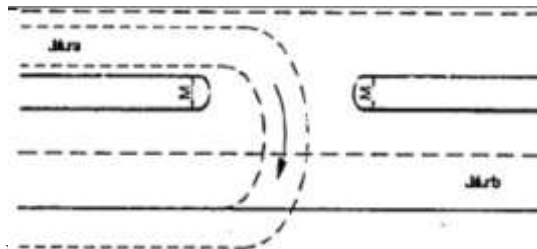
Terjadi interaksi antara kendaraan yang mundur dengan kendaraan yang bergerak lurus pada arah berlawanan, dan menyatu dengan arus berlawanan arah untuk memasuki jalur yang sama. Fenomena-fenomena yang dapat menentukan parameter analisis adalah jarak tempuh kendaraan dalam arus lalu lintas, jarak tempuh kendaraan, dan jarak tempuh kendaraan + waktu.

Dengan meningkatkan efisiensi dan kapasitas lalu lintas, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup warga Banda Aceh. Hal ini meliputi peningkatan aksesibilitas, keamanan dan

kenyamanan dalam perjalanan. Melihat dampak tersebut, rumusan masalahnya adalah (1). Bagaimana kinerja dan tingkat pelayanan di sepanjang ruas jalan T. Nyak Makam Arief pada kondisi eksisting saat ini; dan (2). Bagaimana efektivitas putar balik dapat ditingkatkan dengan simulasi mikro perangkat lunak VISSIM 9 versi mahasiswa terhadap skenario model.

Karakteristik jalan dalam modal transportasi mencakup berbagai aspek penting yang mempertimbangkan volume lalu lintas, kecepatan, dan kepadatan dapat membantu dalam merancang solusi yang efektif untuk mengelola lalu lintas [9]. Dalam perencanaan median, disediakan bukaan median, fungsi bukaan median pada ruas jalan [10] adalah (1). Mengoptimalkan akses lokal dan meminimalkan pergerakan kendaraan yang melakukan putar balik dengan menyediakan bukaan median dengan jarak yang relatif rapat [11]; dan (2). Meminimalkan gangguan terhadap arus lalu lintas kontinyu dengan menciptakan jarak yang cukup jauh antar bukaan median [12]. Ruas jalan memiliki bukaan median yang berfungsi sebagai tempat kendaraan melakukan putaran balik 180° [13]. Ketika kendaraan melakukan gerak memutar ke arah lajur berlawanan, maka kendaraan tersebut terpengaruh oleh radius putar [14].

Tabel 1. Putar balik dengan persyaratan [15]

| Ketik putar balik | Kriteria | Lahan penggunaan |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Dalam ke Bahu Jalan (4/2D) atau Jalur Ketiga (6/2D) Jalur Seberang</p> | <p>Lebar median memenuhi kriteria lebar median dengan gerakan putar balik dari jalur dalam ke bahu jalan (4/2D) atau jalur ketiga (6/2D) dari jalur lawan. Volume lalu lintas di jalur a tinggi dan jalur b rendah hingga sedang. Frekuensi putar balik < 3 putaran/menit.</p> | <p>Kawasan perkotaan dengan aktivitas publik (rumah sakit, kantor, perdagangan, sekolah, jalan akses perumahan)</p> |

Parameter yang dianalisis adalah gap waktu antar kendaraan dalam suatu arus lalu lintas, gap jarak, gap waktu + ruang, dan gap waktu + ruang. Untuk itu perlu dilakukan analisis frekuensi kedatangan dan gap kritis, karena pada saat terjadi pergerakan kendaraan yang berbelok maka arus utama akan terpengaruh oleh adanya perlambatan arus dan hal ini akan mempengaruhi kapasitas jalan [16].

Tabel 2. Lebar Bukaan Rata-rata Ideal Berdasarkan Lebar Jalur

| Tipe Bulat | Lebar Jalur (m) | Kendaraan Kecil | Kendaraan Sedang | Kendaraan Besar |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|
| | | Panjang Kendaraan | | |
| | | 5,8 juta | 12,1 juta | 21 menit |
| Lebar Bukaan Median Ideal | | | | |
| Putar balik bagian tengah dengan gerakan putar balik dari jalur dalam ke jalur kedua jalur lawan | 3,5 | 4,0 | 14,5 | 15,5 |
| | 3 | 4,5 | 15,0 | 17,0 |
| | 2,75 | 5,0 | 16,5 | 18,0 |

Mengenai penempatan bukaan median menurut pedoman perencanaan median jalan (Pd T-17-2004-B), ketentuan bukaan median adalah sebagai berikut [17].

- 1) Letak median bukaan berada di luar kota, jarak antara median bukaan yang satu dengan letak median bukaan yang lain berada pada ruas jalan 3-5 km dengan lebar median bukaan 4-7 m.
- 2) Letak median bukaan dalam kota, jarak antara median bukaan yang satu dengan letak median bukaan yang lain berada pada ruas jalan dalam jarak 0,5-2,5 km dengan lebar median bukaan 4 m.

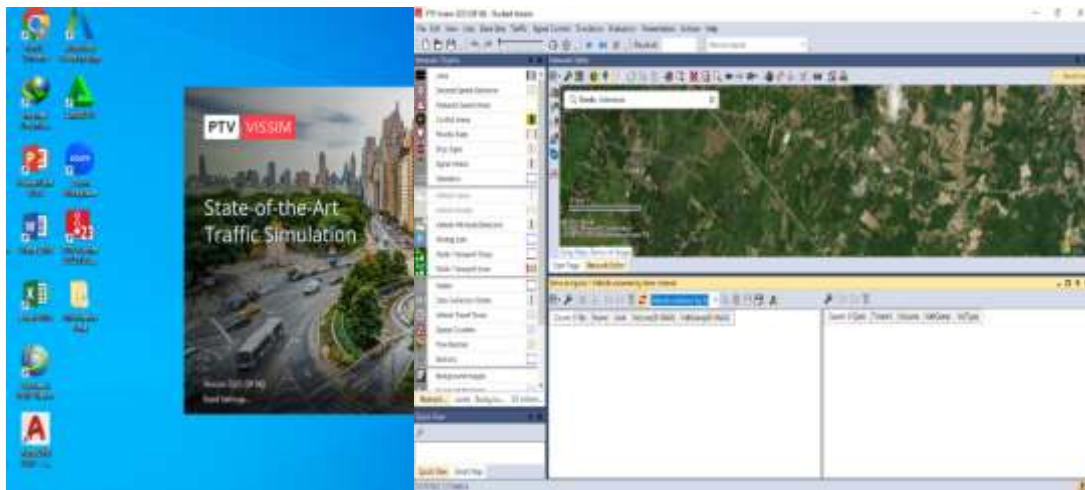
Tingkat pelayanan jalan merupakan salah satu metode untuk menilai kinerja jalan yang merupakan sinyal kemacetan. Suatu jalan dikatakan padat apabila hasil perhitungan LOS mendekati 1. Untuk menghitung LOS pada suatu ruas jalan, terlebih dahulu harus diketahui beberapa komponen yaitu kapasitas, derajat kejenuhan, kecepatan dan tundaan [18]. Seperti yang terlihat pada **Tabel 3** di bawah ini.

Tabel 3. Tingkat pelayanan berdasarkan tundaan [19]

| Tingkat Layanan | Tundaan (det/smp) | Keterangan |
|-----------------|-------------------|-------------|
| A | <5 | Sempurna |
| B | 5,1 – 15 | Sangat Baik |
| C | 15,1 – 25 | Baik |
| D | 25,1 – 40 | Cukup Baik |
| E | 40,1 – 60 | Kurang Baik |
| F | >60 | Buruk |

Analisis kapasitas adalah untuk memperkirakan kapasitas dan kinerja lalu lintas pada kondisi tertentu yang berkaitan dengan desain atau geometrik eksisting, arus lalu lintas, dan lingkungan simpang. Apabila nilai DJ yang diperoleh terlalu tinggi (misalnya > 0,85) [20], maka perlu dilakukan perubahan desain yang berkaitan dengan lebar pendekatan dan dilakukan perhitungan baru.

VISSIM merupakan perangkat lunak yang dapat secara akurat merepresentasikan kondisi nyata di lapangan dalam bentuk model simulasi [21]. Pengguna perangkat lunak ini dapat memodelkan berbagai jenis konfigurasi geometrik atau perilaku pengguna jalan yang terjadi dalam sistem transportasi. VISSIM digunakan untuk berbagai kebutuhan simulasi lalu lintas dan transportasi umum, seperti skema perlambatan lalu lintas, persimpangan bersinyal dan tidak bersinyal.



Gambar 3. Mikrosimulasi perangkat lunak VISSIM

Berbagai perhitungan efektivitas dapat dimasukkan ke dalam perangkat lunak VISSIM, umumnya meliputi nilai tundaan, kecepatan, panjang antrian, waktu tempuh, dan kepadatan [22]. Pada kalibrasi model mikroskopis, proses kalibrasi dilakukan terhadap perilaku pengemudi. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh model kalibrasi yang mampu menggambarkan kondisi perilaku pengemudi di lapangan.

Kalibrasi pada VISSIM dilakukan dengan mengubah nilai parameter yang terdapat pada perilaku berkendara. Proses kalibrasi dilakukan dengan cara coba-coba pada parameter tersebut sehingga perilaku pada VISSIM dapat menggambarkan perilaku sebagaimana di lapangan. Parameter tersebut meliputi perilaku mengikuti, perilaku berpindah jalur, dan perilaku menyamping.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif akan digunakan untuk memahami dinamika lalu lintas dari strategi putar balik yang telah diterapkan. Sedangkan pendekatan kuantitatif akan menggunakan simulasi mikro VISSIM untuk efektivitas putar balik.

Metode Survei

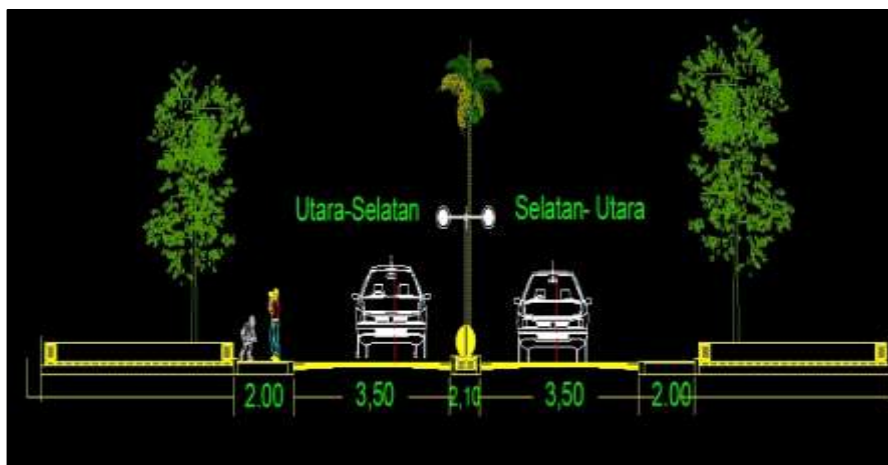
Data yang digunakan untuk analisis diperoleh dengan cara mengumpulkan data primer dan data sekunder sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data primer diperoleh dengan melakukan survei langsung di lokasi penelitian. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi lapangan terkini di lokasi penelitian, sehingga dapat meminimalisir kesalahan dalam evaluasi dan perencanaan.

1. Survei Pengumpulan data volume lalu lintas atau jumlah kendaraan yang melintas pada jalur pengamatan dilakukan dengan cara mencatat seluruh kendaraan pada saat pengamatan, dibantu

- dengan penggunaan alat hitung manual (*counter*). Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil video lalu lintas menggunakan kamera ponsel pada saat pengamatan.
2. Survei Pengumpulan data kondisi geometrik jalan dilakukan untuk memperoleh kondisi eksisting jalan pada lokasi yang akan diamati dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan menggunakan meteran. Survei dilakukan pada saat kendaraan dalam keadaan tenang agar tidak mengganggu arus lalu lintas.
 3. Survei volume putar balik dilakukan dengan memperhatikan kondisi jarak aman yang baik antara kendaraan yang melakukan putar balik dengan kendaraan di jalur berlawanan yang akan dimasuki oleh kendaraan yang melakukan putar balik dimana kondisi yang diinginkan adalah kendaraan dapat berputar dengan baik tanpa menimbulkan tundaan dan kemacetan pada ruas jalan tersebut.

Lokasi Penelitian dan Geometri Jalan

Ruas jalan Teuku Nyak Arief merupakan ruas jalan di Kota Banda Aceh yang mana kendaraan yang melintas di ruas jalan tersebut sebagian besar merupakan kendaraan yang beroperasi di dalam Kota Banda Aceh. Pergerakan tersebut berasal dari perjalanan di dalam kota itu sendiri. Oleh karena itu, dalam analisis ini digunakan peraturan lalu lintas dalam kota.



Gambar 4. Geometri Jalan

Berdasarkan RTRW Banda Aceh merupakan jalan arteri sekunder dengan sistem arus dua arah yang dipisahkan oleh median. Pada ruas jalan ini terdapat fasilitas putar balik (*U-Turn*) yang seringkali menimbulkan permasalahan tersendiri berupa hambatan arus lalu lintas satu arah maupun arus lalu lintas arah sebaliknya. Jalan ini merupakan jalan 6 lajur 2 arah dengan median (6/2 D). Dengan lebar 16,4 m, bahu jalan 2 m, saluran drainase 1,65 m dan lebar median 2,10 m (depan kantor BKKBN), sedangkan titik 1 (depan Polda Aceh) memiliki lebar median 3 meter. Panjang ruas jalan T. Nyak Arief adalah 1,7 km dengan pemanfaatan lahan pada ruas jalan tersebut hampir seluruhnya lahan perkantoran dan permukiman di sekitarnya.

Tabel 4. Perbandingan Kondisi Putar Balik yang Ada Berdasarkan Pedoman Fasilitas Putar Balik

| Titik | Lebar Eksisting (m) | Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Pd T-17-2004-B Perencanaan Median Jalan | | Pedoman Ditjen Bina Marga Nomor 06/BM/2005 Perencanaan Putar Balik | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| | | Lebar (m) | Keterangan | Lebar (m) | Keterangan |
| <i>U-turn</i> 1 | 19 | 4 | Memenuhi syarat | 4,5 - 12 | Tidak memenuhi syarat |
| <i>U-turn</i> 2 | 20 | 4 | Memenuhi syarat | 4,5 - 12 | Tidak memenuhi syarat |
| <i>U-turn</i> 3 | 15 | 4 | Memenuhi syarat | 4,5 - 12 | Tidak memenuhi syarat |
| <i>U-turn</i> 4 | 16,8 | 4 | Memenuhi syarat | 4,5 - 12 | Tidak memenuhi syarat |

Tabel 5. Perbandingan berdasarkan jarak antar *U-Turn*

| <i>U-turn</i> | Jarak Eksisting (m) | Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Pd T-17-2004-B Perencanaan Median Jalan | |
|---------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| | | Jarak (m) | Keterangan |
| 1 - 2 | 750 | 300 | Memenuhi syarat |
| 2 - 3 | 300 | 300 | Memenuhi syarat |
| 3 - 4 | 350 | 300 | Memenuhi syarat |
| 4 - 5 | 300 | 300 | Memenuhi syarat |

Simulasi Lalu Lintas

Proses simulasi lalu lintas pada penelitian ini menggunakan Software VISSIM dengan tahapan sebagai berikut:

1. Masukkan latar belakang menggunakan peta dari Google Maps yang mencakup area yang akan disimulasikan;
2. Membuat jaringan atau tautan jalan di VISSIM berdasarkan kondisi di lapangan dan menentukan jenis kendaraan yang akan dimodelkan di VISSIM sesuai dengan kondisi di lapangan;
3. Masukkan kecepatan arus bebas masing-masing jenis kendaraan sesuai hasil survei;
4. Menentukan rute asal dan tujuan pada jaringan jalan atau tautan;
5. Menjalankan model VISSIM untuk mendapatkan keluaran dalam bentuk simulasi volume lalu lintas yang habis dan kecepatan lalu lintas rata-rata;
6. Output yang dihasilkan divalidasi melalui uji statistik pada parameter volume lalu lintas dan kecepatan hasil survei.

3. Hasil Dan Pembahasan

Perhitungan kapasitas ruas jalan menggunakan perhitungan PKJI 2014. Perhitungan kapasitas dipengaruhi oleh parameter kapasitas dasar dan faktor koreksi lebar lajur lalu lintas. Tipe alinyemen termasuk dalam tipe datar sehingga nilai kapasitas dasar yang sesuai adalah 1700 smp/lajur.

Tabel 6. Hasil Kapasitas Jalan Perkotaan

| Kapasitas Dasar | Faktor Penyesuaian | | | | Kapasitas |
|-----------------|--------------------|----------------|------------------|-------------|-----------|
| | Lebar Jalur | Pemisahan Arah | Hambatan Samping | Ukuran Kota | |
| 1700 | 1.00 | 1.00 | 1.02 | 1.00 | 1734 |

Tingkat kejenuhan pada jalan perkotaan merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kinerja lalu lintas di suatu wilayah. Tingkat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume arus lalu lintas yang terjadi dengan kapasitas jalan yang tersedia. Hasil perbandingan antara volume lalu lintas (Q) dengan kapasitas jalan (C) adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil Derajat Kejenuhan pada Jalan Perkotaan

| Pengamatan | Periode | Arah | Lalu lintas (skr/jam) | Kapasitas | Derajat Kejenuhan | Ket |
|------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------|-------------------|-----|
| Senin | 07.00 – 09.00 | Utara - Selatan | 1458 | 1734 | 0,84 | D |
| | | Selatan - Utara | 1429 | | 0,82 | D |
| | 12.00 – 14.00 | Utara - Selatan | 1217 | | 0,70 | C |
| | | Selatan - Utara | 1296 | | 0,75 | D |
| | 16.00 – 18.00 | Utara - Selatan | 1512 | | 0,87 | D |
| | | Selatan - Utara | 1527 | | 0,88 | D |
| Rabu | 07.00 – 09.00 | Utara - Selatan | 1389 | 1734 | 0,80 | D |
| | | Selatan - Utara | 1333 | | 0,77 | C |
| | 12.00 – 14.00 | Utara - Selatan | 1077 | | 0,62 | C |
| | | Selatan - Utara | 1185 | | 0,68 | C |
| | 16.00 – 18.00 | Utara - Selatan | 1416 | | 0,82 | D |
| | | Selatan - Utara | 1352 | | 0,78 | D |
| Jumat | 07.00 – 09.00 | Utara - Selatan | 1439 | 1734 | 0,83 | D |
| | | Selatan - Utara | 1449 | | 0,84 | D |
| | 12.00 – 14.00 | Utara - Selatan | 1299 | | 0,75 | D |
| | | Selatan - Utara | 1449 | | 0,84 | D |
| | 16.00 – 18.00 | Utara - Selatan | 1228 | | 0,71 | D |
| | | Selatan - Utara | 1493 | | 0,86 | D |

Nilai kinerja dilihat dari derajat kejenuhan (DS) kondisi yang diamati (eksisting) dengan DS. Apabila DS yang diperoleh terlalu tinggi (dihitung >0,85), maka disarankan untuk mengubah dimensi penampang jalan dan membuat perhitungan baru. Perlu diperhatikan bahwa pada periode tertentu hampir rata-rata nilai yang diperoleh > 0,85 yang menunjukkan bahwa kapasitas jalan masih dapat menampung jumlah kendaraan yang melintasi ruas tersebut. Untuk memperoleh hasil panjang antrian, waktu tempuh, kecepatan dan tundaan dari volume putar balik yang diamati, dilakukan simulasi mikro VISSIM. Analisis diperoleh. Indeks tingkat pelayanan dihitung berdasarkan jumlah tundaan.

Tabel 8. Analisis Kendaraan Putar Balik di Titik I (Putar Balik Ganda) dengan VISSIM

| Pengamatan | Periode | Arah A - B | | | | Arah B - A | | | |
|-------------|-------------|------------|---------------------|-----------------|-----|------------|---------------------|-----------------|-----|
| | | Q | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS | Q | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS |
| Senin | 07.00-08.00 | 85 | 35,39 | | | 200 | 88,84 | | |
| | 08.00-09.00 | 128 | 56,31 | | | 123 | 38,08 | | |
| | 12.00-13.00 | 79 | 28,56 | 30,59 | D | 136 | 40,28 | 25,48 | C |
| | 13.00-14.00 | 190 | 79,86 | | | 149 | 30,72 | | |
| | 16.00-17.00 | 130 | 47,80 | | | 93 | 45,78 | | |
| | 17.00-18.00 | 170 | 79,96 | | | 134 | 49,38 | | |
| 07.00-08.00 | 112 | 53,81 | 131 | | | 33,10 | | | |
| 08.00-09.00 | 157 | 80,49 | 130 | | | 33,53 | | | |
| Rabu | 12.00-13.00 | 138 | 67,76 | 37,93 | D | 197 | 55,38 | 24,17 | C |
| | 13.00-14.00 | 150 | 76,73 | | | 173 | 47,90 | | |
| | 16.00-17.00 | 157 | 79,21 | | | 162 | 71,73 | | |
| | 17.00-18.00 | 101 | 48,22 | | | 168 | 71,98 | | |
| | 07.00-08.00 | 127 | 64,07 | | | 132 | 32,32 | | |
| Jumat | 08.00-09.00 | 129 | 63,98 | 37,34 | D | 138 | 37,13 | 29,27 | D |
| | 12.00-13.00 | 175 | 89,21 | | | 170 | 46,66 | | |
| | 13.00-14.00 | 169 | 84,32 | | | 164 | 43,35 | | |
| | 16.00-17.00 | 147 | 71,12 | | | 151 | 106,98 | | |
| | 17.00-18.00 | 183 | 94,07 | | | 172 | 127,36 | | |

Pergerakan putar balik melibatkan beberapa tahapan kejadian yang mempengaruhi kondisi arus lalu lintas. Salah satunya yaitu searah dengan arus kendaraan yang akan melakukan manuver putar balik, sebelum arus kendaraan menyatu dengan arus yang berlawanan arah. Dari hasil perhitungan di atas pada semua jam puncak, diperoleh nilai tundaan keseluruhan > 30 detik dari posisi A ke B, sedangkan posisi B ke A diperoleh < 30 detik pada fasilitas bukaan median untuk putar balik di titik II (putar balik ganda) yang berarti terjadi antrian pada fasilitas bukaan median yang dikaji sehingga dapat mempengaruhi kondisi arus lalu lintas di lokasi tinjauan. lokasi tinjauan.

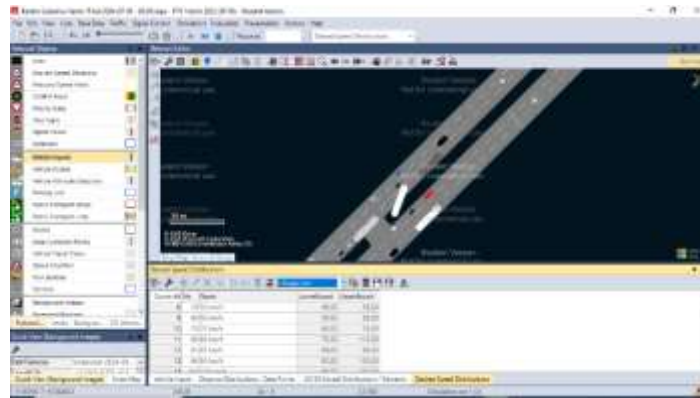
Tabel 9. Analisis Kendaraan Putar Balik di Titik 4 (Putar Balik Ganda) dengan VISSIM

| Pengamatan | Periode | Sebuah - B | | | | B - Sebuah | | | |
|-------------|-------------|------------|---------------------|-----------------|-----|------------|---------------------|-----------------|-----|
| | | Q | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS | Q | Panjang antrian (m) | Tundaan (Detik) | LOS |
| Senin | 07.00-08.00 | 223 | 126,78 | 41,79 | D | 284 | 185,85 | 41,38 | D |
| | 08.00-09.00 | 234 | 132,95 | | | 195 | 108,47 | | |
| | 12.00-13.00 | 279 | 159,85 | | | 208 | 117,26 | | |
| | 13.00-14.00 | 232 | 127,62 | | | 201 | 108,37 | | |
| | 16.00-17.00 | 299 | 161,41 | | | 186 | 95,56 | | |
| | 17.00-18.00 | 320 | 186,67 | | | 199 | 103,32 | | |
| Rabu | 07.00-08.00 | 148 | 74,12 | 40,73 | D | 181 | 109,37 | 41,96 | D |
| | 08.00-09.00 | 205 | 105,26 | | | 122 | 63,49 | | |
| | 12.00-13.00 | 191 | 93,40 | | | 257 | 150,50 | | |
| | 13.00-14.00 | 210 | 108,71 | | | 232 | 129,12 | | |
| | 16.00-17.00 | 226 | 114,35 | | | 229 | 119,55 | | |
| Jumat | 17.00-18.00 | 301 | 175,20 | 39,84 | D | 262 | 148,60 | 41,94 | D |
| | 07.00-08.00 | 154 | 75,49 | | | 147 | 86,81 | | |
| | 08.00-09.00 | 161 | 87,59 | | | 137 | 80,54 | | |
| | 12.00-13.00 | 152 | 72,58 | | | 148 | 85,25 | | |
| | 13.00-14.00 | 135 | 68,95 | | | 151 | 86,70 | | |
| | 16.00-17.00 | 146 | 66,60 | | | 157 | 82,50 | | |
| 17.00-18.00 | 217 | 116,85 | 238 | 146,05 | | | | | |

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Putar Balik Tahun 2005, kondisi geometrik jalan di lokasi kajian ini (tepatnya di titik putar balik) di Jl. Nyak Arief, Kota Banda Aceh, terlihat bahwa lebar lajur dengan lebar median belum sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan geometrik pada lebar lajur dan lebar median sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Sesuai dengan hasil yang diperoleh pada *U-Turn* 4, pergerakan yang terjadi dengan jalan lurus dan putar balik mengakibatkan pengaruh besarnya kapasitas kebutuhan jalan tidak memungkinkan lagi untuk melakukan perubahan geometrik jalan dikarenakan kondisi jalan yang tidak memiliki lahan untuk melakukan perubahan.

Hasil penelitian terlampir pada **Tabel 8**. Terlihat bahwa jumlah kendaraan yang melakukan putar balik pada sore hari dengan hasil pengamatan didapatkan bahwa jumlah kendaraan yang melakukan putar balik terbanyak terjadi pada pukul 16.00 - 18.00. Volume lalu lintas cenderung lebih tinggi pada pagi dan sore hari dibandingkan pada siang hari, hal ini sesuai dengan pola perjalanan orang yang berangkat kerja atau sekolah pada pagi hari dan pulang pada sore hari. Hari Senin umumnya mencatat volume lalu lintas tertinggi, baik pada pagi maupun sore hari, sedangkan volume lalu lintas cenderung lebih rendah pada hari Rabu, dan kembali meningkat pada hari Jumat, terutama pada sore hari.



Rekomendasi skenario solusi untuk meningkatkan kinerja jalan dianalisis menggunakan perangkat lunak VISSIM untuk memperoleh hasil rekapitulasi kinerja ruas jalan yaitu nilai tingkat pelayanan, berdasarkan panjang antrian dan waktu tunda untuk setiap arus lalu lintas. Terdapat beberapa arus lalu lintas yang tingkat pelayanannya berada di bawah D, sehingga diperlukan alternatif solusi untuk meningkatkan tingkat pelayanan jalan tersebut.

Skenario solusi yang direkomendasikan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas di Jalan T. Nyak Arief adalah dengan meningkatkan nilai LOS. Skenario yang disarankan adalah manajemen lalu lintas berupa pengalihan lalu lintas yang mengakibatkan perubahan fungsi *U-Turn*.

Tabel 10. Hasil simulasi menggunakan aplikasi VISSIM yang Melakukan Putar Balik di Titik 4 (Putaran Balik Tunggal)

| Pengamatan | Periode | A – B (Ganda) | | | A – B (Simulasi – Tunggal) | | | | | | |
|------------|-------------|---------------------|-----------------|-----|----------------------------|-----------------|-----|--|-------|--|--|
| | | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS | | | | |
| Senin | 07.00-08.00 | 126,78 | | | 65,88 | | | | | | |
| | 08.00-09.00 | 132,95 | | | 67,69 | | | | | | |
| | 12.00-13.00 | 159,85 | 41,79 | D | 44,41 | 24,79 | C | | | | |
| | 13.00-14.00 | 127,62 | | | 81,76 | | | | | | |
| | 16.00-17.00 | 161,41 | | | 82,68 | | | | | | |
| | 17.00-18.00 | 186,67 | | | 132,28 | | | | | | |
| Rabu | 07.00-08.00 | 74,12 | | | | | | | 34,00 | | |
| | 08.00-09.00 | 105,26 | | | | | | | 69,14 | | |
| | 12.00-13.00 | 93,40 | 40,73 | D | 78,46 | 25,73 | C | | | | |
| | 13.00-14.00 | 108,71 | | | 60,73 | | | | | | |
| | 16.00-17.00 | 114,35 | | | 71,35 | | | | | | |
| | 17.00-18.00 | 175,20 | | | 72,39 | | | | | | |
| Jumat | 07.00-08.00 | 75,49 | | | | | | | 49,49 | | |
| | 08.00-09.00 | 87,59 | | | | | | | 58,10 | | |
| | 12.00-13.00 | 72,58 | 39,84 | D | 51,96 | 24,84 | C | | | | |
| | 13.00-14.00 | 68,95 | | | 48,19 | | | | | | |
| | 16.00-17.00 | 66,60 | | | 40,25 | | | | | | |
| | 17.00-18.00 | 116,85 | | | 41,61 | | | | | | |

Tabel 10 menunjukkan data terkait Panjang Antrean, Tundaan, dan *Level of Service* (LOS) pada berbagai waktu dan hari. Pada hari Senin, khususnya pukul 07.00-08.00, LOS berada pada E dengan panjang antrian 126,78 meter dan tundaan 41,79 detik. Namun, setelah dilakukan simulasi menunjukkan perbaikan yang signifikan dengan LOS yang membaik menjadi C, panjang antrian berkurang menjadi 65,88 meter, dan waktu tunda menjadi 24,79 detik. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi dapat mengurangi kemacetan secara signifikan pada jam puncak pagi. Pada hari Rabu, LOS pukul 07.00-08.00 berada pada E, dengan panjang antrian 74,12 meter dan waktu tunda 40,73 detik. Pada simulasi, panjang antrian berkurang menjadi 34 meter dan LOS membaik menjadi C. Simulasi ini menunjukkan bahwa perbaikan manajemen lalu lintas pada hari tersebut dapat mengurangi kemacetan. Pada hari Jumat pukul 07.00-08.00 menunjukkan LOS D, dengan panjang antrian 75,49 meter dan waktu tunda 39,84 detik pada kondisi eksisting. Namun, simulasi berhasil memperkecil panjang antrian menjadi 49,49 meter dan waktu tunda menjadi 24,84 detik, dengan perbaikan pada LOS C.

Nilai LOS menunjukkan kualitas layanan untuk setiap periode waktu yang kondisinya eksistingnya pada beberapa periode memiliki nilai LOS E (seperti pada Senin pagi pukul 07.00-08.00), yang menunjukkan kondisi lalu lintas sangat buruk, dengan kepadatan dan antrean panjang. Namun, pada simulasi, nilai LOS biasanya membaik menjadi C atau D, yang menunjukkan bahwa simulasi memberikan perbaikan pada arus lalu lintas.

Tabel 11. Hasil simulasi menggunakan aplikasi VISSIM yang Melakukan Putar Balik di Titik 3 (Putaran Balik Tunggal)

| Pengamatan | Periode | U-turn 4 (B – A Ganda) | | | B – A (Simulasi – Tunggal) | | |
|------------|-------------|------------------------|-----------------|-----|----------------------------|-----------------|-----|
| | | Panjang antrian (m) | Tundaan (detik) | LOS | Panjang antrian (m) | Tundaan (Detik) | LOS |
| Senin | 07.00-08.00 | 185,85 | | | 27,80 | | |
| | 08.00-09.00 | 108,47 | | | 35,18 | | |
| | 12.00-13.00 | 117,26 | 41,38 | D | 31,87 | 15,38 | B |
| | 13.00-14.00 | 108,37 | | | 38,29 | | |
| | 16.00-17.00 | 95,56 | | | 32,68 | | |
| | 17.00-18.00 | 103,32 | | | 58,59 | | |
| Rabu | 07.00-08.00 | 109,37 | | | 36,78 | | |
| | 08.00-09.00 | 63,49 | | | 16,23 | | |
| | 12.00-13.00 | 150,50 | 41,96 | D | 48,09 | 15,96 | B |
| | 13.00-14.00 | 129,12 | | | 53,64 | | |
| | 16.00-17.00 | 119,55 | | | 44,11 | | |
| | 17.00-18.00 | 148,60 | | | 33,89 | | |
| Jumat | 07.00-08.00 | 86,81 | | | 28,36 | | |
| | 08.00-09.00 | 80,54 | | | 27,87 | | |
| | 12.00-13.00 | 85,25 | 41,94 | D | 32,43 | 14,94 | B |
| | 13.00-14.00 | 86,70 | | | 27,65 | | |
| | 16.00-17.00 | 82,50 | | | 24,40 | | |
| | 17.00-18.00 | 146,05 | | | 22,11 | | |

Tabel 11 menggunakan aplikasi VISSIM untuk mengalihkan kondisi *U-Turn* 4 yang melakukan pergerakan dari B - A, dialihkan ke *U-Turn* 3 dengan *U-Turn* Tunggal. Berdasarkan hasil yang diperoleh. Pada kondisi eksisting, tingkat pelayanan pada banyak periode berada pada LOS E, yang mengindikasikan kondisi lalu lintas buruk dengan kepadatan dan waktu tunggu yang sangat lama. Misalnya, pada hari Senin pukul 07.00-08.00, LOS E berarti *U-Turn* sangat padat dan tidak efisien. Setelah dilakukan simulasi, tingkat pelayanan membaik menjadi LOS B pada banyak periode, seperti pada hari Senin pukul 07.00-08.00 (dari E ke B). Hal ini menunjukkan bahwa simulasi memperbaiki arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan. Perbaikan serupa terjadi pada periode lainnya. Misalnya, pada hari Rabu pukul 07.00-08.00, LOS membaik dari E ke B, yang mengindikasikan bahwa simulasi berhasil mengurangi kemacetan lalu lintas.

Tabel 12. Model Skenario yang Direkomendasikan

| Titik | Direkomendasikan |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>U-turn</i> 1 | Tidak ada skenario yang direkomendasikan karena tingkat layanan jalan sudah cukup baik. Fungsi putar balik tetap seperti kondisi yang ada. |
| <i>U-turn</i> 2 | Tidak ada skenario yang direkomendasikan karena tingkat pelayanan jalan masih dalam kategori baik. |

| Titik | Direkomendasikan |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>U-turn</i> 3 | Asal kondisi putar balik dari arah tertutup, harus melayani arus dari arah B - A dari putar balik 4 sampai putar balik 3 (hanya melayani putar balik dari arah B - A). |
| <i>U-turn</i> 4 | Putaran Balik 4 yang pada awalnya merupakan putaran balik ganda diubah menjadi putaran balik tunggal (hanya melayani putaran balik dari arah A - B). |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi mikro VISSIM pada kondisi eksisting, jumlah lalu lintas yang melakukan putar balik pada *U-Turn* 1 dari arah A – B pada hari Senin dengan data tertinggi 782 kendaraan/jam, panjang antrian rata-rata 54,67 m, dan tundaan yang diperoleh sebesar 30,59 dengan kategori LOS D. Sedangkan Arah B – A nilai tertinggi pada hari Jumat sebesar 927 kendaraan/jam dan panjang antrian rata-rata 65,63 m serta tundaan yang diperoleh sebesar 29,27 dengan kategori LOS D. Jumlah lalu lintas yang melakukan putar balik pada *U-Turn* 4 dari arah A – B pada hari Senin dengan data tertinggi 1587 kend/jam, panjang antrian rata-rata 149,21 m, dan tundaan yang diperoleh sebesar 41,79 dengan kategori LOS E. Sedangkan Arah B – A nilai tertinggi pada hari Jumat sebesar 978 kend/jam dan panjang antrian rata-rata 94,64 m serta tundaan yang didapat sebesar 41,94 dengan LOS E.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan skenario dengan VISSIM untuk meningkatkan kinerja Ruas Jalan T.Nyak Arief Kota Banda Aceh. Putaran balik 4 untuk meningkatkan pelayanan jalan dengan arah jalan Utara - Selatan ditutup dan dialihkan ke Putaran balik 3. Putaran balik 4 yang semula merupakan Putaran balik ganda diubah menjadi Putaran balik tunggal (hanya melayani putar balik dari arah utara ke selatan), Setelah dilakukan simulasi tingkat pelayanan membaik menjadi LOS B pada beberapa periode dari E sampai B. Rekomendasi terbaik yang diberikan adalah manajemen lalu lintas dengan pertimbangan berdasarkan kondisi lapangan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyelesaian jurnal ini. Semoga segala bentuk bantuan dan dukungan yang telah diterima dapat memperoleh imbalan yang sepadan. Penulis juga berharap bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta praktik di lapangan.

6. Referensi

- [1]. Indrashanty, A., & Legowo, PS (2017). Aksesibilitas dan Mobilitas Transportasi di Provinsi Bengkulu dalam Konteks Negara Maritim dan Penguatan Daerah Tertinggal. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 14(2), 95-104. <http://ojs.balitbanghub.dephub.go.id/index.php/jurnalmtm/article/view/171>
- [2]. Manurung, WJS, Iriyanto, SM, & Anggraeni, D. (2023). Kajian Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Kelapa 2 Entrop, Kota Jayapura. *Jurnal Portal Sipil*, 12(1), 33-40. <http://ojs.ustj.ac.id/sipil/article/view/1230>
- [3]. Pan, T., Lam, WH, Sumalee, A., & Zhong, R. (2021). Model multijalur multikelas untuk lalu lintas jalan bebas hambatan yang dipadukan dengan kendaraan otomatis yang terhubung dan kendaraan biasa yang dipiloti manusia. *Transportmetrica A: ilmu transportasi*, 17(1), 5-33. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23249935.2019.1573858>
- [4]. Halim, SH (2021). Kajian Putar Balik (*U-Turn*) Terhadap Kinerja Arus Lalu Lintas (Studi Kasus Jl. Ibrahim Adjie Kota Bandung). *Jurnal Media Teknologi*, 7(2), 109-124. <https://ojs.unigal.ac.id/index.php/jmt/article/view/2638>
- [5]. Chen, M., Zhang, N., Zheng, W., & Li, Y. (2023). Simulasi numerik manuver putar dekat permukaan kapal selam generik. *Ocean Engineering*, 287, 115835. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801823022199>
- [6]. Fernández, R., & Depiano, R. (2024). Sifat fungsi tundaan dan panjang antrian pada halte. *Procedia Penelitian Transportasi*, 78, 491-498. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146524001145>
- [7]. Yu, Q., Ye, J., Lin, W., & Dong, Y. (2024). Dampak Konfigurasi Garis Panduan Belok Kiri Persimpangan terhadap Perilaku Pengemudi Pemula. *Applied Sciences*, 14(16), 7387. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/16/7387>
- [8]. Syafar, MI, Prasetyo, BE, & Ibrahim, K. (2024). Pengaruh Gerak *U-Turn* Terhadap Kinerja Lalu Lintas Di Ruas Jalan Pomalaa (Studi Kasus: Jalan Jendral Sudirman Kelurahan Dawi-Dawi). *Media*

- Konstruksi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 9(1), 53-62. <https://medkons.uho.ac.id/index.php/journal/article/view/1>
- [9]. Azka, CN, & Mardi, R. (2020). Pemodelan Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Di Jalan Soekarno Hatta Kota Banda Aceh. *Tameh: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 42-50. <http://ojs.unmuha.ac.id/index.php/tameh/article/view/104>
- [10]. Sufina, M., Arsyad, N., & Hafidz, M. (2020). Analisa Persepsi Pengguna Jalan terhadap Dampak Positif dan Negatif Tidak Adanya Median Jalan. *Kerjasama Teknik Sipil*, 53-60. <https://jcivil-upiypk.org/ojs/index.php/jcivil/article/view/11>
- [11]. Artha, YP, Wirahaji, IB, & Widyatmika, MA (2020). Analisis Kinerja Ruas Jalan Akibat Adanya Gerakan Putar Balik Pada Bukaannya Median Jalan Nasional Denpasar. *Widya Teknik*, 13(01), 59-66. <https://ejournal.unhi.ac.id/index.php/WidyaTeknik/article/view/2056>
- [12]. Dash, S., Mohapatra, SS, & Dey, PP (2019). Estimasi celah kritis putaran balik pada bukaannya median yang tidak terkontrol. *Surat transportasi*, 11(5), 229-240. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19427867.2017.1288890>
- [13]. Al Faritzie, H., Zulkarnain, YP, & Misdalena, F. (2022). Evaluasi Kinerja *U-Turn* Pada Bukaannya Median Ruas Jalan KH. Wahid Hasyim 5 Ulu Kota Palembang. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 32-45. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/deformasi/article/view/7855>
- [14]. Syahril, A., & Puspito, IH (2022). Analisis Pengaruh Aktivitas *U-Turn* Terhadap Kinerja Lalu Lintas Jalan Raya Bogor KM. 19 Kota Jakarta Timur. *Jurnal ARTESIS*, 2(2), 147-152. <https://journal.univpancasila.ac.id/index.php/ARTESIS/article/view/4296>
- [15]. Khoirunnisa, N. (2022). Evaluasi Kinerja Lalu Lintas Sebelum Dan Sesudah Adanya Flyover Ganefo Mranggen (Demak). *JTI (Jurnal Teknik Indonesia)*, 3(1), 10-19. <https://ejournal.undaris.ac.id/index.php/jei/article/view/360>
- [16]. Khan, T., Vivek, AK, Mohapatra, SS, & Patnaik, AK (2023). Pendekatan Realistis untuk Estimasi Kapasitas Putaran Balik dalam Kondisi Lalu Lintas Heterogen. *Catatan Riset Transportasi*, 03611981231203227. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981231203227>
- [17]. Suba, A., & Sanggaria, OJ (2023). Analisis Pengaruh Balik Arah Terhadap Kinerja Arus Lalu Lintas (Studi Kasus Depan UPPKB Maccopa). *Jurnal Teknik Sipil Paulus*, 5(4), 567-578. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej/article/view/3>
- [18]. Savitri, LPAW, Dewi, NP, Simanjuntak, ISS, & Atmajaya, AB (2024). Analisis Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Raya Legian Selatan. *Jurnal Teknik Transportasi Logistik dan Otomotif*, 1(1), 1-10. <https://jurnal.naiwabestscience.my.id/index.php/jutago/article/view/19>
- [19]. Syaifullah, M., Kadir, Y., & Desei, FL (2024). Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Menggunakan Metode PKJI 2023 dan Software VISSIM. *Konstruksi*, 15(2), 147-163. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/22376>
- [20]. Mulyadi, M., & Adawiyah, R. (2024). Menggunakan Software VISSIM Analisis Untuk Simpang Bersinyal (Studi Kasus Simpang 4 Sulawesi Kota Banjarmasin). *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 7(1), 79-92. <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/article/view/14725>
- [21]. Nugroho, U., & Dwiatmaja, GC (2020). Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Bantuan Perangkat Lunak VISSIM Student Version. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 54-74. <https://journal.maranatha.edu/index.php/jts/article/view/1964>
- [22]. Ullah, MR, Khattak, KS, Khan, ZH, Khan, MA, Minallah, N., & Khan, AN (2021). Perangkat lunak simulasi lalu lintas kendaraan: Analisis komparatif sistematis. *Jurnal Teknik dan Teknologi Pakistan*, 4(1), 66-78. <https://journals.uol.edu.pk/pakjet/article/view/686>