

Penanganan Kemacetan Lalu Lintas Yang Ditimbulkan Akibat Pergerakan Putar Balik (*U-Turn*) Pada Jalan Perkotaan

Amy Wadu^{*1}, Ludofikus Dumin², Priska Gardeni Nahak³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur
e-mail: ^{*1}amywadu@gmail.com, ²ludofikus.dumin@gmail.com, ³prigardeni@yahoo.com

Abstract

The massive increase in the number of vehicles has placed a huge burden on urban transport infrastructure. This has created an urgent need for effective strategies to address traffic congestion. In Kupang City, U-turn facilities in the median of major roads such as Piet A. Tallo Street, have become a cause of congestion due to the delays that occur when vehicles make a U-turn. Approaching vehicles are often forced to slow down to allow the U-turning vehicles to merge. In an effort to respond to the growing demands of traffic flow, this study aims to investigate the impact of U-turn facilities on road medians and provide recommendations that can improve the efficiency and smoothness of traffic on urban roads. Using VISSIM software, the simulation of the planned improvement scenario of closing U1, U2 and U3 and diverting them to U4 and improving the geometry of U4 with outer widening was carried out. The results showed that the delay only reached 15.46 seconds/vehicle with level of service C from the previous existing conditions which reached 65.15 seconds/vehicle with level of service F.

Keywords: delay, traffic, U-Turn, urban road, VISSIM

Abstrak

Pesatnya peningkatan jumlah kendaraan telah memberikan beban besar pada infrastruktur transportasi perkotaan. Hal ini memicu kebutuhan mendesak akan strategi yang efektif untuk mengatasi kemacetan lalu lintas. Di Kota Kupang, fasilitas U-turn di median jalan utama seperti Jalan Piet A. Tallo, telah menjadi penyebab kemacetan karena tundaan yang terjadi saat kendaraan berputar balik. Kendaraan yang mendekat sering dipaksa untuk melambat agar kendaraan yang berputar balik dapat bergabung. Dalam upaya memenuhi tuntutan arus lalu lintas yang terus meningkat, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dampak dari fasilitas U-turn di median jalan dan memberikan rekomendasi yang dapat meningkatkan efisiensi dan kelancaran lalu lintas di jalan perkotaan. Dengan menggunakan bantuan software VISSIM dilakukan simulasi skenario perbaikan yang direncanakan yaitu penutupan U1, U2 dan U3 dan mengalihkan ke U4 serta melakukan perbaikan geometri U4 yang dilengkapi dengan pelebaran luar (outer widening). Hasil menunjukkan bahwa tundaan hanya mencapai 15.46 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan C dari sebelumnya pada kondisi eksisting yang mencapai 65.15 detik/kendaraan dengan tingkat pelayanan F.

Kata kunci: lalu lintas, jalan perkotaan, tundaan, U-Turn, VISSIM

1. Pendahuluan

Penelitian mengenai arus lalu lintas telah menjadi pusat perhatian dalam pengembangan kota karena potensi nilai ekonominya (Lv et al., 2013). Peningkatan lalu lintas kendaraan yang pesat terus membebani infrastruktur transportasi (Smruti Sourava Mohapatra et al., 2012). Untuk memenuhi *demand* lalu lintas kendaraan yang terus meningkat, maka dilakukan peningkatan kapasitas jalan perkotaan baik dengan penambahan jalur maupun pelebaran jalan. Biasanya, di jalan dengan banyak lajur terdapat median untuk memisahkan pergerakan lalu lintas yang berlawanan. Di median dengan kerb disediakan bukaan sehingga kendaraan dapat berputar balik dan membalikkan arah pergerakannya dengan bergabung dengan arus lalu lintas di lajur yang berlawanan (Smruti Sourava Mohapatra et al., 2016). Median *U-turn* digunakan untuk mengurangi lalu lintas di persimpangan dengan volume lalu lintas tinggi dengan membuat belokan kiri lebih awal untuk meningkatkan kondisi lalu lintas di persimpangan tersebut (Combinido & Lim, 2010). Namun pergerakan putar balik pada bukaan median sangat kompleks dan berisiko jika dibandingkan dengan pergerakan putar balik di persimpangan (S. S. Mohapatra & Dey, 2015). Hal ini terjadi karena kombinasi dari kecepatan tinggi dan volume lalu lintas yang padat dari arus yang berlawanan, serta kendaraan yang melakukan belokan harus melakukan gerakan putar sebanyak 180 derajat dan bergabung dengan arus lalu lintas yang mendekat untuk mencari celah untuk masuk dan bergabung di jalur berlawanan (Kronprasert et al., 2020).

Kendaraan yang akan melakukan putar balik harus mengurangi kecepatan saat mendekati bagian *U-Turn*, berhenti di ujung bagian putaran balik ketika tidak ada celah yang cukup kemudian bergabung, dan menambah kecepatan saat memulai penggabungan. Pengendara yang ada pada jalur tujuan tentunya akan mengurangi kecepatan untuk memberikan kesempatan lalu lintas yang bergabung, berpindah ke lajur yang tepat, atau mengabaikan lalu lintas yang berbelok dan melanjutkan perjalanan di lajur mereka. Menurut (Inder Pal Meel, 2014) (I. P. Meel et al., 2017), putaran balik merupakan salah satu bagian jalan raya yang paling banyak menimbulkan kecelakaan lalu lintas. (Inder Pal Meel et al., 2017) melakukan penelitian di empat jenis putaran balik yaitu: putaran balik tanpa lajur bantu (*auxiliary lane*), putaran balik dengan lajur percepatan (*acceleration lane*), putaran balik dengan pelebaran luar (*outer widening*), dan putaran balik dengan lajur percepatan dan pelebaran luar. Hasilnya, nilai *Severity Conflict Rate* (SCR) yang relatif paling tinggi dan tingkat keselamatan jalan yang paling rendah terjadi jika suatu lokasi tidak memiliki lajur tambahan. Tingkat keselamatan jalan mencapai puncaknya ketika tata letak jalan hanya memiliki satu komponen, baik itu lajur akselerasi maupun pelebaran. Namun, ketika terdapat dua komponen di zona hilir, hal ini dapat menyebabkan area yang lebih luas untuk terjadinya interaksi konflik, yang pada gilirannya mengakibatkan penurunan tingkat keselamatan jalan.

Fasilitas *U-Turn* tidak secara keseluruhan mengatasi masalah konflik, sebab *U-Turn* itu sendiri akan menimbulkan permasalahan konflik tersendiri dalam bentuk hambatan terhadap arus lalu lintas yang berlawanan arah dan juga arus lalu lintas yang searah. Di Kota Kupang, NTT fasilitas *U-Turn* dapat ditemukan di ruas jalan-jalan utama dengan median, seperti Jalan Piet A. Tallo. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Wadu et al., 2020) Jalan Piet A. Tallo memiliki volume lalu lintas yang padat dengan perbandingan arus lalu lintas dan kapasitas mencapai 1,08 yang mengakibatkan kondisi macet total sehingga arus lalu lintas keluar hingga bahu jalan. Penempatan *U-Turn* pada median jalan menjadi salah satu penyebab kemacetan di lokasi tersebut. Ketika melakukan *U-Turn* kecepatan kendaraan dimana kendaraan akan melambat dan berhenti. Perlambatan ini akan mempengaruhi arus lalu lintas pada arah yang sama, pergerakan memutar arah ini akan menyebabkan tingginya volume lalu lintas, kecepatan kendaraan semakin rendah, dan kepadatan semakin tinggi di ruas Jalan Piet A. Tallo, Kota Kupang. Menurut penelitian yang dilakukan (Smruti Sourava Mohapatra & Dey, 2018) persentase variabilitas konflik yang berkisar

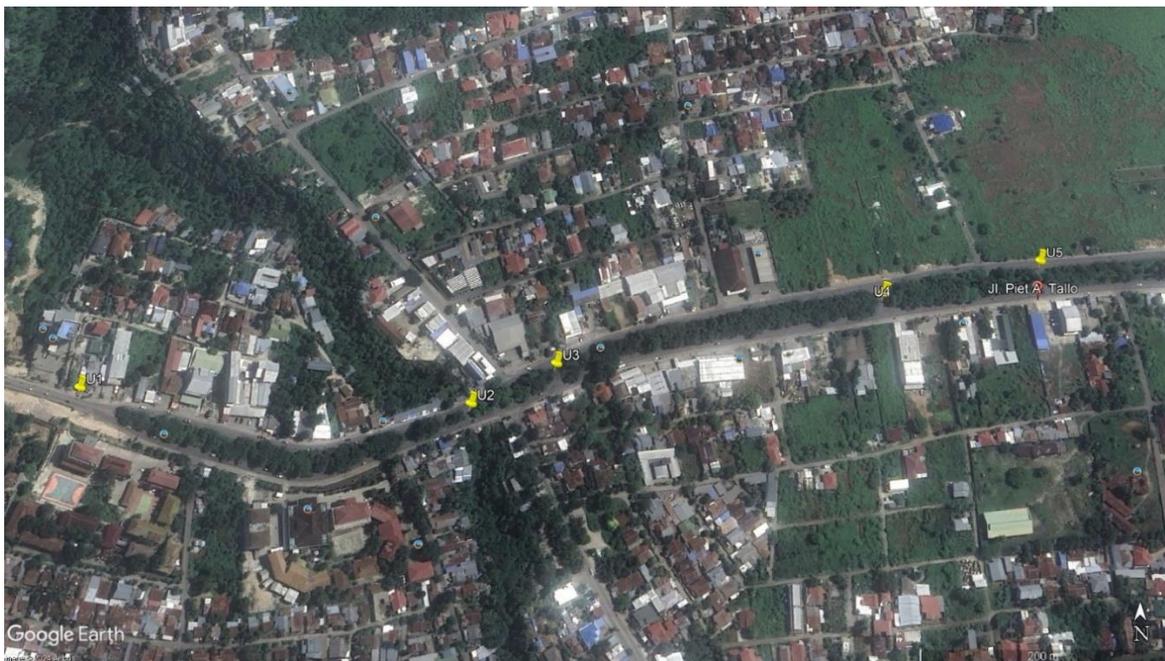
antara 30% hingga 53% dari volume lalu lintas yang mendekat menunjukkan bahwa sebagian besar konflik dalam situasi ini dapat dikatakan bersumber dari gerakan kendaraan yang melakukan *U-turn*.

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk melakukan identifikasi terhadap masalah-masalah yang sedang terjadi dalam akibat pergerakan *U-Turn*. Identifikasi ini menjadi landasan untuk menyusun berbagai skenario penanganan yang bertujuan meningkatkan kinerja lalu lintas pada *U-Turn* sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan kelancaran lalu lintas.

2. Metode Penelitian

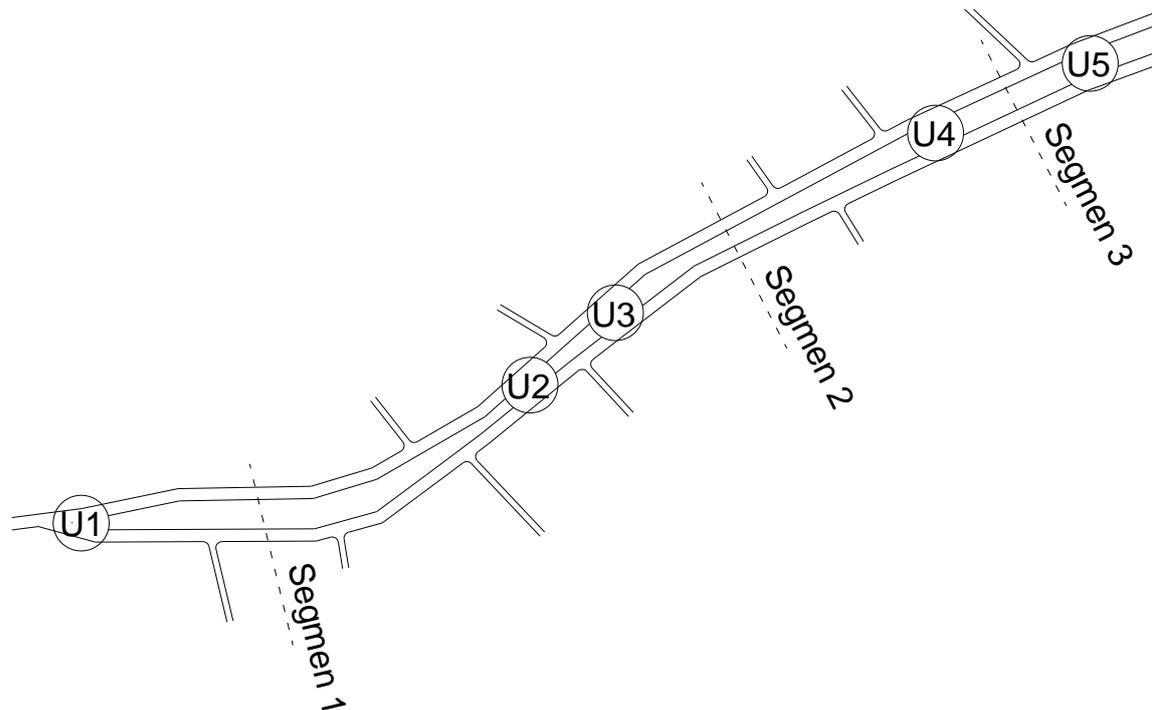
2.1 Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan pada segmen ruas Jalan Piet A. Tallo di Kota Kupang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Jalan Piet A. Tallo Kota Kupang memiliki panjang 1,15 km dengan perkerasan lentur konfigurasi tipe 4/2T yang terdapat median taman yang berfungsi sebagai pemisah fisik, yang dirancang tidak hanya untuk meningkatkan keamanan pengguna jalan, tetapi juga untuk menambah estetika jalan. Penelitian ini akan menyoroti keberadaan lima *U-Turn* yang terdapat pada segmen ruas Jalan Piet A. Tallo. *U-Turn* ini menjadi fokus penelitian karena perannya yang krusial dalam mengatur pergerakan lalu lintas dan memfasilitasi perubahan arah kendaraan.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data primer yang dikumpulkan meliputi geometri jalan, arus lalu lintas pada segmen jalan, dan volume kendaraan yang melakukan putar balik mulai dari *U-Turn*1 sampai dengan *U-Turn*5 dengan masing-masing *U-Turn* diberi kode sesuai posisinya yakni U1, U2, U3, U4 dan U5 seperti terlihat pada Gambar 2. Selanjutnya, untuk mengumpulkan data, sebanyak 6 orang surveyor ditempatkan pada setiap segmen jalan, dengan pembagian 3 orang di sisi utara dan 3 orang di sisi selatan. Pada setiap *U-Turn*, ditempatkan 3 orang surveyor yang mencatat volume kendaraan yang melakukan putar balik. Area yang sering mengalami kemacetan yaitu pada area segmen 1 dan segmen 2 sehingga *U-Turn* pada kedua area itu yang menjadi perhatian khusus pada penelitian ini.



Gambar 2 Sketsa Lokasi Penelitian

2.2 Simulasi Traffic

Evaluasi lalu lintas dilakukan untuk menghitung panjang antrian dan tundaan di jalan akibat gerakan putar balik pada bukaan median. Simulasi lalu lintas dilakukan menggunakan perangkat lunak *VISSIM Student Version*. Setelah mendapatkan hasil dari kondisi eksisting, beberapa skenario disimulasikan untuk meningkatkan kinerja lalu lintas. Simulasi lalu lintas ini tetap menggunakan perangkat lunak VISSIM sebagai alat bagi para professional untuk menemukan kondisi yang paling ideal (Al-Msari et al., 2024). VISSIM bekerja dengan delapan model perilaku kendaraan: mengikuti kendaraan, berpindah lajur, kontrol sinyal, otonom, kesalahan pengemudi, dan mesoscopic (PTV Group, 2020). Perilaku mengikuti kendaraan di VISSIM menggunakan model psikofisik dan diskrit Wiedemann, yang mengasumsikan pengemudi bisa berada dalam empat keadaan: mengikuti, mengemudi bebas, mendekat, atau mengerem. Perubahan perilaku ini ditentukan oleh ambang batas tertentu. Model berpindah lajur di VISSIM didasarkan pada model Sparmann, yang dikembangkan oleh Willmann dan Sparmann pada tahun 1978. Menurut referensi, model Sparmann adalah model berbasis aturan yang mengklasifikasikan perpindahan lajur menjadi berpindah ke lajur yang lebih cepat atau lebih lambat (Gao & Rakha, 2008).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Eksisting

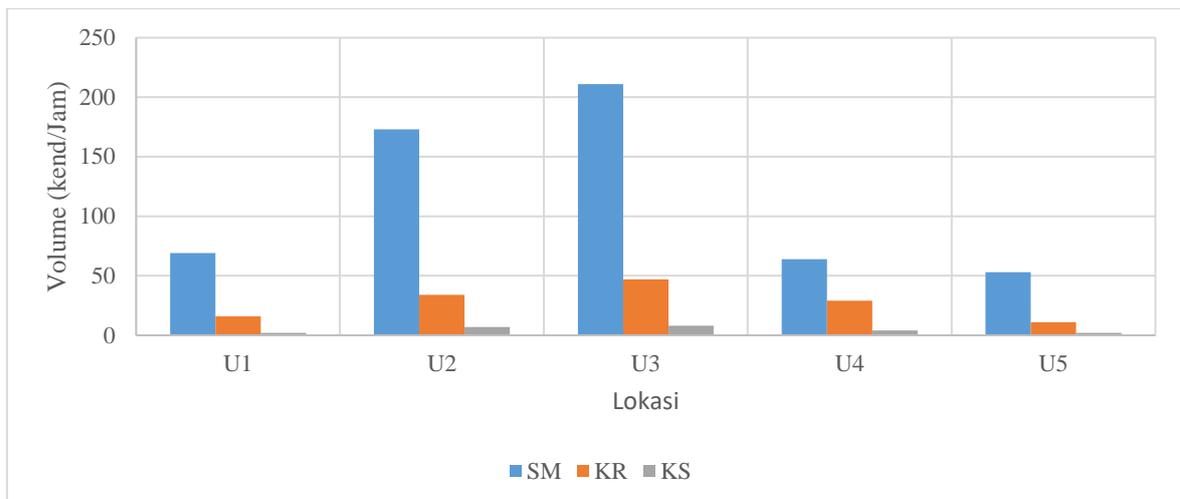
Kondisi eksisting *U-Turn* pada ruas jalan Piet A. Tallo adalah putaran balik tanpa lajur bantu (*auxiliary lane*). Tipe jalan pada ruas ini adalah 4/2T, yang kemudian menyempit menjadi 2/2T, seperti yang terlihat pada Gambar 1 di arah U1, yang berdekatan dengan U1. Lebar masing-masing lajur ini adalah 3,5 meter. Tabel 1 menunjukkan data geometrik lengkap dari U1 hingga U5 yang berada pada ruas Jalan Piet A. Tallo dengan lebar bukaan terbesar ada pada U1 yang merupakan

pertemuan penyempitan 4/2T menjadi 2/2TT. Namun perlu dicatat pada U1 hanya kendaraan dari sisi selatan yang bisa melakukan *U-Turn*.

Tabel 1 Geometrik Eksisting *U-Turn*

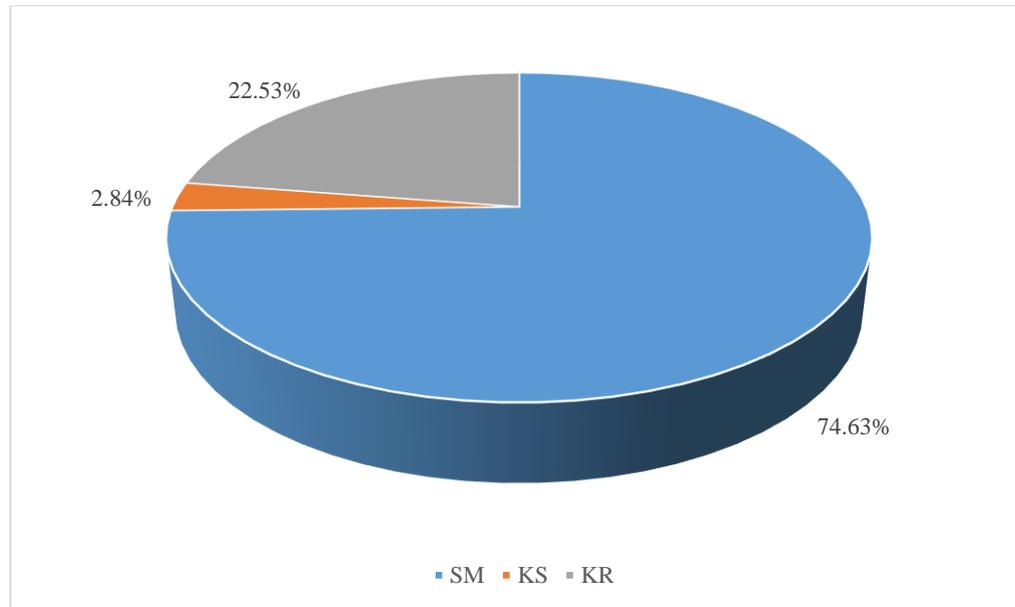
Lokasi	Panjang Bukaannya <i>U-Turn</i> (m)
U1	16.5
U2	7
U3	6.6
U4	7.6
U5	6

Berdasarkan Gambar 3, pada kondisi jam puncak, volume arus lalu lintas yang melakukan pergerakan putar balik paling banyak terjadi pada U3 dengan jenis kendaraan sepeda motor (MC) 211 kend/jam, kendaraan ringan (KR) 47 kend/jam dan kendaraan berat (KB) 8 kend/jam. Begitu juga dengan U2 yang memiliki volume arus lalu lintas terbanyak setelah U1. Hal ini menunjukkan bahwa titik konflik paling banyak terjadi di U3 dan U2 yang kemudian diikuti dengan U1, U4, dan U5. Padahal berdasarkan Tabel 1, bukaan median U2 dan U3 memiliki panjang bukaan yang tidak memenuhi standar, berdasarkan SNI 2444:2008 tentang Spesifikasi Bukaan Pemisah Jalur minimal 12 meter untuk jalan arteri.



Gambar 3 Volume *U-Turn*

Berdasarkan Gambar 3 komposisi kendaraan yang melakukan putar balik pada U1 sampai U5 adalah 2,84% untuk kendaraan sedang (KS), 74,63% untuk sepeda motor (SM) dan sisa lainnya adalah kendaraan ringan (KR). Hal ini menunjukkan sepeda motor menjadi jenis kendaraan yang paling dominan melakukan putar balik. Dengan sepeda motor sebagai mayoritas kendaraan yang melakukan putar balik, risiko kecelakaan bisa meningkat jika fasilitas yang ada tidak memadai. Perlu ada penekanan pada keselamatan pengendara sepeda motor.



Gambar 4 Komposisi Kendaraan pada U-Turn

Berdasarkan Tabel 2, jika merujuk pada *Highway Capacity Manual* (Washington, 2016) kinerja segmen ruas kondisi eksisting berdasarkan rasio volume dan kapasitas atau derajat kejenuhan pada segmen 1 utara dan segmen 2 utara berada pada tingkat pelayanan A dengan nilai derajat kejenuhan 0.00-0.60 yang artinya kondisi arus bebas dengan kemampuan manuver tanpa hambatan dan tundaan berhenti pada simpang bersinyal minimal, sedangkan segmen 1 selatan, segmen 2 selatan dan segmen 3 utara ada pada tingkat pelayanan B dengan nilai derajat kejenuhan 0.61-0.70 yang artinya operasi lalu lintas masih berlangsung dengan lancar meskipun kemampuan manuver sedikit terbatas dengan tundaan yang terjadi tidak mengganggu kelancaran lalu lintas dan terakhir segmen 3 selatan yang berada pada tingkat pelayanan C dengan nilai derajat kejenuhan 0.71-0.80 yang artinya pperasi lalu lintas tetap stabil meskipun terdapat sedikit lebih banyak hambatan saat melakukan perubahan lajur dibandingkan dengan tingkat pelayanan B. Namun, jika merujuk pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 96 Tahun 2015 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas, tingkat pelayanan berdasarkan kecepatan rata-rata Segmen 1 utara dan Segmen 1 selatan berada pada tingkat pelayanan F (<30 km/jam). Hal ini disebabkan oleh banyaknya simpang dengan lingkungan perumahan yang padat, sehingga banyak kendaraan yang melakukan manuver keluar masuk gang serta melakukan pergerakan putar balik. Sedangkan pada Segmen 2 utara dan Segmen 2 selatan berada pada tingkat pelayanan D (30-50 km/jam), di mana kecepatan terganggu akibat adanya pergerakan putar balik di U3 menuju area yang terdapat SPBU. Pada Segmen 3 utara dan Segmen 3 selatan, tingkat pelayanan berada pada tingkat pelayanan C (60-70 km/jam).

Tabel 2 Kinerja Eksisting Segmen Ruas

Parameter	Segmen 1 Utara	Segmen 1 Selatan	Segmen 2 Utara	Segmen 2 Selatan	Segmen 3 Utara	Segmen 3 Selatan
Volume (smp/jam)	1113	1783	1559	1851	1861	2099
Derajat Kejenuhan	0.449	0.653	0.559	0.651	0.627	0.722
Kecepatan (km/jam)	15.22	16.34	43.53	32.42	63.35	55.35

Berdasarkan Tabel 3, kinerja eksisting *U-Turn* yang paling buruk terjadi pada U3 dengan tundaan pada sisi utara mencapai 65,15 detik/kendaraan dengan Panjang antrian 28,915 meter dan Panjang antrian maksimum mencapai 49,83 meter. Berdasarkan HCM (Washington, 2016) dengan tundaan 65,15 detik/kendaraan ini merupakan tundaan yang ekstrim berpotensi mempengaruhi >50% pergerakan lalu lintas lainnya di sekitar U3. Sedangkan pada U4 dan U5 tundaan kurang dari 10 detik/kendaraan yang dikategorikan oleh HCM sebagai tundaan sedikit atau tanpa penundaan.

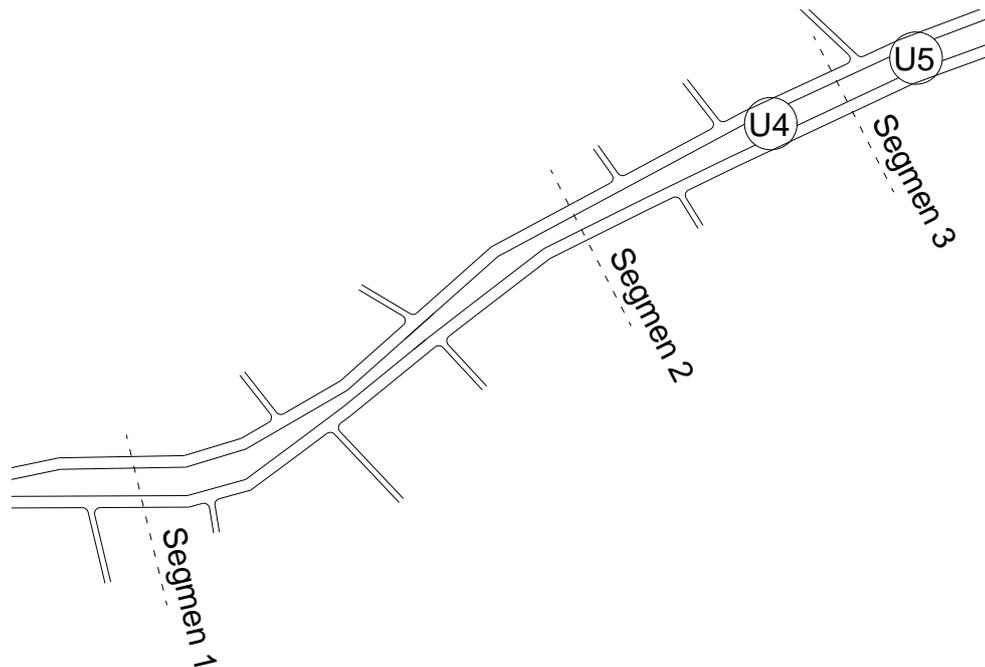
Tabel 3 Kinerja Eksisting *U-Turn*

Lokasi	Panjang Antrian (m)	Panjang Antrian Maksimum (m)	Tundaan (detik)
U1	25.47	56.94	39.31
U2 Utara	8.21	10.42	40.23
U2 Selatan	38.475	64.95	51.67
U3 Utara	28.915	49.83	65.15
U3 Selatan	10.625	19.25	49.38
U4 Utara	11.29	14.58	5.29
U4 Selatan	0	22.8	3.37
U5 Utara	9.38	12.76	4.49
U5 Selatan	0	6.6	2.25

Kondisi eksisting menunjukkan bahwa lalu lintas di ruas Jalan Piet A. Tallo menghadapi beberapa masalah signifikan, terutama di sekitar *U-Turn*. *U-Turn* di U3 mengalami masalah besar dengan tundaan yang sangat tinggi, yaitu 65,15 detik per kendaraan, serta panjang antrian yang sangat panjang. Ini berarti kendaraan sering mengalami kemacetan parah di U3, yang juga berdampak buruk pada arus lalu lintas di sekitarnya. Banyaknya sepeda motor yang melakukan putar balik di area ini juga meningkatkan risiko kecelakaan, karena fasilitas saat ini mungkin tidak cukup memadai untuk menampung semua kendaraan dengan aman. Sebaliknya, *U-Turn* di U4 dan U5 menunjukkan kinerja yang jauh lebih baik dengan tundaan yang rendah, artinya arus lalu lintas di sana tidak terganggu banyak. Perbedaan ini menunjukkan bahwa desain atau pengelolaan *U-Turn* di U3 perlu diperbaiki. Secara keseluruhan, untuk mengatasi masalah kemacetan dan meningkatkan keselamatan, perlu dilakukan perbaikan pada infrastruktur dan pengelolaan lalu lintas, terutama di U3.

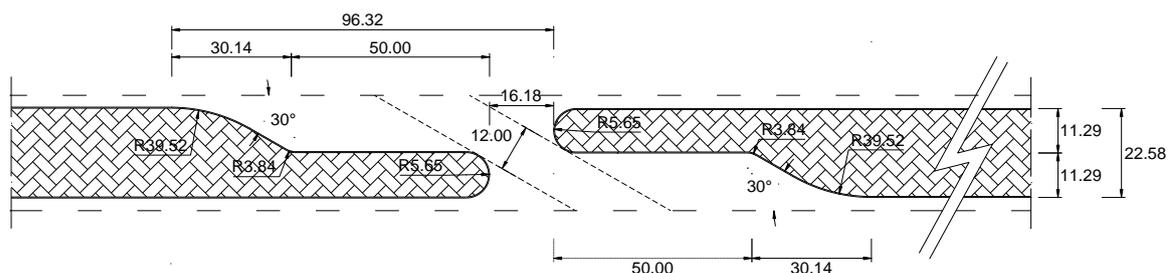
3. 1 Skenario Penanganan

Merujuk pada hasil pada Tabel 2 ternyata untuk segmen ruas tidak memiliki masalah pada rasio volume dan kapasitas tapi masalah terdapat pada kecepatan rata-rata kendaraan pada ruas yang terdampak akibat pergerakan *U-Turn* mulai dari U1, U2, dan U3. Atas dasar inilah alternatif penanganan yang akan diambil adalah penutupan U1, U2, dan U3 dan mengalihkan semua putar balik menuju ke U4 seperti yang digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 5 Alternatif Penanganan pada Lokasi Studi

Untuk mengantisipasi kenaikan volume putar balik pada U4, dilakukan perbaikan sesuai dengan standar yang diatur dalam SNI 2444:2008 tentang Spesifikasi Bukaannya Pemisah Jalur. Standar tersebut menetapkan panjang minimal bukaan sebesar 12 meter pada jalan arteri. Oleh karena itu, direncanakan putaran balik dengan pelebaran luar (*outer widening*), karena *U-Turn* tipe ini merupakan tipe yang paling aman dengan nilai *Severity Conflict Rates (SCR)* paling rendah bila dibandingkan dengan tipe *U-Turn* yang lain karena memiliki lajur khusus untuk kendaraan yang akan masuk *U-Turn* (Inder Pal Meel et al., 2017). Bukaannya ini direncanakan memiliki panjang 16,16 meter dan lebar 12 meter, sesuai yang tergambar pada Gambar 6.



Gambar 6 Perbaikan Geometrik pada U4

Tabel 4 menunjukkan hasil simulasi dari solusi alternatif yang direncanakan. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tundaan di *U-Turn* U4 utara dapat dikurangi menjadi hanya 15,46 detik per kendaraan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas, tundaan sebesar ini termasuk dalam tingkat pelayanan C, yang berada dalam rentang 15-25 detik per kendaraan. Ini menunjukkan bahwa U4 utara sudah berada pada tingkat pelayanan yang memadai. Sementara itu, untuk *U-Turn* lainnya, tundaan tercatat kurang dari 15 detik per kendaraan, yang berarti termasuk dalam tingkat

pelayanan B atau bahkan A. Tingkat pelayanan B (10-15 detik per kendaraan) dan A (kurang dari 10 detik per kendaraan) menunjukkan kondisi lalu lintas yang sangat baik dengan sedikit atau tanpa penundaan.

Tabel 4 Kinerja *U-Turn* Setelah Solusi Penanganan Dilakukan

Lokasi	Panjang Antrian (meter)	Panjang Antrian Maksimum (meter)	Tundaan (dtk/kend)
U4 Utara	17.21	21.70	15.46
U4 Selatan	8.55	16.74	9.36
U5 Utara	9.74	16.57	5.39
U5 Selatan	1.34	7.6	3.25

Dengan demikian, solusi alternatif yang direncanakan berhasil meningkatkan kinerja lalu lintas secara keseluruhan, mengurangi tundaan, dan memperbaiki tingkat pelayanan di seluruh *U-Turn* yang diperiksa.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis kinerja segmen jalan berdasarkan rasio volume dan kapasitas atau derajat kejenuhan, ditemukan bahwa segmen tersebut awalnya menunjukkan tingkat pelayanan A. Namun, ketika dievaluasi menggunakan kriteria kecepatan rata-rata sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas, ditemukan bahwa Segmen 1 utara dan Segmen 1 selatan berada pada tingkat pelayanan F. Khususnya pada *U-Turn* U3, terjadi kondisi paling buruk dengan tundaan mencapai 65,15 detik per kendaraan, yang berpotensi mengganggu lebih dari 50% pergerakan lalu lintas di sekitarnya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan penutupan *U-Turn* U1, U2, dan U3 serta mengalihkan semua arus balik menuju U4. Modifikasi geometrik pada U4 berhasil meningkatkan kinerjanya ke tingkat pelayanan C dengan tundaan 15-25 detik per kendaraan, sementara *U-Turn* lainnya memiliki tundaan kurang dari 15 detik per kendaraan, memenuhi tingkat pelayanan B dan A. Dengan perubahan ini, perbaikan signifikan dalam manajemen lalu lintas di segmen jalan tersebut berhasil dicapai, mengurangi tundaan dan meningkatkan kelancaran arus lalu lintas secara keseluruhan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ini secara khusus ditujukan kepada Politeknik Negeri Kupang atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh civitas akademika Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan kontribusi dan bantuan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Al-Msari, H., Koting, S., Ahmed, A. N., & El-shafie, A. (2024). Review of driving-behaviour simulation: VISSIM and artificial intelligence approach. *Heliyon*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25936>
- Combinido, J. S. L., & Lim, M. T. (2010). Modeling U-turn traffic flow. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 389(17). <https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.04.009>
- Gao, Y., & Rakha, H. (2008). Calibration and Comparison of the VISSIM and INTEGRATION

Microscopic Traffic Simulation Models. *Fuel*.

- Kronprasert, N., Kuwiboon, P., & Wichitphongsa, W. (2020). SAFETY AND OPERATIONAL ANALYSIS FOR MEDIAN U-TURN INTERSECTIONS IN THAILAND. *International Journal of GEOMATE*, 18(68). <https://doi.org/10.21660/2020.68.9250>
- Lv, W., Song, W. G., Fang, Z. M., & Ma, J. (2013). Modelling of lane-changing behaviour integrating with merging effect before a city road bottleneck. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 392(20). <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.06.034>
- Meel, I. P., Brannolte, U., Satirasetthavee, D., & Kanitpong, K. (2017). Safety impact of application of auxiliary lanes at downstream locations of Thai U-turns. *IATSS Research*, 41(1). <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.06.002>
- Meel, Inder Pal. (2014). The Optimal Design of U-Turns on Thai Highways. *Acta Technica Jaurinensis*, 7(1). <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v7.n1.21>
- Meel, Inder Pal, Vesper, A., Borsos, A., & Koren, C. (2017). Evaluation of the effects of auxiliary lanes on road traffic safety at downstream of U-turns. *Transportation Research Procedia*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.186>
- Mohapatra, S. S., & Dey, P. P. (2015). Lateral placement of U-turns at median openings on six-lane divided urban roads. *Transportation Letters*, 7(5). <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000052>
- Mohapatra, Smruti Sourava, Bhuyan, P. K., & Krishna Rao, K. V. (2012). Genetic algorithm fuzzy clustering using GPS data for defining level of service criteria of Urban streets. In *European Transport - Trasporti Europei* (Issue 52).
- Mohapatra, Smruti Sourava, & Dey, P. P. (2018). Estimation of U-Turn Capacity at Median Openings. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 144(9). <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000174>
- Mohapatra, Smruti Sourava, Dey, P. P., & Chandra, S. (2016). Conflicting volume for U-turns at uncontrolled median openings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 169(4). <https://doi.org/10.1680/jtran.14.00089>
- PTV Group. (2020). PTV Vissim 2020 User Manual. *Ptv Ag*.
- Wadu, A., Tuati, A. A., & Sodanango, M. R. (2020). Strategy To Reduce Traffic Jams On Piet A. Tallo Street, Kupang City. *UKaRsT*, 4(2). <https://doi.org/10.30737/ukarst.v4i2.1014>
- Washington, D. C. (2016). HCM 2016 : Highway Capacity Manual. *Transportation Research Board*.