



Simulasi Pengaturan Waktu Delay pada *Pelican Crossing* di Jalan Dharmawangsa dalam untuk Meminimalkan Waktu Tunggu Kendaraan di Kampus B Universitas Airlangga

Vivian Angelina^{1*}, Aprilia Margareta Andreas², Nathanel Wardana³, Norbert Isa Yoga⁴

¹⁻⁴ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala
Surabaya, Indonesia

Alamat: Jl. Kalijudan No.37, Kota Surabaya, Jawa Timur, (031)38939933

Korespondensi penulis: indeng.nathanel.w.22@ukwms.ac.id*

Abstract. The objective of this study is to examine the simulation of delay time settings on the pelican crossing to minimize vehicle waiting time. The research was conducted through direct observation at two pelican crossing points behind UNAIR Campus B, specifically at the entrance gate side and the opposite side, to capture real usage conditions during peak student hours. This study employs a quantitative approach using the Discrete Event Simulation (DES) method to model and analyze the behavior of the pelican crossing system under various delay time and signal duration scenarios, with the aim of minimizing vehicle waiting time on Dharmawangsa Street, Surabaya. Data collection was carried out using primary data through manual observation with a stopwatch on a mobile phone. The Design of Experiments (DoE) model explains approximately 87% of the response variation across both lanes with relatively small error. Furthermore, the main effects plot and interaction plot confirm that the addition of delay is the key factor in achieving service equity. Thus, the initial decision to select the 13th scenario is now supported by statistical evidence from the DoE, confirming that a 15-second delay setting and a 10-second green light duration represent the optimal point for vehicle efficiency and pedestrian convenience.

Keywords: Delay Time; Pelican Crossing; Waiting Time

Abstrak. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui simulasi pengaturan waktu delay pada pelican crossing untuk meminimalkan waktu tunggu kendaraan. Penelitian dilakukan dengan melakukan observasi langsung di dua titik *pelican crossing* belakang Kampus B UNAIR yaitu sisi gerbang masuk dan sisi seberangnya untuk menangkap kondisi nyata penggunaan fasilitas pada jam puncak mahasiswa. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Discrete Event Simulation* (DES) yang digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan dan menganalisis perilaku sistem *pelican crossing* dalam berbagai skenario konfigurasi waktu *delay* dan durasi lampu pelican, guna meminimalkan waktu tunggu kendaraan di Jalan Dharmawangsa, Surabaya. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data primer yaitu berupa pengamatan secara manual dengan stopwatch pada ponsel. Model DoE menjelaskan sekitar 87 % variasi selisih respons pada kedua jalur dengan error yang relatif kecil, sementara plot main effects dan interaction plot mengonfirmasi bahwa penambahan delay adalah kunci utama untuk mencapai kesetaraan layanan. Dengan demikian, keputusan awal untuk memilih skenario ke-13 kini diperkuat oleh bukti statistik DoE, menegaskan bahwa pengaturan delay 15 detik dan durasi hijau 10 detik merupakan titik optimal bagi efisiensi kendaraan dan kenyamanan penyeberang.

Kata kunci: Pelican Crossing; Waktu Delay; Waktu Tunggu

1. LATAR BELAKANG

Transportasi merupakan elemen vital dalam mendukung aktivitas masyarakat (Ilham et al., 2020). Keselamatan pejalan kaki yang menyeberang jalan guna menjamin keselamatannya maka telah dipasang sistem *Pelican Crossing* (*Pedestrian Light Controlled Crossing*) sebagai fasilitas penyeberangan yang dilengkapi lampu lalu lintas. Meskipun keberadaan *Pelican Crossing* terbukti meningkatkan keselamatan pengguna jalan, sering kali pengaturannya tidak optimal (Musa et al., 2022). Terutama pada jam sibuk, pengaktifan

Pelican Crossing yang terlalu sering atau dengan waktu delay yang tidak tepat justru menimbulkan antrean panjang dan waktu tunggu yang signifikan bagi kendaraan bermotor. Hal ini berpotensi menimbulkan kemacetan lokal, meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta menurunkan efisiensi lalu lintas di sekitar kampus.

Pada sistem transportasi perkotaan, keberadaan fasilitas penyeberangan seperti *pelican crossing* menjadi komponen penting dalam menjamin keselamatan dan aksesibilitas bagi pejalan kaki (Termida et al., 2019). Fasilitas ini memungkinkan pejalan kaki untuk menghentikan arus kendaraan dengan menekan tombol sinyal, yang kemudian akan mengubah lampu lalu lintas menjadi merah agar dapat menyeberang dengan aman. Namun demikian, fleksibilitas ini dapat berdampak negatif terhadap arus kendaraan, terutama di wilayah padat seperti kawasan kampus.

Beberapa studi telah mengevaluasi dampak *pelican crossing* terhadap lalu lintas kendaraan. Nugraha et al. (2021) menunjukkan bahwa frekuensi penekanan tombol *pelican crossing* secara signifikan meningkatkan panjang antrian dan waktu tundaan kendaraan di Jalan Asia Afrika, Bandung. Penelitian serupa oleh Pribadi et al. (2021) di Jalan Gajah Mada, Pontianak juga menyimpulkan bahwa *pelican crossing* berkontribusi pada peningkatan panjang antrian kendaraan. Selain itu, Damarjati (2020) menemukan bahwa penggunaan *pelican crossing* di Jalan Pajajaran, Bogor, menyebabkan panjang antrian kendaraan meningkat hingga 2,77 km dan rata-rata waktu tundaan mencapai 78,90 detik. Penelitian-penelitian tersebut menyoroti bahwa walaupun *pelican crossing* penting bagi keselamatan pejalan kaki, pengaturannya yang tidak optimal dapat menimbulkan masalah lalu lintas baru.

Namun, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pengaruh *pelican crossing* dari sisi panjang antrian dan perilaku pengguna jalan tanpa mempertimbangkan strategi penjadwalan sinyal secara dinamis. Studi oleh Tan et al. (2023) mulai mengeksplorasi optimasi sinyal penyeberangan dengan simulasi, namun belum secara spesifik menyoroti efek dari pengaturan *delay time* (waktu jeda antara lampu menyala hingga menyala kembali) terhadap waktu tunggu kendaraan. Padahal, pengaturan *delay time* yang tepat berpotensi menjadi solusi kompromi antara efisiensi arus kendaraan dan kenyamanan penyeberang jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan membangun model simulasi menggunakan perangkat lunak Arena untuk mengevaluasi pengaruh variasi *delay time* dan durasi lampu merah pada *pelican crossing* terhadap waktu tunggu kendaraan. Studi ini dilakukan di lingkungan Kampus B Universitas Airlangga, di mana intensitas penyeberangan yang tinggi kerap menyebabkan antrean kendaraan yang panjang, terutama pada jam sibuk. Melalui pendekatan simulasi, penelitian ini tidak hanya menyajikan estimasi kuantitatif

terhadap waktu tunggu, namun juga memberikan dasar analitis dalam merumuskan kebijakan pengaturan sinyal pelican yang adil dan efisien.

Fokus utama dari penelitian ini adalah menganalisis sejauh mana variasi pada *delay time* dan durasi lampu merah dalam sistem pelican crossing berpengaruh terhadap efisiensi lalu lintas, khususnya dalam bentuk waktu tunggu kendaraan di kawasan Kampus B Universitas Airlangga. *Delay time* ini menentukan seberapa sering pejalan kaki dapat mengaktifkan sinyal penyeberangan, yang secara langsung berdampak pada frekuensi penghentian arus lalu lintas. Dengan menjawab pertanyaan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem manajemen lalu lintas berbasis simulasi yang lebih adaptif, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi kendaraan dan kenyamanan pejalan kaki di kawasan kampus yang padat aktivitas seperti Kampus B Universitas Airlangga.. Selain pendekatan pengendalian kualitas statistik, analisis sistem pelican crossing dalam konteks lalu lintas perkotaan memerlukan pemahaman yang komprehensif terhadap dinamika antrean, perilaku pengguna jalan, serta strategi pengendalian sinyal berbasis simulasi.

Teori Antrean (*Queueing Theory*) menjadi landasan penting dalam menjelaskan karakteristik sistem pelayanan yang melibatkan kedatangan acak entitas (dalam hal ini kendaraan dan pejalan kaki) serta waktu pelayanan yang bervariasi (Chocron et al., 2024). Model-model seperti $M/G/1$ dan $G/G/1$ merepresentasikan sistem antrean dengan distribusi interarrival dan service time non-ekspensial, yang lebih mencerminkan kondisi riil lalu lintas di lapangan (Wu et al., 2024). Dalam konteks jalan raya, pola kedatangan kendaraan seringkali membentuk kelompok (*platooning*) sebagai dampak dari lampu lalu lintas di persimpangan sebelumnya, sehingga distribusi Lognormal dinilai tepat untuk menggambarkan karakteristik kedatangan kendaraan (Su et al., 2023). Sementara itu, distribusi Beta digunakan untuk memodelkan kedatangan pejalan kaki karena fleksibilitas bentuk distribusinya yang sesuai dengan pola kedatangan dalam durasi waktu tertentu (Espinoza Mondragón et al., 2018).

Selain aspek antrean, perilaku pejalan kaki dalam mengambil keputusan untuk menyeberang juga menjadi variabel penting dalam sistem pelican crossing. Model gap acceptance digunakan untuk menganalisis kecenderungan pejalan kaki dalam menerima atau menolak celah waktu antara kendaraan saat hendak menyeberang. Faktor-faktor seperti tingkat kepadatan lalu lintas, persepsi risiko, serta kondisi sosial di sekitar lingkungan kampus turut memengaruhi keputusan tersebut. Sistem pelican crossing sendiri menggunakan prinsip actuated signal control, di mana sinyal lalu lintas hanya aktif ketika pejalan kaki menekan tombol (push button). Dalam sistem ini, parameter seperti *delay time* (waktu jeda antara penekanan tombol dan perubahan sinyal) serta durasi lampu merah menjadi variabel yang dapat

memengaruhi performa lalu lintas, baik dari sisi efisiensi kendaraan maupun kenyamanan penyeberang.

Untuk mengevaluasi pengaruh parameter-parameter tersebut secara sistematis, penelitian ini menerapkan metode simulasi diskrit-peristiwa (Discrete-Event Simulation) dengan memanfaatkan perangkat lunak Arena®. Arena® menyediakan lingkungan pemodelan yang memungkinkan visualisasi proses, pengaturan logika sistem, serta pengolahan data input melalui fitur Input Analyzer guna menentukan distribusi statistik yang paling sesuai. Selanjutnya, dilakukan proses verifikasi dan validasi model guna memastikan bahwa model simulasi yang dibangun merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Dalam rangka menganalisis pengaruh kombinasi variabel terhadap waktu tunggu kendaraan, digunakan pendekatan desain eksperimen faktorial penuh yang dikombinasikan dengan analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk mengidentifikasi pengaruh utama serta interaksi antar faktor secara statistik. Dengan pendekatan ini, hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih objektif dan efisien dalam pengaturan sinyal pelican crossing di kawasan padat aktivitas seperti Kampus B Universitas Airlangga.

Urgensi dari penelitian ini terletak pada permasalahan nyata yang terjadi di sekitar Kampus B Universitas Airlangga, khususnya di Jalan Dharmawangsa Dalam, di mana terjadi kepadatan lalu lintas yang signifikan akibat penggunaan pelican crossing oleh pejalan kaki, terutama mahasiswa. Ketidakseimbangan antara kebutuhan penyeberangan pejalan kaki dan kelancaran arus kendaraan menyebabkan waktu tunggu kendaraan menjadi tinggi, yang berpotensi menimbulkan kemacetan, polusi, dan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan solusi teknis yang berbasis data dan pendekatan sistematis untuk mengoptimalkan pengaturan waktu delay pada pelican crossing guna menciptakan efisiensi lalu lintas tanpa mengabaikan aspek keselamatan pejalan kaki.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan *Discrete Event Simulation (DES)* dalam konteks pelican crossing yang jarang dikaji secara kuantitatif di lingkungan kampus perkotaan di Indonesia. Studi ini juga memanfaatkan pemodelan eksperimen dengan pendekatan *Design of Experiments (DoE)* untuk menghasilkan skenario optimal yang tidak hanya mengurangi waktu tunggu kendaraan, tetapi juga mempertahankan kenyamanan pejalan kaki. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan metode simulasi berbasis data yang aplikatif dan dapat direplikasi di lokasi lain yang menghadapi permasalahan serupa dalam manajemen lalu lintas mikro.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan observasi langsung di dua titik *pelican crossing* belakang Kampus B UNAIR yaitu sisi gerbang masuk dan sisi seberangnya untuk menangkap kondisi nyata penggunaan fasilitas pada jam puncak mahasiswa. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif (Sugiyono, 2022) dengan metode *Discrete Event Simulation* (DES) yang digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan dan menganalisis perilaku sistem *pelican crossing* dalam berbagai skenario konfigurasi waktu *delay* dan durasi lampu pelican, guna meminimalkan waktu tunggu kendaraan di Jalan Dharmawangsa, Surabaya. Studi literatur untuk penelitian ini mencakup *Discrete Event Simulation* (DES) yaitu suatu metode yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis sistem antrian dengan menggunakan konsep matematika dan komputer.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data primer yaitu berupa pengamatan secara manual dengan stopwatch pada ponsel (toleransi $\approx 0,001$ s), dan dicatat langsung ke lembar observasi digital. Data pengamatan digunakan untuk mengetahui distribusi waktu antar kedatangan kedua entitas yakni kendaraan dan penyeberang. Pengamatan dilakukan pada tiga hari terpisah dengan waktu masing-masing pengamatan selama 1 jam. Data yang dikumpulkan adalah waktu antar-kedatangan kendaraan dan penyeberang (*interarrival*), frekuensi penekanan tombol pelican, jumlah kendaraan yang menunggu saat lampu merah (dihitung terpisah pada sesi observasi berbeda), waktu tunggu individu kendaraan, waktu reaksi kendaraan dari lampu hijau hingga bergerak (diasumsikan *delay* kendaraan konstan dengan rata-rata data sebelumnya sebesar 0,322 s), lamanya lampu kuning (3 s) dan lampu merah (10 s) setelah penekanan tombol. Untuk variabel “jumlah kendaraan menunggu” digunakan *snapshot count* pada awal lampu merah dalam sesi observasi terpisah. Sampel diambil secara *time-based sampling*, yakni merekam seluruh kejadian dalam setiap sesi observasi 1 jam, tanpa membedakan jumlah unit per kategori. Teknik ini memudahkan estimasi volume arus pejalan kaki dan kendaraan serta distribusi *interarrival time* dan frekuensi penekanan tombol, sesuai dengan prosedur perhitungan pejalan kaki pada persimpangan. Pendekatan ini konsisten dengan protokol *field observation* untuk studi perilaku pejalan kaki di persimpangan jalan (Feng et al., 2021) dan validasi metode video versus observasi lapangan (Madigan MT, Bender KS, Buckley DH, Sattle WM, 2021). Setelah pengumpulan data dilakukan maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pengolahan dari data-data yang telah didapatkan, pada penelitian ini, digunakan beberapa perangkat lunak untuk mengolah data, yaitu Microsoft Excel 2019, Minitab dan Arena Simulation. Data mentah diolah menggunakan *Input Analyzer* di Arena

Simulation Software untuk memperoleh distribusi waktu *interarrival* dan frekuensi penekanan. Distribusi yang digunakan setiap data dapat dilihat melalui Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Kendaraan dan Penyeberang

Data	Distribusi yang digunakan
Kendaraan sisi A (lawan arah kampus)	Lognormal
Kendaraan sisi B (menuju kampus)	Lognormal
Pejalan kaki sisi B	Beta
Pejalan kaki sisi A	Beta
Waktu menyebrang pejalan kaki	Normal

Goodness-of-fit diuji terhadap distribusi yang diusulkan Arena (Weibull, Lognormal, Exponential, Beta), namun meski hasil statistik menolak, persamaan bentuk histogram tetap dijadikan *input* karena kemiripan visual. Verifikasi dilakukan pada model Arena yang telah dibuat untuk memastikan tidak adanya *error*. Validasi dilakukan dengan dibuat dengan menjalankan simulasi Arena satu kali per observasi (tanpa *warm-up period*) selama 1 jam, menggunakan input distribusi masing-masing tanggal observasi. Output rata-rata jumlah kendaraan menunggu dan waktu tunggu individu kemudian dibandingkan dengan data asli dengan bantuan alat *Student's t-test* ($\alpha = 5\%$) di Minitab yaitu teknik pengujian statistik yang membandingkan rata-rata dua kelompok data, guna menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara keduanya. Skenario dirancang *factorial* penuh ($4 \times 4 = 16$ kombinasi), dengan dua faktor, yaitu *delay* antar lampu (setelah lampu merah berakhir sampai tombol bisa ditekan) pada level {0, 5, 10, 15 s} dan durasi lampu merah pada level {10, 9, 8, 7 s}. Masing-masing kombinasi dijalankan 12 replikasi (agar half-width rata-rata waktu tunggu kendaraan $< 0,322$ s, sama dengan *delay* kendaraan), tanpa *warm-up period*, durasi *run* 1 jam.

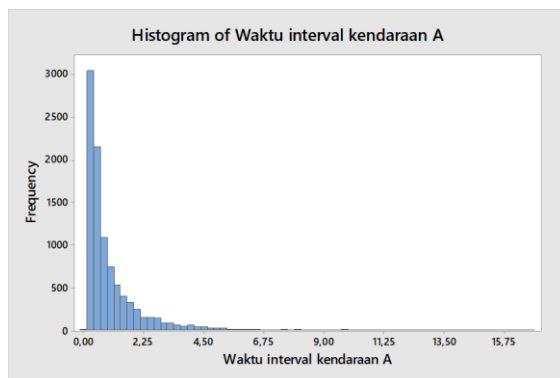
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi waktu tunggu kendaraan dan pejalan kaki pada pelican crossing belakang Kampus B Universitas Airlangga serta menguji pengaruh variasi *delay* tekan tombol dan durasi lampu merah terhadap kinerja lalu lintas. Dari observasi lapangan (25 April, 2 Mei, 9 Mei 2025; 15.00–16.00 WIB) didapati bahwa *interarrival time* rata-rata kendaraan di jalur B sebesar 0,977 detik dan di jalur A 1,062 detik, sedangkan pejalan kaki mencatat rata-rata 16,811 detik di sisi B dan 27,705 detik di sisi A. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk ringkasan statistik (rata-rata, simpangan baku), tabel perbandingan, dan grafik distribusi waktu tunggu serta jumlah kendaraan yang tertahan. Selanjutnya, validasi model simulasi Arena yang memeriksa kesetaraan rata-rata jumlah kendaraan menunggu dan

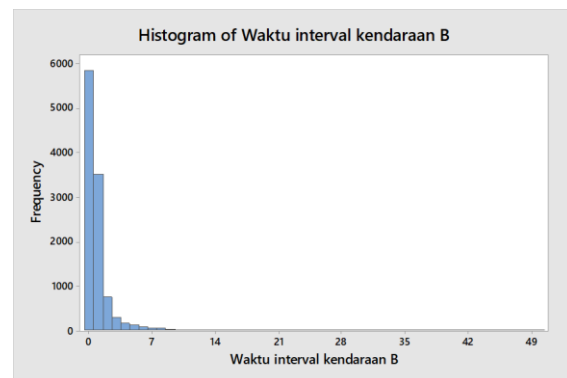
waktu tunggu individu dengan data lapangan dilaporkan melalui uji Student's *t*. Terakhir, eksperimen factorial penuh (16 kombinasi *delay* 0–15 s dan durasi lampu merah 7–10 s) dipaparkan untuk mengidentifikasi konfigurasi yang paling meminimalkan waktu tunggu maksimum kendaraan dan pejalan kaki.

Tabel 2. Ringkasan Statistik Deskriptif *Interarrival Time* dan Waktu Tunggu

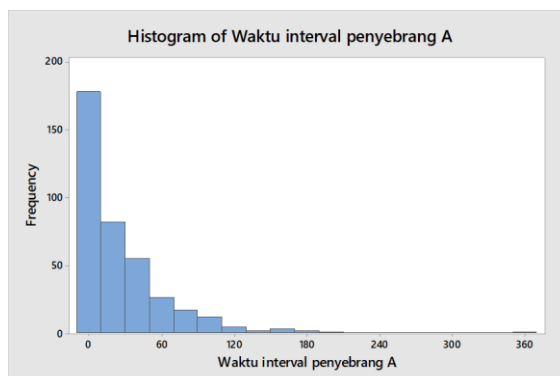
Nilai	Waktu antar kedatangan Kendaraan sisi A	Waktu antar kedatangan Kendaraan sisi B	Waktu antar kedatangan pejalan kaki sisi A	Waktu antar kedatangan pejalan kaki sisi B	Waktu tunggu kendaraan individu	Jumlah kendaraan menunggu ketika lampu merah
Rata-rata	1,104240127	0,97674014	27,7127526	16,83630377	4,6584	16
Standar deviasi	1,511043282	1,632201301	38,4501882	23,98456789	1,751493862	12,71287129
Distribusi	-0.001 + LOGN(1,04; 1,23)	-0.001 + LOGN(0,874; 0,994)	352 * BETA(0,497; 5,32)	186 * BETA(0,358; 3,59)	2 + LOGN(2,71, 2,26)	POIS(12.7)



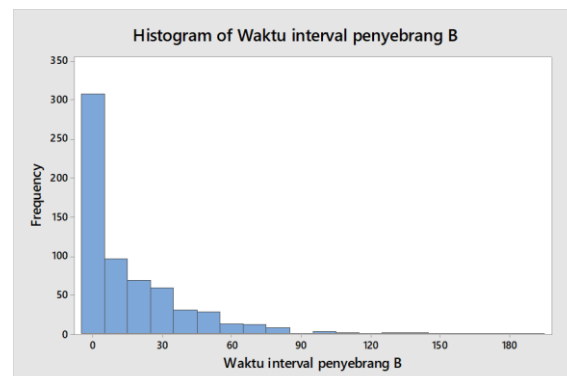
Gambar 1 Histogram waku antar kedatangan kendaraan sisi A



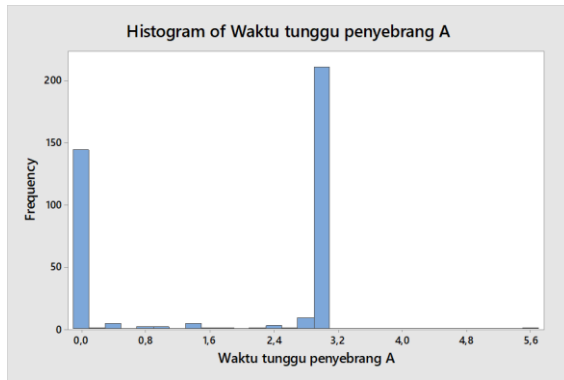
Gambar 2 Histogram waku antar kedatangan kendaraan sisi B



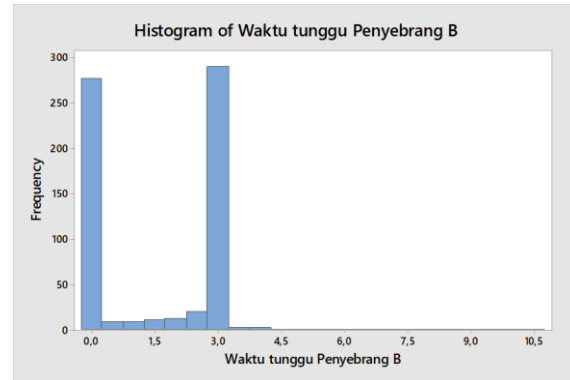
Gambar 3 Histogram waku antar kedatangan pejalan kaki sisi A



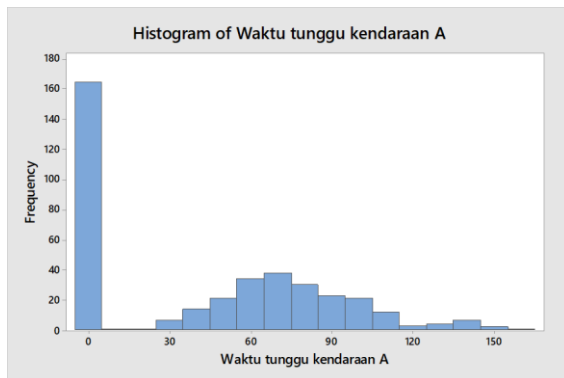
Gambar 4 Histogram waku antar kedatangan pejalan kaki sisi B



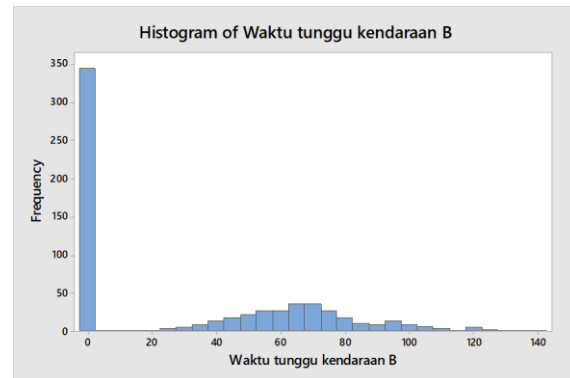
**Gambar 5 Histogram waku tunggu
pejalan kaki sisi A**



**Gambar 6 Histogram waku tunggu
pejalan kaki sisi B**



**Gambar 7 Histogram waku tunggu
kendaraan sisi A**



**Gambar 8 Histogram waktu tunggu
kendaraan sisi B**

Tabel 2 menyajikan ringkasan statistik deskriptif dari seluruh variabel utama dalam penelitian ini, yaitu waktu antar kedatangan kendaraan dan pejalan kaki dari sisi A dan B, serta waktu tunggu masing-masing entitas. Berdasarkan tabel tersebut, waktu antar kedatangan kendaraan dari sisi B memiliki nilai rata-rata yang lebih rendah (0,977 detik) dibandingkan sisi A (1,062 detik), menunjukkan bahwa kendaraan dari sisi B lebih sering datang secara berurutan dalam rentang waktu yang lebih pendek. Pola serupa juga terlihat pada pejalan kaki: pejalan kaki dari sisi B memiliki rata-rata waktu antar kedatangan lebih cepat (16,811 detik) dibandingkan dari sisi A (27,705 detik), mengindikasikan bahwa arus pejalan kaki dari sisi B cenderung lebih padat.

Distribusi dari waktu antar kedatangan kendaraan dan pejalan kaki divisualisasikan pada Gambar 1 hingga Gambar 4. Pada Gambar 1 dan 2, yang menggambarkan waktu antar kedatangan kendaraan dari sisi A dan B, tampak bahwa sebagian besar kendaraan tiba dalam selang waktu yang sangat singkat. Hal ini dapat dijelaskan oleh kondisi lapangan, yaitu keberadaan perempatan besar dengan lampu lalu lintas sebelum lampu pelican, yang menyebabkan kendaraan datang dalam kelompok besar ketika lampu di perempatan

sebelumnya berubah hijau. Sementara itu, Gambar 3 dan 4 menunjukkan waktu antar kedatangan pejalan kaki dari sisi A dan B. Distribusi waktu antar kedatangan ini juga cenderung terkonsentrasi pada nilai-nilai yang kecil, terutama karena pengamatan dilakukan pada jam pulang kuliah, di mana mahasiswa sering berjalan dalam kelompok menuju pelican. Namun, variasi antar individu masih lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan, karena pejalan kaki masih sering datang sendiri-sendiri.

Gambar 5 dan Gambar 6 menampilkan histogram waktu tunggu pejalan kaki dari sisi A dan B. Data ini berasal langsung dari observasi di lapangan dan menunjukkan bahwa waktu tunggu pejalan kaki dari sisi A cenderung lebih tinggi dibandingkan sisi B, yang sejalan dengan waktu antar kedatangan kendaraan yang lebih tinggi dari sisi A.

Sebaliknya, waktu tunggu kendaraan yang divisualisasikan dalam Gambar 7 dan 8 tidak berasal langsung dari data observasi, melainkan hasil transformasi dari dua komponen data yang diperoleh secara terpisah, yaitu distribusi jumlah kendaraan yang menunggu dan distribusi waktu tunggu per kendaraan individu. Berdasarkan data lapangan, jumlah kendaraan yang menunggu pada saat lampu pelican aktif mengikuti distribusi *Poisson* dengan rata-rata 12,7 kendaraan. Di sisi lain, waktu tunggu untuk tiap kendaraan individu mengikuti distribusi campuran *Gamma*, yaitu $T_i = 2 + \text{Gamma}(1,21; 2,19)$. Oleh karena itu, untuk menghitung waktu tunggu total kendaraan dalam satu siklus lampu pelican, dilakukan proses simulasi dengan membangkitkan angka acak dari distribusi *Poisson* (untuk jumlah kendaraan) dan menjumlahkan sejumlah nilai acak dari distribusi waktu tunggu kendaraan individu sebanyak nilai *Poisson* tersebut. Secara matematis, perhitungan waktu tunggu total untuk satu siklus pelican dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^N (2 + \text{Gamma}(1,21; 2,19)), N \sim \text{Poisson}(\lambda = 12,7)$$

Hasil dari simulasi ini kemudian digunakan untuk menyusun histogram pada Gambar 7 dan Gambar 8, yang menggambarkan distribusi waktu tunggu total kendaraan dari sisi A dan B. Oleh karena itu, interpretasi terhadap grafik ini tidak hanya mencerminkan hasil observasi langsung, tetapi juga merepresentasikan pendekatan pemodelan berbasis distribusi probabilistik terhadap kondisi nyata di lapangan.

Uji hipotesis dilakukan untuk membandingkan rata-rata waktu tunggu hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Arena* dengan data aktual yang diperoleh dari observasi lapangan. Uji dilakukan terhadap empat kategori, yaitu waktu tunggu pejalan kaki dan kendaraan dari sisi A dan sisi B. Hipotesis nol yang digunakan adalah bahwa tidak terdapat

perbedaan antara rata-rata hasil simulasi dan aktual $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ sementara hipotesis alternatif menyatakan adanya perbedaan $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

Tabel 3 Uji validitas output arena dan aktual

	Hipotesis awal	Hipotesis alternatif	P-Value	Keputusan
Output Arena vs aktual waktu tunggu pejalan kaki sisi A	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$	0,38	Tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata output Arena dan aktual
Output Arena vs aktual waktu tunggu kendaraan sisi A	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$	0,564	Tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata output Arena dan aktual
Output Arena vs aktual waktu tunggu pejalan kaki sisi B	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$	0,143	Tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata output Arena dan aktual
Output Arena vs aktual waktu tunggu kendaraan sisi B	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$	0,329	Tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata output Arena dan aktual

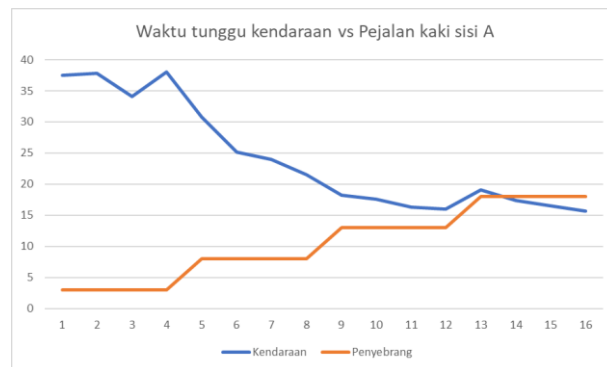
Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Arena berhasil merepresentasikan kondisi aktual di lapangan dengan baik, karena tidak ada satu pun kategori yang menunjukkan perbedaan signifikan pada tingkat signifikansi 5%. Hal ini memperkuat validitas model simulasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Hasil ini menunjukkan bahwa model simulasi yang dibangun telah cukup merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Validitas model yang baik ini menjadi dasar yang kuat untuk menggunakan model tersebut dalam analisis dan pengambilan keputusan lebih lanjut, seperti evaluasi kinerja sistem atau perbandingan skenario perbaikan.

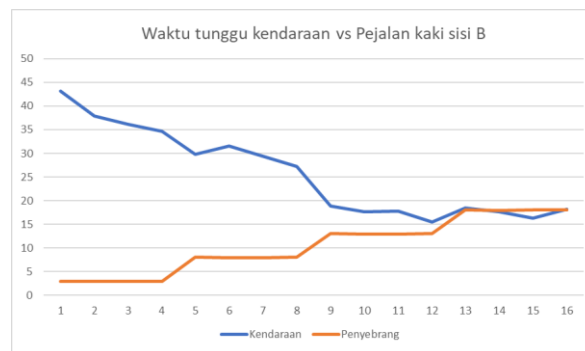
Tabel 4 Hasil output Simulasi Model Arena Waktu Tunggu Maksimal Kendaraan Dan Pejalan Kaki

Skenario	Delay sebelum bisa menekan (detik)	Lama proses lampu hijau (detik)	Waktu tunggu kendaraan A (detik)	Waktu tunggu penyebrang A (detik)	Waktu tunggu kendaraan B (detik)	Waktu tunggu penyebrang B (detik)
1	0	10	37,5309	3	43,1204	3
2	0	9	37,8477	3	37,9293	3
3	0	8	34,1135	3	36,0879	3
4	0	7	37,9925	3	34,656	3
5	5	10	30,7729	7,9803	29,7461	7,9993
6	5	9	25,1152	7,9961	31,5781	7,9947
7	5	8	23,9353	7,9952	29,4148	7,9915
8	5	7	21,5054	7,9699	27,2387	7,9993
9	10	10	18,2746	12,9899	18,8136	12,9955
10	10	9	17,6077	12,9947	17,6429	12,9843
11	10	8	16,3017	12,9874	17,8061	12,9446
12	10	7	16,0385	12,9965	15,4216	12,9986
13	15	10	19,0485	17,979	18,4616	17,994

14	15	9	17,4141	17,9709	17,5847	17,98
15	15	8	16,5245	17,9943	16,3588	17,9977
16	15	7	15,6533	17,987	18,2321	17,9975



Gambar 9 Grafik plot waktu tunggu kendaraan vs pejalan kaki A



Gambar 10 Grafik plot waktu tunggu kendaraan vs pejalan kaki B

Berdasarkan **Tabel 4** dan grafik pada **Gambar 9–10**, skenario ke-13, yang mengombinasikan delay 15 detik sebelum tombol penyeberangan dapat ditekan dan durasi lampu hijau selama 10 detik, terbukti paling optimal apabila kriteria penilaian adalah meminimalkan selisih waktu tunggu antara kendaraan dan pejalan kaki di kedua jalur. Pada sisi A, rata-rata waktu tunggu kendaraan sebesar 19,05 detik hanya sedikit lebih tinggi daripada waktu tunggu pejalan kaki sebesar 17,98 detik—selisihnya hanya 1,07 detik—sementara di sisi B perbedaan tersebut bahkan lebih kecil, yaitu 0,47 detik (18,46 detik versus 17,99 detik). Grafik respons pada Gambar 11 memperlihatkan kedua kurva biru dan oranye yang nyaris berimpit pada titik skenario 13, menegaskan bahwa kedua kelompok pengguna jalan menerima layanan serupa.

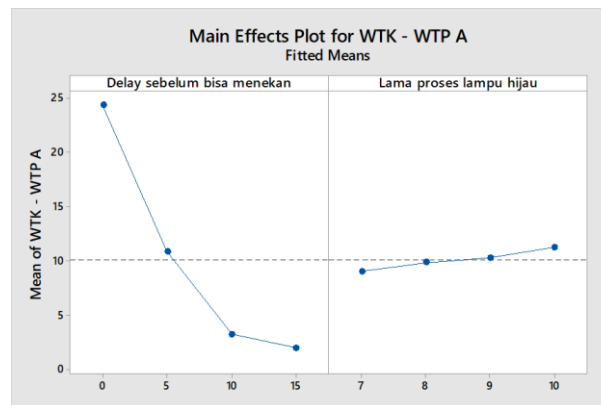
Skenario lain mungkin menurunkan waktu tunggu kendaraan hingga level yang sedikit lebih rendah, namun perbaikan tersebut sering kali datang dengan peningkatan selisih yang signifikan, sehingga pejalan kaki mengalami waktu tunggu yang jauh lebih lama dan pelayanan menjadi tidak adil. Sebaliknya, pada skenario ke-13, meski penurunan absolut waktu tunggu kendaraan tidak mencapai titik terendah mutlak—angka sekitar 19 detik masih sedikit lebih

tinggi daripada minimum 15–16 detik pada skenario lain—selisih yang sangat kecil dengan waktu tunggu pejalan kaki membuatnya menjadi kompromi yang paling seimbang.

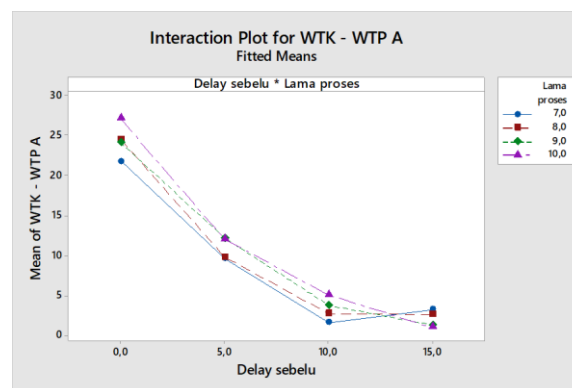
Pilihan skenario ini juga konsisten dengan tujuan penelitian untuk **menurunkan waktu tunggu maksimum** tanpa memfavoritkan salah satu pihak. Dengan menjaga durasi lampu hijau pada 10 detik—cukup panjang untuk membubarkan antrean kendaraan—dan menambahkan delay 15 detik sebelum penekanan ulang tombol, sistem pelican crossing memberikan jeda yang adil bagi pejalan kaki untuk menyeberang, sekaligus mempertahankan efisiensi aliran kendaraan. Oleh karena itu, skenario ke-13 paling layak diimplementasikan untuk mencapai keseimbangan antara keamanan dan kenyamanan pejalan kaki serta kelancaran lalu lintas kendaraan.

Tabel 5 Ringkasan Design of Experiment: Selisih Waktu Tunggu Maks. Kendaraan & Pejalan Kaki

	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
Selisih Waktu Maksimal Tunggu Kendaraan dan Penyebrang Sisi A Vs Delay antar lampu merah dan Durasi Lampu merah	3,5944	0,8724	0,8615	0,8481
Selisih Waktu Maksimal Tunggu Kendaraan dan Penyebrang Sisi B Vs Delay antar lampu merah dan Durasi Lampu merah	4,30976	0,8196	0,8042	0,7853



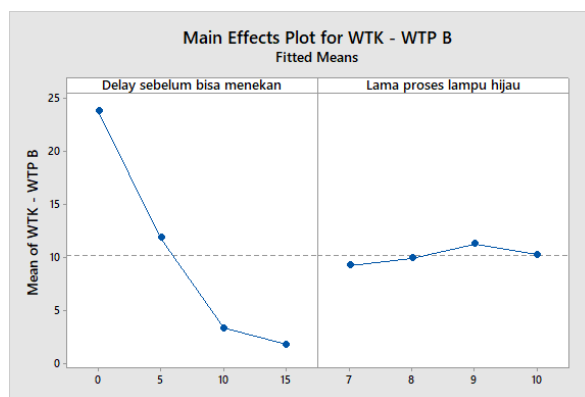
Gambar 11 Main effects plot selisih waktu tunggu A maksimal terhadap 2 faktor



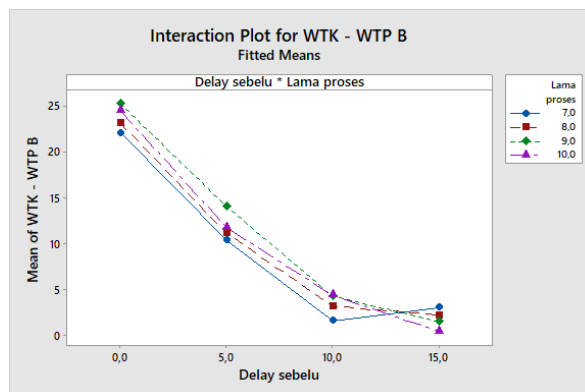
Gambar 12 Interaction plot selisih waktu tunggu maksimal A terhadap 2 faktor

Model DoE untuk selisih waktu tunggu maksimal kendaraan A versus pejalan kaki A (Tabel 5) menunjukkan nilai R-squared sebesar 87,24 % (Adjusted R-sq = 86,15 %, Predicted R-sq = 84,81 %) dengan standard error (S) 3,59 s, yang menandakan model cukup presisi dan andal dalam menjelaskan variasi selisih tersebut.

Dari Gambar 11 (Main Effects Plot) terlihat bahwa peningkatan *delay* sebelum penekanan tombol secara drastis menurunkan selisih—dari ~24 s pada 0 s delay menjadi ~1 s pada 15 s delay—sementara pengurangan durasi lampu hijau justru sedikit memperlebar selisih. Interaction Plot (Gambar 12) mengonfirmasi bahwa efek *delay* konsisten pada semua level durasi hijau, sehingga konfigurasi optimal berada pada *delay* 15 s dengan durasi hijau antara 8–10 s untuk meminimalkan perbedaan waktu tunggu kedua kelompok.



Gambar 13 *Main effects plot* selisih waktu tunggu B maksimal terhadap 2 faktor



Gambar 14 *Interaction plot* selisih waktu tunggu maksimal B terhadap 2 faktor

Gambar 13 memperlihatkan bahwa peningkatan *delay* sebelum tombol penyeberangan dapat ditekan secara dramatis menurunkan selisih rata-rata waktu tunggu maksimal kendaraan B dan pejalan kaki B, dari sekitar 24 s pada delay = 0 s hingga hampir mendekati nol pada delay = 15 s. Sebaliknya, perubahan durasi lampu hijau dari 10 s turun ke 7 s justru menyebabkan sedikit kenaikan pada selisih dari sekitar 9 s menjadi 11 s menunjukkan bahwa memendekkan lampu hijau tanpa menambah delay justru memperlebar ketidakseimbangan layanan.

Gambar 14 menegaskan bahwa efek *delay* bersifat konsisten di semua level durasi lampu hijau semua garis menunjukkan penurunan tajam selisih saat delay bertambah, dengan garis-garis relatif paralel. Titik di delay = 15 s, terutama pada durasi hijau 8–10 s, menunjukkan bahwa kombinasi ini mendekati selisih nol. Minimnya perpotongan garis mengindikasikan tidak adanya interaksi sinergis yang kompleks; artinya, penambahan delay adalah faktor dominan dalam menyeimbangkan waktu tunggu antara kendaraan dan pejalan kaki di jalur B. Hasil rangkaian analisis mulai dari fitting distribusi input, validasi model Arena, hingga optimasi dengan DoE untuk meminimalkan selisih waktu tunggu maksimal antara kendaraan dan pejalan kaki skenario ke-13 (delay 15 s, durasi lampu merah 10 s) terbukti sebagai konfigurasi yang paling seimbang dan andal. Model DoE menjelaskan sekitar 87 % variasi selisih respons pada kedua jalur dengan error yang relatif kecil, sementara plot main effects dan interaction plot mengonfirmasi bahwa penambahan delay adalah kunci utama untuk mencapai kesetaraan layanan. Dengan demikian, keputusan awal untuk memilih skenario ke-13 kini diperkuat oleh bukti statistik DoE, menegaskan bahwa pengaturan delay 15 detik dan durasi hijau 10 detik merupakan titik optimal bagi efisiensi kendaraan dan kenyamanan penyeberang.

Hasil mengilustrasikan dengan jelas bahwa efek penambahan waktu delay pada pelican crossing memiliki pola yang konsisten terhadap perbedaan waktu tunggu antara kendaraan dan pejalan kaki. Semua garis yang mewakili variasi durasi lampu hijau menunjukkan penurunan tajam pada selisih waktu tunggu saat delay ditingkatkan. Karakteristik garis yang relatif paralel menunjukkan bahwa efek penambahan delay bersifat seragam di berbagai level durasi lampu hijau, tanpa adanya perubahan pola yang signifikan. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa delay merupakan faktor yang dominan dalam menciptakan keseimbangan antara arus kendaraan dan kebutuhan penyeberangan pejalan kaki. Titik kritis terlihat pada delay 15 detik dengan durasi lampu hijau 8–10 detik, di mana selisih waktu tunggu antara kedua pengguna jalan hampir mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut mendekati titik optimal dalam memberikan pelayanan yang adil bagi semua pengguna jalan di jalur B.

Minimnya perpotongan antara garis-garis pada grafik juga menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi kompleks antara variabel delay dan durasi hijau. Artinya, peningkatan delay secara mandiri cukup untuk menyeimbangkan kepentingan kedua pihak tanpa perlu penyesuaian besar pada variabel lainnya. Temuan ini diperkuat oleh hasil analisis *Design of Experiments (DoE)*, yang menjelaskan sekitar 87% variasi pada selisih waktu tunggu dengan error model yang tergolong kecil. Plot *main effects* dan *interaction plot* mendukung kesimpulan bahwa delay adalah variabel paling berpengaruh terhadap kesetaraan layanan.

Validasi model melalui fitting distribusi input dan simulasi menggunakan perangkat lunak Arena menunjukkan bahwa model memiliki akurasi tinggi dalam merepresentasikan kondisi nyata. Optimasi parameter dalam simulasi mengarah pada skenario ke-13, yaitu delay 15 detik dan durasi lampu merah 10 detik, sebagai konfigurasi paling stabil dan dapat diandalkan. Skenario ini terbukti tidak hanya meminimalkan selisih waktu tunggu maksimal, tetapi juga mempertahankan kenyamanan dan keselamatan pejalan kaki, serta memperlancar arus kendaraan. Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis simulasi dan eksperimen memberikan landasan yang kuat untuk pengambilan keputusan kebijakan lalu lintas mikro di area kampus yang padat aktivitas. Pengaturan delay yang tepat terbukti menjadi solusi praktis dan efisien dalam manajemen pelican crossing, yang dapat direkomendasikan untuk diterapkan secara lebih luas di titik-titik rawan kemacetan serupa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan waktu delay sebelum aktivasi pelican crossing secara signifikan dapat mengurangi selisih waktu tunggu antara kendaraan dan pejalan kaki. Temuan ini sejalan dengan hasil studi Yao et al. (2021) yang menyatakan bahwa pengaturan waktu sinyal yang tepat pada fasilitas penyeberangan pejalan kaki dapat meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mengurangi potensi konflik antara pengguna jalan. Integrasi waktu jeda (delay) dapat memberikan kompromi antara kelancaran arus kendaraan dan keamanan penyeberang (Koo et al., 2023).

Selain itu, penelitian oleh Diniz et al. (2021) menunjukkan bahwa pengaturan sinyal yang terlalu responsif terhadap tombol pejalan kaki justru meningkatkan waktu tunggu kendaraan secara drastis, sehingga menyebabkan penurunan *Level of Service* (LoS). Hal serupa diamati di Jalan Dharmawangsa Dalam, di mana pengaktifan pelican crossing tanpa delay menyebabkan kendaraan sering berhenti dalam durasi pendek berulang kali, menghasilkan antrian dan waktu tunggu yang tidak efisien.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan *Discrete Event Simulation* (DES) yang terintegrasi dengan metode *Design of Experiments* (DoE), berbeda dengan sebagian besar penelitian terdahulu yang hanya menggunakan pendekatan analitis atau simulasi dasar tanpa optimasi skenario. Pendekatan ini memungkinkan tidak hanya memodelkan perilaku sistem pelican crossing secara dinamis, tetapi juga mengevaluasi kombinasi skenario secara sistematis untuk menemukan titik optimum. Dalam konteks ini, skenario ke-13 (delay 15 detik dan durasi hijau 10 detik) terbukti menjadi konfigurasi paling ideal, baik berdasarkan hasil simulasi maupun pembuktian statistik melalui model DoE yang menjelaskan hingga 87% variasi dalam sistem.

Berbeda dengan studi oleh Wang et al. (2024) yang menekankan pada peningkatan keselamatan pejalan kaki dengan memperpanjang waktu hijau, penelitian ini justru menunjukkan bahwa peningkatan delay dengan tetap mempertahankan durasi hijau dalam rentang optimal (8–10 detik) lebih efektif dalam menciptakan keseimbangan antara kendaraan dan pejalan kaki. Efisiensi lalu lintas dapat dicapai tanpa perlu memperpanjang waktu penyeberangan yang justru dapat meningkatkan waktu henti kendaraan (Patil, 2022).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat temuan-temuan sebelumnya mengenai pentingnya pengaturan sinyal penyeberangan, tetapi juga menawarkan pendekatan kuantitatif yang lebih komprehensif dalam merumuskan kebijakan teknis *pengaturan pelican crossing*, khususnya di lingkungan kampus atau kawasan padat aktivitas pejalan kaki.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengaturan waktu delay pada pelican crossing memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi lalu lintas, khususnya dalam meminimalkan waktu tunggu kendaraan. Dalam kondisi aktual, pelican crossing yang diaktifkan tanpa pengaturan waktu delay cenderung menyebabkan frekuensi pemberhentian kendaraan yang tinggi, sehingga waktu tunggu akumulatif meningkat.

DAFTAR REFERENSI

- Chocron, E., Cohen, I., & Feigin, P. (2024). Delay prediction for managing multiclass service systems: An investigation of queueing theory and machine learning approaches. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3222094>
- Damarjati, K. (2020). Tercatat 1500an pelanggaran protokol COVID-19 di DIY akhir pekan lalu, rata-rata usia 20-30. *Akurat.Co*.
- Diniz, P., Silva-Jr, E. F., & Macedo, R. H. (2021). Urban cycles of human activity do not significantly alter the behaviour of a duetting bird. *Ibis*, 163(4). <https://doi.org/10.1111/ibi.12956>
- Espinoza Mondragón, J., Jiménez García, J. A., Medina Flores, J. M., Vázquez López, J. A., & Téllez Vázquez, S. (2018). Experiments simulation and design to set traffic lights' operation rules. *Transport Policy*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.014>
- Feng, Y., Duives, D., Daamen, W., & Hoogendoorn, S. (2021). Data collection methods for studying pedestrian behaviour: A systematic review. *Building and Environment*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107329>

- Ilham, I., Ahmad, S. N., & Nuhun, R. (2020). Analisis faktor–faktor pemilihan moda transportasi ke kampus oleh mahasiswa jurusan teknik sipil Universitas Halu Oleo. *STABILITA: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 8(2). <https://doi.org/10.55679/jts.v8i2.13683>
- Koo, H., Chae, J., & Kim, W. (2023). Design and experiment of satellite-terrestrial integrated gateway with dynamic traffic steering capabilities for maritime communication. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031201>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattle, W. M., & Stahl, D. A. (2021). Brock biology of microorganisms. *Cell*, 1–33.
- Musa, P., Wibowo, E. P., Musa, S. B., & Baihaqi, I. (2022). Pelican crossing system for control a green man light with predicted age. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 21(2). <https://doi.org/10.30812/matrik.v21i2.1508>
- Nugraha, B., Wahyudin, W., & Azizah, F. N. (2021). Analisis peluang terhadap penilaian kinerja pegawai menggunakan metode regresi linier berganda dengan SPSS. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 20(2), 69. <https://doi.org/10.20961/performa.20.2.47950>
- Patil, P. (2022). Applications of deep learning in traffic management: A review. *International Journal of Business Intelligence and Big Data Analytics*, 5.
- Pribadi, T., Novikasari, L., & Amelia, W. (2021). Efektivitas tindakan keperawatan komprehensif dengan teknik penerapan uap minyak kayu putih terhadap bersihan jalan nafas pada anak dengan ISPA. *Journal of Qualitative Health Research & Case Studies Reports*, 1(2), 69–74. <https://doi.org/10.56922/quilt.v1i2.213>
- Su, H., Zhong, Y. D., Chow, J. Y. J., Dey, B., & Jin, L. (2023). EMVLight: A multi-agent reinforcement learning framework for an emergency vehicle decentralized routing and traffic signal control system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103955>
- Sugiyono, P. D. (2022). Metode penelitian kualitatif dan kuantitatif. CV Alfabeta.
- Tan, S. T., Santoso, A. H., Nathaniel, F., Mashadi, F. J., Soebrata, L., Mandalika, A., & Wijaya, D. A. (2023). Kegiatan pengabdian masyarakat dalam rangka edukasi dan skrining gula darah dan anemia dalam rangka menjaga kesehatan hidrasi kulit. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(4), 8688–8695.
- Termida, N. A., Rohani, M. M., Daniel, B. D., Omar, N., & Dharmowijoyo, D. B. E. (2019). Behavioural observations of adult-child pairs at a Pelican crossing: A case study in Kuala Lumpur. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(2). <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.02.027>
- Wang, J., Zhang, Y., Zhao, J., Shang, C., & Wang, X. (2024). Unified strategy for cooperative optimization of pedestrian control patterns and signal timing plans at intersections. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. <https://doi.org/10.1080/15472450.2024.2307026>

- Wu, X., Xu, H., Zhu, B., & Wang, H. (2024). An investigation into the optimal allocation of resources for China's universities to participate in global education governance based on queuing theory. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns.2023.2.00722>
- Yao, J., Li, Y., & He, J. (2021). Social force model-based safety evaluation of intersections in arterials considering the pedestrian yield rule. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph182312461>