

STUDI ANALISIS KAPASITAS DASAR JALUR PEJALAN KAKI MELALUI SIMULASI MIKROSKOPIK PADA AREA KOMERSIAL MALIOBORO DI YOGYAKARTA

Muchammad Zaenal Muttaqin¹
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau
Jalan Kaharuddin Nasution 113
Pekanbaru
muchzaenalmuttaqin@eng.uir.ac.id

Ahmad Munawar
Departemen Teknik Sipil dan
Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.1 Yogyakarta
munawar@ugm.ac.id

Muhammad Zudhy Irawan
Departemen Teknik Sipil dan
Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.1 Yogyakarta
zudhyirawan@ugm.ac.id

Abstract

Pedestrian capacity was necessary to support pedestrian planning until evaluation. Microscopic simulations are known to be able to predict capacity with sidewalk standard design. This study has aim to determine the prediction of path capacity through microscopic simulations with PTV Viswalk and standard design from Bina Marga No.02/ SE/M/2018 and *social force* as the basic theory. This study used speed, pedestrian volume and characteristics of sidewalk data. The results showed that microscopic simulations have value adjustments in *walking behavior* as the main influence in the resulting pedestrian speed. The adjustment of the value is carried out through the conformity of simulation speed with existing speed. Basic capacity prediction was carried out through the equation of the relationship between speed and density. Prediction of the basic capacity achieved about 65 people/m/min. This result has been adapted to the calibration process and the suitability of the model and the field.

Keywords: Walking Path, Basic Capacity, Microscopic Simulation, PTV Viswalk, Yogyakarta

Abstrak

Pengembangan kapasitas jalur pejalan kaki diperlukan untuk mendukung perencanaan hingga evaluasi pejalan kaki. Adapun proses tersebut dimulai dengan penentuan kapasitas dasar. Simulasi mikroskopik diketahui mampu memprediksi kapasitas yang mampu dicapai melalui desain jalur standar. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan prediksi kapasitas jalur melalui simulasi mikroskopik dengan alat bantu PTV Viswalk dengan desain standar dari Bina Marga No.02/SE/M/2018 serta *social force* sebagai teori dasar simulasi. Penelitian ini menggunakan data kecepatan, volume pejalan kaki serta karakteristik jalur eksisting melalui survei geometrik. Hasil penelitian menunjukkan simulasi mikroskopik memiliki penyesuaian nilai yang berupa *walking behavior* sebagai pengaruh utama dalam parameter kecepatan pejalan kaki yang dihasilkan. Penyesuaian nilai tersebut dilakukan melalui kesesuaian nilai kecepatan simulasi dengan kecepatan lapangan. Prediksi kapasitas dasar dilakukan melalui persamaan hubungan antara kecepatan dan kerapatan yang berupa model linear. Adapun prediksi kapasitas dasar yang dicapai adalah 65 orang/m/menit. Hasil penelitian ini telah disesuaikan dengan proses kalibrasi dan kesesuaian model dan lapangan.

Kata Kunci: Jalur Pejalan Kaki, Kapasitas Dasar, Simulasi Mikroskopik, PTV Viswalk, Yogyakarta

PENDAHULUAN

Suatu kawasan yang digunakan untuk aktivitas pergerakan lalu lintas memiliki kelemahan terkait dengan moda transportasi yang digunakan secara bersamaan dalam satu jalur yang sama. Suatu jalur khusus yang terpisah antar moda transportasi menjadi solusi kemunculan

¹ Corresponding author : muchzaenalmuttaqin@eng.uir.ac.id

konflik antara satu moda dan moda lainnya, seperti pejalan kaki dan moda kendaraan bermotor. Pejalan kaki sering berada pada pihak yang lemah terhadap pejalan kaki yang lainnya. Perencanaan akan kebutuhan jalur khusus tersebut harus sesuai dengan standar dan aturan yang ada dengan pertimbangan aspek keamanan, keselamatan dan kenyamanan pejalan kaki (Muslihun, 2013). Salah satu parameter dalam perencanaan hingga proses evaluasi jalur pejalan kaki ialah perhitungan kapasitas jalur. Perhitungan kapasitas maupun tingkat pelayanan lalu lintas yang ada di dalam MKJI 1997 masih didominasi oleh keberadaan kendaraan bermotor. Oleh karena itu, pergerakan arus pejalan kaki belum diperhitungkan dalam manual tersebut. Terlebih lagi, peran pejalan kaki hanya dijadikan hambatan samping bagi wilayah jalan raya yang hanya dikhususkan untuk kendaraan saja. Meskipun begitu, kebutuhan pejalan kaki merupakan kewajiban yang sama sebagaimana kebutuhan kendaraan bermotor. Seluruh jenis pejalan kaki, mulai dari usia maupun kategori lainnya mempunyai hak yang sama untuk selamat, nyaman, dan punya akses kepada tempat tujuan (Rouphail et al, 2005). Kapasitas jalur pejalan kaki yang terdapat dalam dokumen perencanaan jalur pejalan kaki Indonesia, seperti pada aturan PU no 3 tahun 2014 mengadopsi aturan dari luar yakni *Highway Capacity Manual (HCM)* yang dikeluarkan oleh *Transport Research Board (TRB)* tahun 2000. Standar HCM telah banyak digunakan sebagai aturan standard sebagai salah satu acuan standar untuk meninjau pergerakan pada jalur pejalan kaki di banyak negara, seperti Bharath et al,(2018) di India, Gacutan & Tan, (2012) di Filipina, Campisi et al, (2019) di Bosnia dan Kusmeilan, et al (2018) di Indonesia. Selain itu, HCM juga dijadikan acuan untuk membuat sebuah sistem standar pelayanan pejalan kaki yang digunakan dalam suatu negara dengan pendekatan karakteristik di negara tersebut, salah satunya ialah Jerman. Adaptasi standar pejalan kaki dilakukan oleh pihak pemerintah Jerman melalui modifikasi standar HCM menjadi standar yang lebih sesuai dengan karakteristik pejalan kaki di negara tersebut, yakni *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)* Jerman (Wu, 2017). Senada dengan hal tersebut, kebutuhan kapasitas pejalan kaki pada ranah pendekatan lokal dapat dikembangkan dengan mengetahui karakteristik pergerakan arus pejalan kaki. Penelitian ini ditujukan untuk memberikan pendekatan kapasitas dasar pada jalur pejalan kaki melalui model simulasi pergerakan pejalan kaki. Alat simulasi merupakan alat yang baik untuk analisis dan memperkirakan fasilitas transport, model simulasi dapat menyertakan sejumlah teknik analisis dalam kerangka kerjanya untuk mensimulasikan komponen yang kompleks, menyediakan penggunaannya pengetahuan menyeluruh dan pemahaman sistem yang dianalisis (Johansson et al, 2015). Simulasi mikro (*microsimulation*) adalah pemodelan pergerakan sebuah moda transportasi, termasuk di dalamnya adalah pejalan kaki dalam suatu satuan waktu dengan tujuan untuk memperkirakan kinerja lalu lintas yang salah satu parameternya merupakan besaran kapasitas pejalan kaki (Vassili et al, 2004).

Selain itu, penelitian ini berfokus pada lokasi di area wisata Malioboro di Kota Yogyakarta. Malioboro merupakan salah satu daya tarik wisatawan yang berkunjung di kota Yogyakarta. Banyaknya lokasi wisata yang ada di Kota Yogyakarta menyebabkan tingginya daya tarik wisatawan yang berasal dari berbagai daerah maupun negara (Syakdiah, 2017). Area komersial yang berada pada wilayah tarikan wisata, seperti Malioboro memiliki aktivitas pejalan kaki yang tidak hanya dari warga lokal. Kerumunan yang berada di lokasi Malioboro akan menghasilkan karakteristik tertentu yang menjadi hasil interaksi pejalan kaki dengan pejalan kaki lainnya dalam wilayah tersebut.

TEORI

Kapasitas

Kapasitas yang terjadi pada jalur pejalan kaki adalah jumlah pejalan kaki tertinggi yang mampu melewati sebuah ruang pejalan kaki selama satu periode waktu tertentu. Besaran parameter kapasitas dalam sebuah jalur pejalan kaki dinyatakan sebagai arus (flow) maksimum pada periode waktu tertentu (Seyfried et al., 2009). Kapasitas pada suatu jalur pejalan kaki dibutuhkan untuk mengetahui terkait dengan besarnya jumlah tampungan jalur pejalan kaki terhadap aktivitas pejalan kaki khususnya pada saat hari puncak atau hari sibuk. Standar pejalan kaki yang menyatakan parameter kapasitas menjadi salah satu acuan dalam perencanaan pejalan kaki, seperti aturan IRC 103–2012 yang berlokasi di India dan Permen PU No. 3 Tahun 2014 di Indonesia. IRC 103–2012 menyebutkan bahwa kapasitas pejalan kaki akan menentukan seberapa lebar jalur bagi aktivitas berjalan yang dibutuhkan untuk menampung pejalan kaki yang sesuai dengan tingkat kenyamanan yang optimum. Adapun jalur yang dipakai untuk pejalan kaki terbagi menjadi dua, yakni kapasitas pada satu arah dan kapasitas pada dua arah. Sebaliknya, Peraturan Menteri PU No. 3 tahun 2014 menyatakan bahwa kapasitas ditunjukkan dengan jumlah pejalan kaki yang diukur dengan satuan orang per meter per menit. Penentuan kapasitas pejalan kaki ditujukan untuk kegiatan perencanaan pejalan kaki, di mana lebar dari suatu jalur pejalan kaki berhubungan langsung dengan seberapa banyak pejalan kaki yang melewati jalur tersebut (Utomo & Tjahjani, 2014).

Simulasi Mikroskopik

Simulasi mikroskopis merupakan sebuah analisis dari sebuah sistem yang kompleks dan mampu menangkap efek interaktif dari berbagai komponen sistem (Fadhilah & Wibowo, 2020). Salah satu simulasi mikroskopik yang dipakai dalam pergerakan pejalan kaki adalah menggunakan alat bantu PTV Viswalk, *PTV Viswalk* merupakan salah satu aplikasi yang dikembangkan oleh *Planung Transport Verkehr AG (PTV group)* untuk sebuah model mikroskopik, waktu diskrit dan berdasarkan kebiasaan pejalan kaki. Aplikasi ini masih dikembangkan sesuai dengan perkembangan dinamika pejalan kaki yang ada di seluruh dunia. Aplikasi ini sering digunakan berbarengan dengan produk lainnya, yakni *PTV Vissim* yang digunakan untuk simulasi kendaraan maupun operasional angkutan umum yang berhubungan dengan pejalan kaki (Kim, Galiza, & Ferreira, 2013),

Pada aplikasi *Viswalk*, persamaan *Social force model* dikembangkan melalui motivasi internal yang mempengaruhi pejalan kaki dalam bergerak. Gaya ini terdiri dari empat jenis pengaruh yang secara umum terdapat pada persamaan (**Error! Reference source not found.**) sebagai berikut,

$$F = F_{driving} + F_{social} + F_{wall} + F_{noise} \quad (1)$$

dimana, *Fdriving* = gaya berjalan dalam arah yang diinginkan; *Fsocial* = Gaya antar pedestrian; *Fwall* = gaya dari tembok; *Fnoise* = sebuah terminology gaya acak yang diimplementasikan guna melindungi situasi macet total disebuah fenomena *bottleneck* dalam arus.

Parameter yang ada dalam alat bantu PTV Viswalk terkait dengan proses pergerakan pejalan kaki terdiri dari data masukan berupa jumlah dan jenis pejalan kaki serta kecepatan pejalan kaki. Selain data masukan, parameter dalam alat bantu PTV Viswalk yang mempengaruhi hasil dari simulasi termasuk di dalamnya adalah parameter *walking behavior*. Perilaku pejalan kaki (*walking behavior*) merupakan salah satu parameter penting dalam pergerakan pejalan kaki. Perilaku pejalan kaki sangat mempengaruhi seberapa besar karakteristik arus lalu lintas yang muncul di jalur pejalan kaki (Ye et al, 2008). Karakteristik *walking behavior* sangat berbeda jika dibandingkan dengan lalu lintas kendaraan. Karakteristik pergerakan seperti kecepatan, arus, dan kerapatan dengan hubungan antar parameter tersebut disesuaikan dengan perilaku pejalan kaki sangat dipengaruhi dengan kondisi spesifik lokasi dan kondisi pejalan kaki itu sendiri. Manusia sebagai pelaku pejalan kaki memiliki kemampuan untuk menentukan perpindahan tanpa bergantung pada orang lain, sehingga setiap jenis manusia memiliki *walking behaviour* yang berbeda (Azmi et al, 2012). Tabel 1 di bawah merupakan beberapa jenis parameter *walking behavior* yang terdapat pada alat bantu PTV Viswalk, Keseluruhan parameter tersebut akan mempengaruhi hasil dari pergerakan pejalan kaki hasil simulasi dan kemudian dibandingkan dengan hasil lapangan.

Tabel 1. Parameter *Walking Behavior*

Parameter	Deskripsi	Nilai Default
tau	Waktu pencapaian kecepatan yang diinginkan dari kecepatan yang dilakukan	0,4
React to n	Jumlah maksimum orang yang mempengaruhi pergerakan pejalan kaki.	8
Asoc_iso	Kekuatan interaksi antara pejalan kaki menunjukkan gaya penolak pejalan kaki.	2,72
Bsoc_iso	Rentang antara gaya tolak pejalan kaki yang menentukan jarak pengaruh antar pejalan kaki.	0,2
Lambda	Pengatur kekuatan anisotropi untuk memodelkan reaksi psikologis dan sosial pejalan kaki berdasarkan posisi pejalan kaki yang ada	0,176
Asoc_mean	Kekuatan interaksi antara pejalan kaki menunjukkan gaya penolak pejalan kaki	0,4
Bsoc_mean	Rentang antara gaya tolak pejalan kaki yang menentukan jarak pengaruh antar pejalan kaki.	2,8
VD	Variabel yang mempengaruhi jarak antara 2 pejalan kaki ketika mereka harus bergerak untuk menghindari insiden atau tabrakan.	3
Noise	Gaya acak ditambahkan secara khusus jika banyak pejalan kaki bergerak di bawah kecepatan yang diinginkan.	1,2
Grid distance	Parameter global yang bertujuan untuk menentukan jarak maksimum antara pejalan kaki yang memengaruhi perilaku pejalan kaki selama waktu simulasi	5
Obstacle distance	Parameter untuk menghitung potensi statis yang terkait dengan kedekatan dengan dinding.	0,5

DATA

Penelitian ini berlangsung di area wisata Malioboro di kota Yogyakarta. Karakteristik lalu lintas pejalan kaki di lokasi komersial di Yogyakarta, yaitu di area wisata Malioboro, diukur menggunakan survei lapangan menggunakan kamera rekaman video yang dihitung

secara manual. Data berupa pergerakan lalu lintas yang menerus dikumpulkan dengan menggunakan kamera di lokasi yang tidak mengganggu aktivitas pergerakan pejalan kaki. Jumlah dan durasi pejalan kaki yang berjalan melalui lokasi penelitian akan dicatat. Data lain mengumpulkan informasi tambahan mengenai karakteristik jalur pejalan kaki. Jalur pejalan kaki di area Malioboro memiliki berbagai perabotan trotoar, seperti kursi dan pepohonan, untuk meningkatkan kenyamanan pejalan kaki. Adapun waktu pengamatan dalam penelitian ini sebesar 2,5 jam, yaitu dari pukul 10:00 hingga 12:30 di pagi hari, siang hari pukul 13:00 hingga 15:30, dan sore hari pukul 16:00 hingga 18:30. Dalam model simulasi lalu lintas pejalan kaki, waktu tersibuk dengan indikasi volume pejalan kaki jam tertinggi berfungsi untuk menjadi data dasar dalam simulasi PTV Viswalk. Selain itu, proses kesesuaian simulasi dengan hasil lapangan dilakukan dengan proses kalibrasi dan validasi juga dilakukan untuk menjamin bahwa temuan pemodelan konsisten dengan keadaan lapangan. Statistik statistik GEH dan RMSE digunakan sebagai parameter uji. GEH adalah rumus statistik yang menggabungkan perbedaan antara hasil relatif dan absolut dari T-Test. Prosedur statistik ini digunakan untuk memvalidasi pemodelan simulasi lalu lintas, dan hasil model dianggap memuaskan jika nilai GEH lebih dari 5 (Zhang dan Rakha, 2008). (Zhang & Rakha, 2008)

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data volume pejalan kaki secara keseluruhan sebesar 4984 orang dengan jumlah volume pejalan kaki laki - laki yang terpantau adalah sebesar 49% dan perempuan sebesar 51%. Selain itu, sampel pejalan kaki menunjukkan bahwa pejalan kaki di sektor bisnis Malioboro didominasi oleh pejalan kaki kelompok (80%) dan sisanya adalah pejalan kaki yang berjalan sendiri. Secara detail hasil karakteristik pejalan kaki dapat dilihat pada tabel 2 di bawah.

Table 2. Karakteristik pejalan kaki

Karakteristik pejalan kaki	Jumlah (%)	
Kondisi berjalan	Individual	20,26%
	Kelompok	79,74%
Jenis Kelamin	Laki-laki	48,82%
	Perempuan	51,18%
Membawa barang	Tidak membawa barang	31,14%
	Memegang barang	48,64%
	Membawa barang	20,22%

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah menjalankan simulasi untuk mengetahui kinerja jalur pejalan kaki. Model yang didapat berasal dari data yang berupa volume, kecepatan, dan desain geometri pejalan kaki meliputi pengukuran karakteristik pejalan kaki. Komposisi pejalan kaki model ditentukan oleh arah dan jenis pejalan kaki. Pejalan kaki hanya diizinkan untuk berjalan di sepanjang rute dan zona yang telah direncanakan sebelumnya. Gambar 1 mengilustrasikan gambaran model simulasi dan keadaan lapangan. Simulasi pejalan kaki dijalankan dalam kondisi yang sama dengan lapangan observasi. Seorang pejalan kaki bergabung dengan antrian dengan jenisnya, seperti pria atau wanita,

atau saat memegang tas. Pejalan kaki diasumsikan untuk senantiasa berjalan di sepanjang jalur lurus dari awal hingga akhir.



Gambar 1. Kondisi simulasi (kanan) dan kondisi lapangan (kiri)

Untuk menyamakan model simulasi pejalan kaki, hasil aktual dibandingkan dengan model simulasi pejalan kaki. Model pejalan kaki direplikasi selama semua jam pengamatan, termasuk situasi pagi, siang, dan malam hari. Sebagai jenis simulasi yang ideal, penggunaan simulasi dengan keadaan belajar yang beragam seharusnya tidak menimbulkan perbedaan dengan kondisi lapangan. Kalibrasi untuk parameter perilaku berjalan dilakukan dengan menggunakan prosedur coba - coba untuk setiap jumlah parameter perilaku berjalan. Kesimpulan ini diperkuat dengan menguji hasil kecepatan sebagai parameter kunci untuk mengoptimalkan parameter perilaku berjalan. Tes GEH dan MAPE digunakan untuk menentukan parameter pengujian. Tabel 3 menampilkan hasil validasi simulasi. Hasil validasi mengungkapkan bahwa nilai yang disesuaikan dari parameter perilaku berjalan lebih unggul daripada *default*. Pada nilai modifikasi, parameter kecepatan yang dihasilkan lebih dekat ke hasil kecepatan bidang daripada nilai standar. Temuan studi untuk nilai MAPE secara khusus menunjukkan bahwa mereka menunjukkan hal yang sama dalam hal parameter uji MAPE untuk arus pejalan kaki, di mana kedua keadaan tersebut, yaitu kondisi *default* dan kondisi modifikasi, berada dalam kisaran yang sama, yaitu kurang dari 10. Setelah ini, perbandingan antara tes MAPE pada kondisi nilai *default* dan nilai modifikasi menunjukkan bahwa nilai uji MAPE pada parameter arus pejalan kaki dalam kondisi nilai *default* lebih besar dari nilai modifikasi. Kontras muncul dengan nilai MAPE dalam parameter kecepatan pejalan kaki, di mana nilai MAPE yang lebih tinggi dari 10 diidentifikasi dalam keadaan default. Angka ini menunjukkan bahwa hasil simulasi menggunakan nilai berjalan kurang akurat dalam menggambarkan nilai kecepatan dalam kondisi aktual. Dalam keadaan bahwa nilai yang dimodifikasi adalah 7,238 atau kurang dari 10, hasil tes MAPE adalah kebalikannya. Angka ini menunjukkan bahwa nilai kecepatan yang dihasilkan dengan menggabungkan pengaturan perilaku modifikasi lebih dekat dengan keadaan lapangan.

Tabel 3. Validasi Parameter

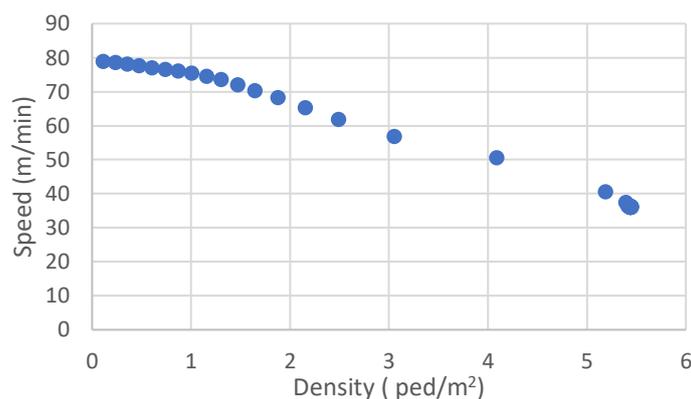
Parameter	Kecepatan	
	Nilai <i>default</i>	Nilai modifikasi
Nilai GEH	1,204	1,059
Nilai MAPE	10,538	7,238

Secara umum, variasi dari nilai *default* dapat menunjukkan karakteristik pejalan kaki Yogyakarta. Tabel 4 merupakan nilai modifikasi dari parameter *walking behavior* yang telah menunjukkan hasil uji yang lebih baik daripada nilai awal, yakni nilai *default*. Sebagai contoh, pejalan kaki dikatakan lebih berhati-hati terhadap pejalan kaki di depan mereka. Hal ini terlihat pada nilai VD yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa pejalan kaki akan mengubah posisi pergerakan mereka lebih awal untuk mencegah kecelakaan pejalan kaki. Pejalan kaki akan melakukan perjalanan lebih cepat dan menghindari ketika mereka mengetahui tentang pejalan kaki yang berlawanan di jalan setapak pada rute gerakan yang sama; pejalan kaki akan bergerak lebih cepat dan menghindari dengan besarnya rintangan di dekat ukuran *grid*. Akibatnya, meskipun kecepatannya kecil, itu akan muncul lebih cepat (Lagervall dan Samuelsson, 2014). Selanjutnya, validitas nilai penyesuaian perilaku berjalan dievaluasi untuk menjamin bahwa penggunaan simulasi arus pejalan kaki dapat dimanfaatkan untuk mencerminkan pengaturan lapangan, yang dalam penelitian ini terkait dengan karakteristik pejalan kaki di area wisata Malioboro.

Tabel 4. Nilai parameter *walking behavior*

Parameter	Nilai <i>Default</i>	Nilai modifikasi
Tau	0,4	0,05
React to n	8	3
Asoc_iso	2,72	1
Bsoc_iso	0,2	0,1
Laybda	0,176	1
Asoc_mean	0,4	0,7
Bsoc_mean	2,8	1
VD	3	6
Noise	1,2	2,4
Obstacle distance	0,5	0,5
Grid Size	0,5	2

Kapasitas dasar pejalan kaki di Yogyakarta dianalisis menggunakan model simulasi yang mencakup desain jalur pejalan kaki konvensional. Desain standar jalur pejalan kaki ditetapkan oleh kebijakan lokal di Indonesia, yaitu kebijakan nomor 3 tahun 2014. Model simulasi kemudian dikembangkan dengan Viswalk menggunakan volume input data, kecepatan, dan perilaku pejalan kaki, yang dikenal sebagai nilai modifikasi yang diperoleh sebelumnya. Kapasitas dasar diperiksa menggunakan tiga metode: linier, logaritmik, dan eksponensial. Melalui hubungan antara kecepatan dan kepadatan, kapasitas yang tepat dicapai dengan nilai terbaik untuk kapasitas. Gambar 2 menggambarkan simulasi standar keluaran PTV Viswalk. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan dan kepadatan di bawah parameter desain tipikal dapat terbukti memiliki kemiringan negatif. Semakin tinggi kepadatannya, semakin lambat kecepatannya. Hal ini konsisten dengan teori lalu lintas, di mana kepadatan tinggi mencerminkan jumlah pejalan kaki yang bergerak cepat di jalan pejalan kaki. Sebagai hasil dari pergerakan pejalan kaki yang dibatasi oleh pejalan kaki yang berjalan bersama, kecepatannya menurun. Simulasi Viswalk terdiri dari hasil kecepatan dan kepadatan. Dalam penelitian ini, terdapat empat macam metode fungsi: pendekatan fungsi linier, fungsi logaritmik, fungsi eksponensial, dan fungsi kompleks.



Gambar 2. Desain simulasi hubungan kerapatan (*density*) dan kecepatan (*speed*)

Perumusan setiap fungsi linier didasarkan pada formulasi berikut. Rumusan ini didasarkan pada asumsi pendekatan bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah fungsi linier, seperti di bawah ini.

$$V = Vf \times \left[1 - \left(\frac{k}{kj} \right)^n \right]^{(m+1)/2} \quad (2)$$

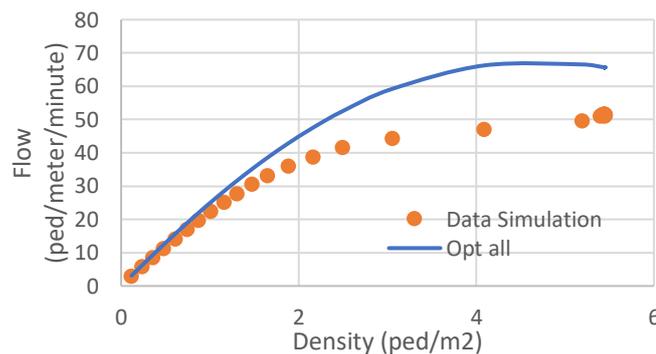
Formulasi yang terkandung dalam fungsi linier terdiri dari nilai V sebagai parameter kecepatan (m/mnt) dan nilai k menjadi parameter kerapatan (person/m²). Selain dua parameter ini, komponen pembentuk persamaan fungsi linier adalah bilangan koefisien yang terdiri dari nilai Vf, yang merupakan titik kecepatan yang memotong sumbu y, dan nilai Kj, yang merupakan titik kerapatan yang memotong sumbu x, dan nilai m dan n, yang merupakan angka koefisien yang bersifat bebas tergantung pada kesesuaian data. Koefisien m dan n mencerminkan faktor efek pada kelengkungan fungsi linier akhir. Tabel 5 menampilkan beberapa fungsi yang dihasilkan dari referensi dan fungsi optimal yang diperoleh berdasarkan data dari gambar sebelumnya 4 tentang hubungan antara kecepatan dan kepadatan. Tabel ini menggambarkan bahwa nilai R² dalam perumusan model fungsi optimal adalah yang terbesar jika dibandingkan dengan persamaan fungsi lainnya. Hasilnya, penelitian ini meyakini bahwa pendekatan fungsi linier dalam model definisi fungsi optimum lebih baik dibandingkan model lainnya.

Sebagai tujuan utama dari penyelidikan ini, tahap berikut adalah untuk mengidentifikasi jumlah kapasitas fundamental. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dicapai oleh jalur pejalan kaki. Arus pejalan kaki terhubung dengan kapasitas pejalan kaki, di mana kapasitas adalah batas arus pejalan kaki, yang merupakan titik di mana pergerakan pejalan kaki minimal, seperti kecepatan pejalan kaki, dan maksimum, seperti kepadatan pejalan kaki. Menurut desain standar peraturan PUPR no. 2 tahun 2018 di Indonesia, standar lebar jalur yang dianggap sebagai dimensi dalam menetapkan kapasitas dasar jalur pejalan kaki adalah 3 meter yang berisi 2 meter ditambah kompensasi untuk lebar jalur difabel selebar 1 meter. Hubungan antara pergerakan arus pejalan kaki didefinisikan oleh tiga parameter utama: kecepatan, kepadatan, dan arus pejalan kaki. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, hubungan antara kecepatan dan kerapatan diturunkan sebagai fungsi terbaik dalam jenis optimasi fungsi linier. Hubungan antara arus dan kerapatan dibangun sebagai bentuk mata uang sebagai

fungsi kerapatan melalui fungsi hubungan antara kecepatan dan kerapatan. Dalam hal fungsi kerapatan dan arus ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$Q = 79,44k \times \left[1 - \left(\frac{k}{12,90}\right)^{1,43}\right]^{2,28} \quad (3)$$

Data fungsi dan kerapatan arus digambarkan pada gambar 3 di bawah. Grafik dengan jelas menggambarkan bahwa pola persamaan fungsi memiliki gambar yang lebih terkini daripada data simulasi. Nilai kesesuaian fungsi dengan data simulasi dalam hal koefisien determinasi (r^2) adalah 0,974, yang mendekati satu. Arus berasal dari fungsi kerapatan dan arus yang lebih besar dari data simulasi karena parameter arus pejalan kaki hanya terhubung dengan kerapatan dalam grafik fungsi. Secara teoritis, dampak lain pada nilai sekarang dibatasi oleh koefisien persamaan fungsi yang dihasilkan dari hubungan antara kecepatan dan kepadatan pejalan kaki. Menurut PTV (2020), besarnya kerapatan yang melebihi 4 pejalan kaki/m² menghasilkan parameter *output* yang berbeda dari sebelumnya. Hal ini dilakukan karena faktor jarak pejalan kaki (ruang) tidak lagi mampu memungkinkan pergerakan pejalan kaki melewati sepanjang jalur dengan gerakan sebelum melampaui kepadatan 4 orang/m².



Gambar 3. Perbandingan nilai kerapatan (*density*) dan arus (*flow*)

Kapasitas jalur pejalan kaki adalah 201 orang per menit dengan lebar standar 3 meter, atau 65 orang per menit per meter, berdasarkan aliran maksimum yang terkait dengan fungsi ideal yang telah ditetapkan sebagai fungsi terbaik. Dalam lebar normal 3 meter, arus dicapai pada kepadatan arus jenuh 4 orang/m². Angka kerapatan ini menghasilkan nilai kerapatan per meter lebar jalur pejalan kaki 1,33 orang/m² atau 0,75 m²/orang padahal pada arus maksimum. Nilai ini melebihi kebutuhan ruang minimal yang ditetapkan oleh penelitian sebelumnya, seperti Fruin (Fruin, 1971) yang kemudian diadopsi ke dalam peraturan HCM 2000, adalah 0,75 m²/orang dalam hal fasilitas jalur pejalan kaki berupa trotoar dengan lebar minimal 0,5 meter per orang.

KESIMPULAN

Kapasitas jalur pejalan kaki membatasi kemampuan area jalur pejalan kaki untuk melaksanakan tugasnya. Pendekatan lokal untuk kapasitas jalur pejalan kaki menghasilkan besarnya kapasitas yang konsisten dengan fitur wilayah jalur pejalan kaki saat ini. Penelitian ini bermaksud untuk membangun kapasitas mendasar untuk area komersial di Indonesia berdasarkan mobilitas norma pejalan kaki. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan ide awal yang dapat dimasukkan dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia pada bagian pejalan kaki yang dapat digunakan di daerah perkotaan menggunakan alat simulasi mikroskopis pejalan kaki PTV Viswalk dan metode teori model kekuatan sosial. Manual Kapasitas Jalan Indonesia merekomendasikan kapasitas jalur pejalan kaki sebesar 65 orang per menit per meter lebar jalur pejalan kaki untuk zona jalur pejalan kaki di area komersial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak PTV Viswalk dan Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan sumbangsih yang cukup besar dalam berjalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, D. I., Karim, H. A., & Amin, M. Z. M. (2012). Comparing the Walking Behaviour between Urban and Rural Residents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 406–416. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.237>
- Bharath, H. M., Guruprashanth, N., Rohit Kumar, B. R., Raghu, G. M., & Vinayaka, N. M. (2018). Pedestrian walkability index. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(5), 703–710.
- Campisi, T., Canale, A., Tesoriere, G., Lovric, I., & Čutura, B. (2019). The importance of assessing the level of service in confined infrastructures: Some considerations of the old ottoman Pedestrian bridge of mostar. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/app9081630>
- Fadhilah, S. R., & Wibowo, S. S. (2020). *Calibration and Validation of Walking Behavior Parameter (Case Study: Sky Bridge of Sultan Mahmud Badaruddin II Airport, Palembang)*. 193(Istsd 2019), 46–51. <https://doi.org/10.2991/aer.k.200220.010>
- Fruin, J. (1971). Pedestrian and Planning Design. *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners. 1971Library of Congress Catalogue Number 70-159312 (Elevator World Inc. Educational Services Division. PO Box 6507, 354 Morgan Avenue, Mobile, Alabama 36606)*, 1–15.
- Gacutan, A. U., & M.Tan, M. J. (2012). Level of Service of Pedestrian Facilities in the University of the Philippines Diliman. *Summary of Final Manuscript*, 10. Retrieved from http://www.academia.edu/download/33160503/CE_199_Transportation_Engineering_Level_of_Service.pdf
- Johansson, F., Peterson, A., & Tapani, A. (2015). Waiting pedestrians in the social force model. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 419, 95–107.

- <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.003>
- Kim, I., Galiza, R., & Ferreira, L. (2013). Modeling pedestrian queuing using micro-simulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 232–240. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.01.018>
- Kusmeilan, E., Prasetyanto, D., & Maulana, A. (2018). Tingkat Pelayanan Pejalan Kaki pada Skywalk Jalan Cihampelas Kota Bandung. (Hal. 28-37). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(2), 28. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i2.28>
- Lagervall, Malin; samuelsson, S. (2014). *Microscopic Simulation of Pedestrian Traffic in a Station Environment : A Study of Actual and Desired Walking Speeds*. Linköping University.
- Muslihun, M. (2013). *Studi Kenyamanan Pejalan Kaki Terhadap Pemanfaatan Jalur Pedestrian Di Jalan Protokol Kota Semarang (Studi Kasus Jalan Pahlawan)*. 1–95.
- Rouphail, N., Hughes, R., & Chae, K. (2005). Exploratory simulation of pedestrian crossings at roundabouts. *Journal of Transportation Engineering*, 131(3), 211–218. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:3\(211\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:3(211))
- Seyfried, A., Passon, O., Steffen, B., Boltes, M., Rupprecht, T., & Klingsch, W. (2009). New insights into pedestrian flow through bottlenecks. *Transportation Science*, 43(3), 395–406. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0263>
- Syakdiah. (2017). Dinamika Pariwisata Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Semnasfi*, 1(1), 225–233. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/325048860_Dynamics_of_Tourism_in_Special_District_of_Yogyakarta/fulltext/5af334320f7e9b026bc93f70/Dynamics-of-Tourism-in-Special-District-of-Yogyakarta.pdf
- Utomo, F. T., & Tjahjani, A. R. I. (2014). Analisis Karakteristik Dan Tingkat Pelayanan Fasilitas Pejalan Kaki Di Kawasan Terminal Kendaraan Umum Kota Depok. *Jurnal Infrastructure*, 3(2), 107–114.
- Vassili Alexiadis, Krista Jeannotte, A. C. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer*.
- Wu, N. (2017). New Features in the 2015 German Highway Capacity Manual (HBS2015). *Transportation Research Procedia*, 00(July 2016).
- Ye, J. H., Chen, X., Yang, C., & Wu, J. (2008). Walking Behavior and Pedestrian Flow Characteristics for Different Types of Walking Facilities. *Transportation Research Record*, 2048(2048), 43–51. <https://doi.org/10.3141/2048-06>
- Zhang, Y., & Rakha, H. (2008). Systematic analysis of capacity of weaving sections. *Efficient Transportation and Pavement Systems: Characterization, Mechanisms, Simulation, and Modeling - Proceedings of the 4th International Gulf Conference on Roads*, (6), 151–164. <https://doi.org/10.1201/9780203881200.ch18>