

ANALISIS KAPASITAS STOKASTIK JALAN ARTERI DENGAN VARIASI PROPORSI VOLUME SEPEDA MOTOR

Dewa Made Priyantha Wedagama^{1*}

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali
e-mail: priyantha@civil.unud.ac.id

ABSTRAK

Volume sepeda motor dan perilaku pengendara sepeda motor berpengaruh pada berkurangnya keselamatan jalan raya secara keseluruhan dan berkurangnya kapasitas jalan. Nilai (tunggal) kapasitas jalan tidak selalu mencerminkan nilai riil. Oleh karena itu, kapasitas jalan sebaiknya dinyatakan sebagai variabel acak stokastik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi heterogenitas kendaraan khususnya karakteristik fisik dan operasional lalu lintas sepeda motor yang berdampak pada pengurangan kapasitas jalan. Kapasitas jalan pada studi ini dianalisis dengan distribusi probabilitas. Penelitian ini memperlihatkan bahwa pada probabilitas kumulatif 85% dan 50%, peningkatan kapasitas jalan akibat pengurangan rasio sepeda motor mempunyai variasi nilai interval yang signifikan. Di ruas jalan arteri, pengurangan rasio sepeda motor sebesar 10%, 30%, 50% akan meningkatkan kapasitas jalan masing-masing sebesar 1%-2%, 3%-7% dan 7%-13% pada keandalan kumulatif 85% dan 1%-2%, 3%-8% dan 4%-12% pada keandalan kumulatif 50%. Rasio sepeda motor yang tinggi dapat mengurangi kapasitas jalan. Jika pengurangan rasio sepeda motor sebesar 50% akan meningkatkan kapasitas jalan arteri sebesar antara 7% dan 13% pada keandalan kumulatif 85% dan antara 4%-7% pada keandalan 50%. Studi ini hanya memperhitungkan dua (2) variabel yaitu dimensi dan kecepatan sepeda motor. Pengaruh kapasitas jalan akibat perilaku pengendara sepeda motor tidak diperhitungkan dalam studi ini. Studi lanjutan disarankan dengan memperhitungkan kondisi arus lalu lintas pada bukan jam sibuk.

Kata kunci: Jalan Arteri, Kapasitas Stokastik, Lalu Lintas Campuran, Sepeda Motor

1. PENDAHULUAN

Kendaraan pribadi, termasuk kendaraan ringan dan sepeda motor, volumenya terus meningkat per tahunnya terutama di negara-negara Asia dengan kondisi lalu lintas campuran (seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam). Dominasi sepeda motor pada lalu lintas campuran dapat menimbulkan permasalahan lalu lintas seperti kemacetan lalu lintas, polusi udara, polusi suara, dan kecelakaan lalu lintas (Vu dan Preston, 2023). Sementara itu kapasitas jalan tergantung pada kondisi jalan dan kondisi lalu lintas yang ada. Oleh karena itu, metode penentuan kapasitas jalan nya berbeda-beda tiap negara. Di banyak negara, termasuk negara berkembang seperti India, Malaysia, Thailand, dan Indonesia, telah mengembangkan pedoman dan metode sendiri untuk estimasi kapasitas jalan (Jayaratne, et al., 2024).

Peningkatan kapasitas jalan jika dilakukan dengan pelebaran jalur jalan menunjukkan bahwa *lane discipline* sangat longgar, seperti yang terlihat di Indonesia (Jayaratne, et al., 2024). Meskipun peningkatan volume sepeda motor meningkatkan aksesibilitas dan kenyamanan berlalu lintas khususnya pengendara sepeda motor, perkembangan tersebut juga menciptakan tantangan kompleks yang perlu diteliti secara cermat. Di jalan raya dengan kepadatan lalu lintas tinggi, sering terjadi konflik antar Kendaraan bermotor. Berbagi ruang di jalan antara kendaraan berat dan kendaraan ringan dengan kecepatan tinggi dengan Kendaraan lain dengan kecepatan rendah sangat rentan akan terjadinya konflik lalu lintas. Sepeda motor mempunyai ketidakstabilan saat dikendarai di jalan raya dan juga kecenderungan untuk berperilaku zigzag di jalan, melawan arah supaya waktu tempuh lebih pendek termasuk menggunakan trotoar, semakin meningkatkan kerentanan pada sepeda motor. Kondisi ini juga berpengaruh kepada meningkatnya kecelakaan atau berkurangnya keselamatan jalan raya secara keseluruhan dan berkurangnya kapasitas jalan (Ahmed, et al, 2023).

Sementara itu, nilai (tunggal) kapasitas jalan tidak selalu mencerminkan nilai riil. Oleh karena itu, kapasitas sebaiknya dianggap sebagai variabel acak stokastik (Brilon, et.al, 2005; Geistefeldt, 2009). Variabel acak stokastik ini memerlukan identifikasi/perkiraan kapasitas sebagai distribusi probabilitas pada rentang nilai (Brilon, et.al, 2005). Distribusi kumulatif dari nilai kapasitas tersebut dikenal sebagai 'fungsi distribusi kapasitas' dan dianggap sebagai alat yang signifikan untuk menilai kinerja dan efisiensi jalan. Asumsi yang digunakan adalah arus lalu lintas saat jam puncak diasumsikan sebagai nilai kapasitas jalan (Brilon, et.al, 2005).

Selain itu, perkiraan kapasitas jalur pada lalu lintas campuran dan kurangnya disiplin jalur oleh pengemudi menciptakan tingkat kesulitan yang berbeda-beda (Mehtar, et.al, 2014). Tingginya tingkat interaksi antar moda

transportasi serta perbedaan kecepatannya yang signifikan dapat menciptakan hambatan mobilitas (Zhou, et.al, 2018). Hal ini mengurangi kecepatan rata-rata lalu lintas di jalan karena karakteristik pengoperasiannya. Memahami faktor penghambat yang disebabkan oleh sepeda motor sangat penting dalam analisis lalu lintas karena hal ini tidak hanya mempengaruhi kecepatan lalu lintas tetapi juga arus lalu lintas dan pada akhirnya kapasitas lalu lintas dan tingkat pelayanan. Untuk lebih memahami fenomena dampak sepeda motor terhadap penurunan kapasitas, penelitian ini menyelidiki kondisi arus lalu lintas campuran di jalan arteri Bali dengan dan tanpa median pada jumlah lajur dan kecepatan yang bervariasi pada jam sibuk. Penelitian sebelumnya (Wedagama, et.al, 2022) juga menyarankan perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dan interaksi setiap moda transportasi terhadap pilihan kecepatan masing-masing moda.

Penelitian sebelumnya (Shah dan Gupta, 2016; Kumar, et.al, 2018; Salini dan Ashalatha, 2020) juga menekankan bahwa metode penentuan kapasitas jalan di negara maju mungkin tidak mencerminkan kondisi lalu lintas di negara berkembang. Studi di negara maju tidak mempertimbangkan karakteristik arus lalu lintas campuran, terutama di Indonesia dimana sepeda motor mendominasi lalu lintas. Misalnya distribusi data kecepatan pada kondisi lalu lintas homogen di negara maju mengikuti distribusi normal, namun tidak pada kondisi lalu lintas heterogen/campuran (Shah dan Gupta, 2016).

Mengingat tingginya persentase sepeda motor di Indonesia, termasuk Provinsi Bali yang melebihi 85% (Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, 2021), pada penelitian ini disusun alternatif model stokastik (selain penggunaan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia tahun 2023) untuk menganalisis dampak sepeda motor terhadap pengurangan kapasitas jalan. Tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai ekuivalen mobil penumpang untuk jalan arteri pada tingkat lalu lintas yang berbeda, dengan penekanan pada saat jam puncak lalu lintas. Sebagai pendahuluan untuk menentukan perubahan faktor ekuivalen mobil penumpang (emp) dan mengukur perubahan tersebut.
- b. Analisis komposisi heterogenitas kendaraan khususnya karakteristik fisik dan operasional lalu lintas sepeda motor yang berdampak pada pengurangan kapasitas jalan.

Jika hubungan antara sepeda motor dan menurunnya kapasitas jalan dapat diidentifikasi, kebijakan dan tindakan yang tepat dapat diambil untuk mencegah atau mengurangi besarnya penurunan tersebut, tergantung pada tingkat penetrasi kendaraan. Memahami dampak lalu lintas sepeda motor terhadap berkurangnya kapasitas jalan dapat membantu manajemen lalu lintas agar dapat tercapainya waktu tempuh perjalanan yang ideal. Ruas Jl. Denpasar-Gilimanuk dan Jl. Gatot Subroto dan Jl. Bypass Ida Bagus Mantra merupakan contoh jalan arteri di Bali yang dilalui semua moda (kendaraan berat, kendaraan ringan dan sepeda motor). Untuk mencapai efisiensi dalam hal kinerja lalu lintas pada ruas jalan arteri tersebut diharapkan dapat ditingkatkan melalui strategi manajemen lalu lintas. Kontribusi ilmiah dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak lalu lintas sepeda motor terhadap perubahan kapasitas jalan dan pengetahuan umum tentang faktor-faktor lain yang mempengaruhi perubahan kapasitas jalan.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan kamera video sepanjang segmen jalan di tiga (3) lokasi yaitu Jl. Denpasar - Gilimanuk, Jl. Jalan Gatot Subroto dan Jl. Bypass IB Mantra. Data yang dikumpulkan terdiri dari volume lalu lintas (Q), waktu tempuh (t) untuk menghitung kecepatan (V) dan kondisi geometri jalan. Volume lalu lintas dan waktu tempuh setiap segmen diukur secara terpisah untuk setiap arah. Lokasi studi memiliki arus lalu lintas yang tidak terputus (uninterrupted flows) pada ruas jalan lurus dan datar (kemiringan 0%). Ruas jalan tersebut tidak memiliki titik akses lain di dekat lokasi pengumpulan data lalu lintas untuk meminimalkan atau meniadakan dampak hambatan samping terhadap arus lalu lintas selain hanya pengaruh dari volume sepeda motor.

Data waktu tempuh dan volume lalu lintas yang diambil di lokasi studi, dikelompokkan setiap lima (5) menit. Semua kendaraan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yaitu sepeda motor (motorcycle/MC), kendaraan ringan (light vehicle/LV), dan kendaraan berat (heavy vehicle/HV). Waktu pengambilan data dilakukan saat jam puncak lalu lintas yaitu antara pukul 07.00 - 11.00 WITA. Ruas jalan yang diamati mengacu pada kondisi arus lalu lintas seperti derajat kejenuhan (rasio volume/kapasitas), distribusi lalu lintas, komposisi lalu lintas, persentase sepeda motor, dan ada/tidaknya hambatan samping.

Tabel 1 menunjukkan karakteristik lalu lintas di lokasi studi serta kondisi geometri jalannya. Pengamatan dilakukan pada saat masa pandemi mulai mereda (April 2022). Secara visual volume lalu lintas terlihat masih lebih rendah dibandingkan kondisi saat sebelum pandemi. Pantauan sebelumnya menunjukkan jam puncak terjadi pada pukul 07.00 – 11.00 WITA. Pengamatan terhadap variabel hambatan samping (sedikit pejalan kaki yang menyeberang jalan, kendaraan yang parkir atau berhenti di pinggir jalan, kendaraan tak berawak yang melintas di pinggir jalan, kendaraan masuk dan keluar tata guna lahan) diukur sepanjang 200 meter jalan. bagian. Dari ketiga lokasi pengamatan, sepeda motor memiliki persentase terbesar diantara ketiga mode transportasi yang diamati yaitu antara 61,11% dan 81,31%, kendaraan ringan antara 16,41% dan 30,68%, serta kendaraan berat antara 2,28% dan 8,21%. Rasio moda ini menunjukkan kondisi arus lalu lintas campuran. Penelitian sebelumnya menyimpulkan bahwa pengaruh lebar lajur lebih terasa pada kondisi lalu lintas campuran dimana kendaraan tidak saling beriringan (Patel dan Joshi, 2014). Studi

sebelumnya menunjukkan adanya hubungan negatif antara penurunan kapasitas dengan jumlah lajur, dengan kecenderungan penurunan dari 16,33% untuk jalan raya 2 lajur menjadi 8,85% untuk jalan raya 5 lajur (Oh dan Yeo, 2015).

Tabel 1. Komposisi lalu lintas dan geometri jalan

<i>Ruas Jalan</i>	<i>Koordinat (Easting; Northing)</i>	<i>Tipe Jalan</i>	<i>Lebar Median</i>
JL. Denpasar - Gilimanuk	8°29'48.2";115°03'06.1"	2/2 UD	-
JL. Gatot Subroto Denpasar	8°38'08.2";115°13'34.3"	4/2 UD	-
JL. Bypass IB Mantra	8°37'17.3";115°17'58.6"	4/2 D	5
<i>Ruas Jalan</i>	<i>Sepeda Motor (unit)</i>	<i>Kendaraan Ringan (unit)</i>	<i>Kendaraan Berat (Unit)</i>
JL. Denpasar - Gilimanuk	4813 (61.11%)	2416 (30.68%)	647 (8.21%)
JL. Gatot Subroto Denpasar	16148 81.31%)	3260 (16.41%)	453 (2.28%)
JL. Bypass IB Mantra	15981 74.19%)	4774 (22.17%)	78 (3.64%)
<i>Ruas Jalan</i>	<i>Lebar Lajur (m)</i>	<i>Lebar Jalur (m)</i>	<i>Lebar bahu (m)</i>
JL. Denpasar - Gilimanuk	3.20 /3.20	6.40	1.25 /1.25
JL. Gatot Subroto Denpasar	6.00 /5.00	11.00	0.35 /0.70
JL. Bypass IB Mantra	3.35 /3.35	6.70	2.15 /1.30

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

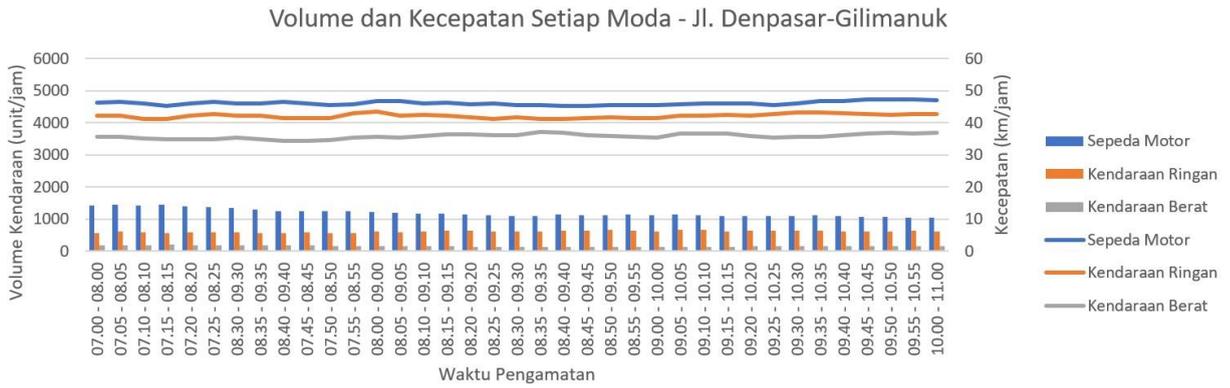
Hasil survei

Gambar 1 sampai 4 menunjukkan fluktuasi volume dan kecepatan lalu lintas sepanjang waktu pengamatan setiap jam dengan interval lima (5) menit. Nilai volume dan kecepatan tertinggi pada grafik masing-masing sebesar 5.500 kendaraan/jam dan 70 km/jam untuk memudahkan analisis data awal volume dan kecepatan lalu lintas pada seluruh ruas jalan yang diamati.

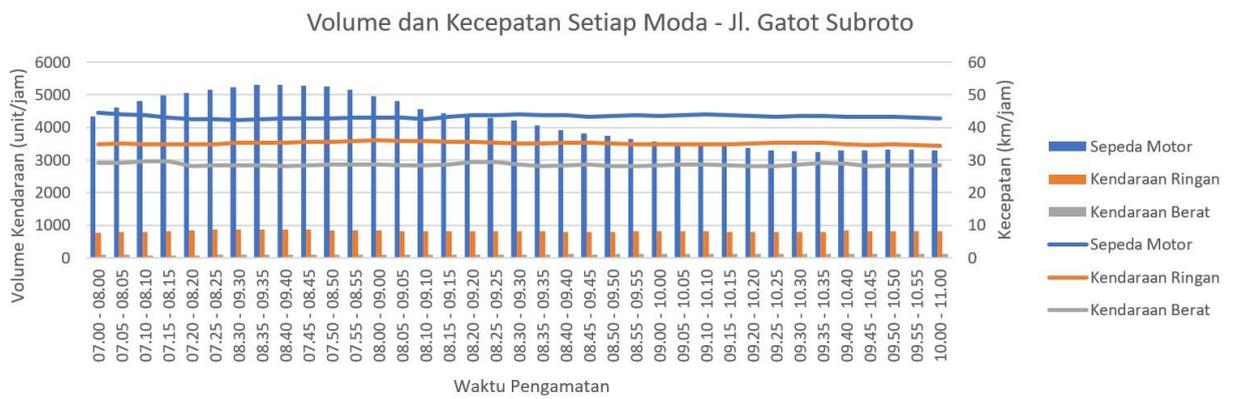
Ruas jalan Jl. Denpasar-Gilimanuk merupakan tipe jalan dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2 UD). Volume dan kecepatan sepeda motor lebih tinggi dibandingkan dua mode lainnya (kendaraan ringan dan kendaraan berat). Volume sepeda motor tertinggi mencapai 1.500 kendaraan/jam dan kecepatan sepeda motor rata-rata dibawah 50 km/jam. Kecepatan lalu lintas di Jl. Denpasar-Gilimanuk memiliki pola yang sama dengan Jl. Gatot Subroto (Gambar 2), meskipun volume sepeda motor tertingginya mendekati 5.500 kendaraan/jam. Tingginya volume sepeda motor ini terjadi karena Jl. Gatot Subroto terletak di pusat kota Denpasar.

Kecepatan sepeda motor di Jl. Denpasar-Gilimanuk dan di Jl. Gatot Subroto lebih tinggi dibandingkan kendaraan ringan dan kendaraan berat. Akan tetapi, di Jl. Bypass IB Mantra, kecepatan sepeda motor dan kendaraan ringan hampir sama dan keduanya mempunyai kecepatan lebih tinggi dibanding kendaraan berat. Jika dilihat dari volume ke tiga moda kendaraan tersebut, pemilihan kecepatan oleh sepeda motor tidak ada kaitan dengan volume lalu lintas. Asumsi yang dapat diambil adalah bahwa di jalan Bypass IB Mantra, mempunyai median jalan, sehingga pemilihan kecepatan oleh pengemudi kendaraan ringan dan sepeda motor tidak terpengaruh oleh volume dan kecepatan lalu lintas dari arah berlawanan. Data volume dan kecepatan lalu lintas di Jl. Bypass IB Mantra ditampilkan terpisah per arah karena adanya median, kecepatan tidak terpengaruh oleh lalu lintas dari arah berlawanan. Namun, untuk ruas jalan yang tidak mempunyai median (Jl. Denpasar-Gilimanuk dan Jl. Gatot Subroto), data volume lalu lintas dan kecepatan digabungkan, karena kecepatan dipengaruhi oleh lalu lintas dari arah berlawanan. Data lalu lintas diamati setiap 5 menit untuk mengakomodasi variasi arus dan kecepatan karena sifat lalu lintas yang heterogen

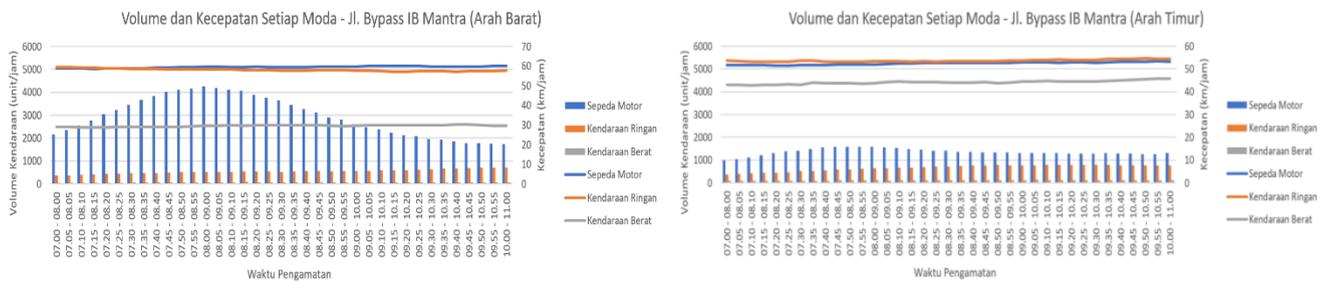
Tabel 2 menunjukkan bahwa sepeda motor mempunyai volume tertinggi di seluruh ruas jalan, khususnya Jl. Gatot Subroto (dua arah) dan Jl. Bypass IB Mantra (arah barat). Pola yang sama juga terjadi untuk kecepatan namun pada ruas pengamatan Jl. IB Mantra (arah timur), dimana kecepatan maksimum ada pada kendaraan ringan.



Gambar 1. Volume dan Kecepatan Lalu Lintas di Jl. Denpasar-Gilimanuk



Gambar 2. Volume dan Kecepatan Lalu Lintas di Jl. Gatot Subroto-Denpasar



Gambar 3. Volume dan Kecepatan Lalu Lintas di Jl. Bypass IB Mantra (Arah Barat & Timur)

Tabel 2. Nilai maksimum dan minimum volume dan kecepatan lalu lintas

Ruas Jalan	Volume (Kendaraan/jam)					
	Sepeda Motor		Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.
JL Denpasar - Gilimanuk (2 Arah)	1459	1035	677	566	199	132
JL Gatot Subroto (2 Arah)	5318	3254	883	771	131	88
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	1601	997	809	381	141	98
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	4262	1750	732	386	92	57

Ruas Jalan	Kecepatan (km/jam)					
	Sepeda Motor		Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.
JL Denpasar - Gilimanuk (2 Arah)	47	45	44	41	37	34
JL Gatot Subroto (2 Arah)	44	42	36	34	30	28
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	53	52	55	53	46	43
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	60	59	59	57	30	29

Nilai ekuivalen mobil penumpang (emp)

Tabel 3 menunjukkan penentuan nilai ekuivalen mobil penumpang (emp) untuk 3 (tiga) tipe moda transportasi yaitu sepeda motor, kendaraan ringan dan kendaraan berat. Nilai emp ditentukan dari data kecepatan lalu lintas pada interval lima menit untuk mengubah arus lalu lintas heterogen menjadi homogen. Nilai rata-rata emp ditentukan dari persamaan *Dynamic Car Unit* (DCU) (Patel dan Joshi, 2014).

$$DEF_c = \frac{V_{lv}}{\sum_i V_i} \quad (1)$$

dengan,

- DEF_c : Nilai faktor ekuivalen dinamis untuk tipe i dari moda transportasi.
- V_{lv} : Kecepatan rata-rata kendaraan ringan sebagai acuan (km/jam)
- V_i : Kecepatan rata-rata kendaraan tipe i (km/jam)
- A_{lv} : Luas area (panjang x lebar) kendaraan ringan sebagai acuan (m²)
- A_i : Luas area (panjang x lebar) kendaraan tipe i pada jalan tersebut (m²)

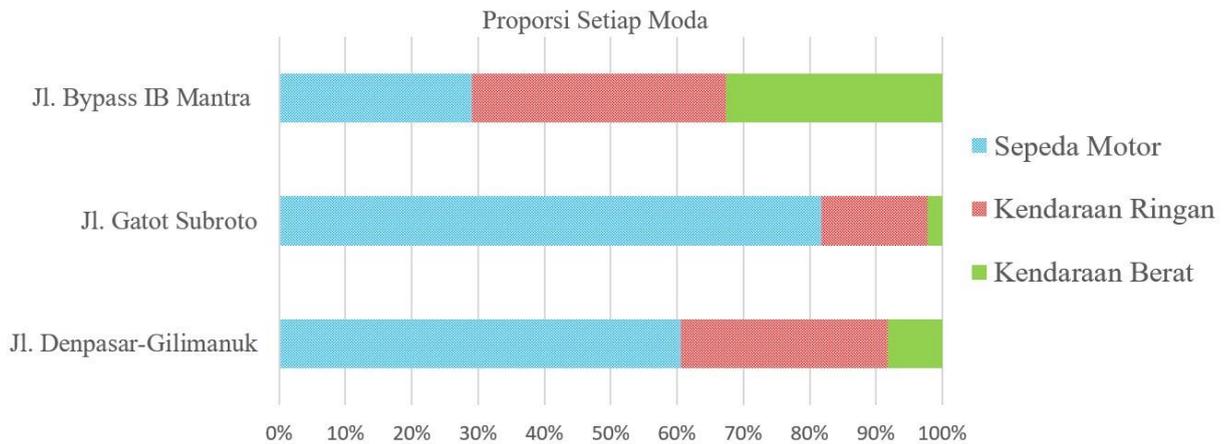
Tabel 3. Penentuan nilai emp setiap moda

Ruas Jalan	V _{Sepeda Motor}	V _{Kendaraan Ringan}	V _{Kendaraan Berat}
	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)
JL Denpasar - Gilimanuk	42	46	12.18
JL Gatot Subroto	35	43	12.18
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	54	52	12.18
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	58	60	12.18
Ruas Jalan	A _{Sepeda Motor} (m ²)	A _{Kendaraan Ringan} (m ²)	A _{Kendaraan Berat} (m ²)
JL Denpasar - Gilimanuk	1.2	12.18	31.46
JL Gatot Subroto	1.2	12.18	31.46
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	1.2	12.18	31.46
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	1.2	12.18	31.46
Ruas Jalan	Sepeda Motor	Nilai rata-rata emp Kendaraan Ringan	Kendaraan Berat
JL Denpasar - Gilimanuk	0.09	1	3.01
JL Gatot Subroto	0.08	1	3.12
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	0.10	1	3.17
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	0.10	1	4.99

Tidak terdapat variasi yang besar dalam perkiraan nilai emp untuk sepeda motor meskipun terdapat perbedaan kecepatan rata-rata sepeda motor di semua segmen pengamatan. Hal ini disebabkan karena dimensi rata-rata sepeda motor yang relatif kecil dibandingkan kendaraan ringan dan kendaraan berat. Pemilihan kecepatan oleh pengendara sepeda motor dapat dipengaruhi oleh volume dan kecepatan kendaraan berat dan kendaraan ringan, perilaku berkendara, serta kondisi geometrik dan perkerasan jalan.

Nilai emp pada Tabel 3 merupakan faktor konversi dari data volume lalu lintas yang heterogen menjadi homogen yaitu menjadi satuan mobil penumpang (smp). Gambar 4 menunjukkan proporsi masing-masing jenis kendaraan dalam satuan smp/jam. Terlihat bahwa proporsi jenis kendaraan mempunyai perbedaan jika dinyatakan dalam satuan antara kendaraan/jam dan smp/jam. Perbedaan ini sangat dipengaruhi oleh nilai emp yang digunakan. Misalnya, emp untuk kendaraan berat pada Tabel 3 mempunyai nilai yang besar jika dibandingkan emp sepeda motor, sehingga proporsi kendaraan berat nampaknya meningkat dalam satuan smp/jam. Oleh karena itu, proporsi sepeda motor dalam satuan smp tidak lebih dari 30% sementara proporsi kendaraan berat mencapai 40%, khususnya di Jl. Denpasar- Gilimanuk. Namun kenyataannya, rasio sepeda motor dalam lalu lintas bisa lebih dari 80% (semua moda).

Nilai emp bergantung pada banyak faktor yang meliputi tingkat arus lalu lintas dan komposisi lalu lintas. Studi sebelumnya yang dilakukan di Vietnam, dimana arus lalu lintasnya didominasi oleh sepeda motor (Vu dan Preston, 2023), sepeda motor dijadikan sebagai unit referensi (motorcycle unit/mcu). Tetapi dalam studi ini, meskipun kendaraan ringan tidak mendominasi, tetap dijadikan unit referensi (satuan mobil penumpang/smp). Hal ini karena dimensi jalan raya, seperti lebar lajur dan jalur masih mengacu kepada kendaraan ringan. Nilai emp sepeda motor seperti terlihat pada Tabel 3, tidak jauh berbeda untuk semua ruas jalan. Dimensi sepeda motor yang kecil dapat menyebabkan sepeda motor melaju sesuai dengan kecepatan yang diinginkan baik pada kondisi lalu lintas yang jenuh maupun tidak jenuh.



Gambar 4. Proporsi dari Setiap Moda Transportasi

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis dampak perubahan ratio atau persentase sepeda motor terhadap perubahan (peningkatan/penurunan) kapasitas jalan. Oleh karena itu proporsi kendaraan pada arus lalu lintas campuran digunakan dalam satuan smp/jam. Kapasitas merupakan batas dimana dibawah nilai batas volume lalu lintas masih beroperasi dan jika diatas nilai batas maka volume lalu lintas dipecah menjadi lalu lintas *stop and go*. Kapasitas dalam studi ini bukan merupakan suatu nilai yang konstan. Pada beberapa penelitian sebelumnya (Asgharzadeh dan Kondyli, 2018; Laflamme dan Ossenbruggen, 2018) analisis empiris pola arus lalu lintas yang dihitung pada interval 5 menit, menunjukkan bahwa kapasitas ruas jalan terdistribusi Weibull dengan parameter bentuk (shape parameter) hampir konstan yang merepresentasikan nilai varians.

Distribusi kapasitas jalan

Fungsi matematis untuk penentuan distribusi kapasitas jalan menggunakan rumusan sebagai berikut (Brilon, et.al, 2005):

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right) \text{ for } x \gg 0 \quad (2)$$

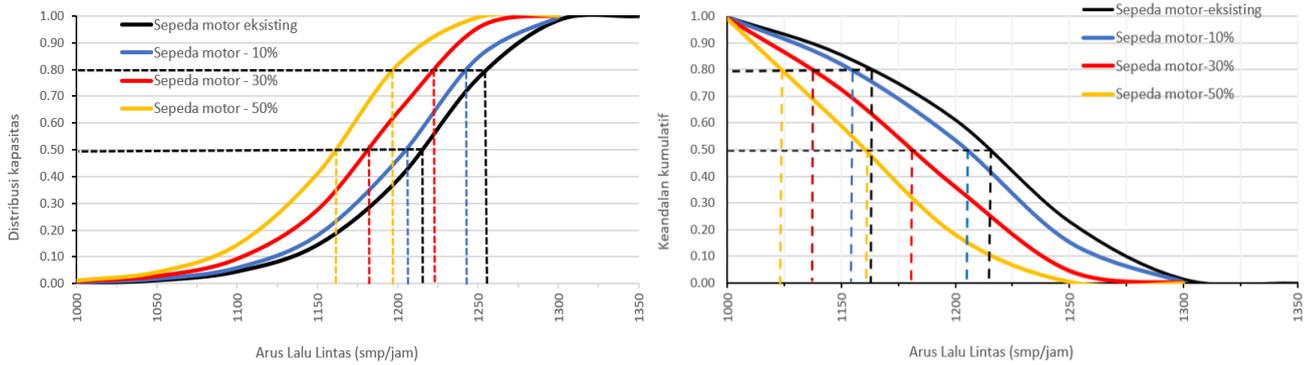
dengan

- α : parameter bentuk (shape parameter)
- β : parameter skala (scale parameter)

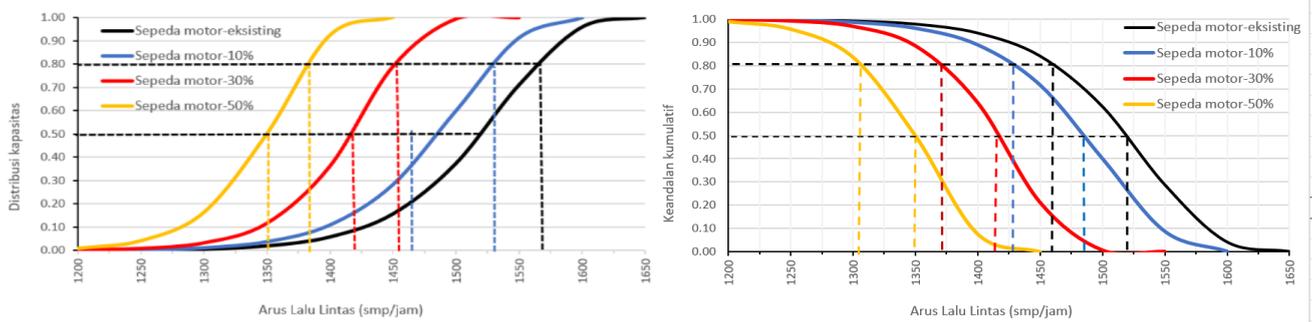
Untuk estimasi parameter fungsi distribusi, metode *maximum likelihood*, fungsi probabilitas, atau logaritma natural (log-likelihood) dimaksimalkan untuk kalibrasi fungsi distribusi. Gambar 6 - 9 menunjukkan probabilitas kapasitas jalan arteri jika terjadi perubahan persentase jumlah sepeda motor pada arus lalu lintas. Probabilitas ditentukan berdasarkan parameter fungsi distribusi Weibull. Rangkuman penurunan probabilitas ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter distribusi Weibull

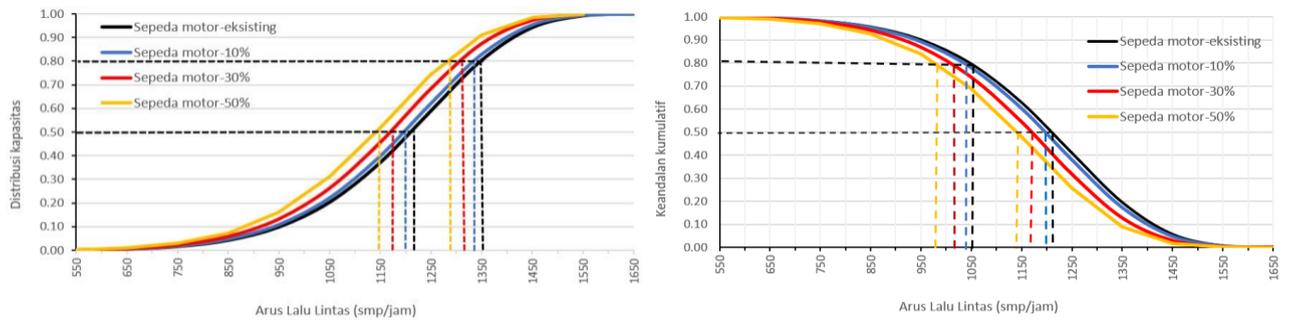
Ruas Jalan	Parameter Bentuk α		
	10%	30%	50%
JL Denpasar - Gilimanuk	27	27	27
JL Gatot Subroto	30	36	36
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	8	8	7
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	12	12	11
Parameter Skala β (smp/jam)			
	10%	30%	50%
JL Denpasar - Gilimanuk	1221	1199	1177
JL Gatot Subroto	1504	1432	1363
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	1255	1227	1199
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	1254	1192	1131
Standar Deviasi (smp/jam)			
	10%	30%	50%
JL Denpasar - Gilimanuk	49	47	45
JL Gatot Subroto	43	36	32
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	177	177	176
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	122	117	113



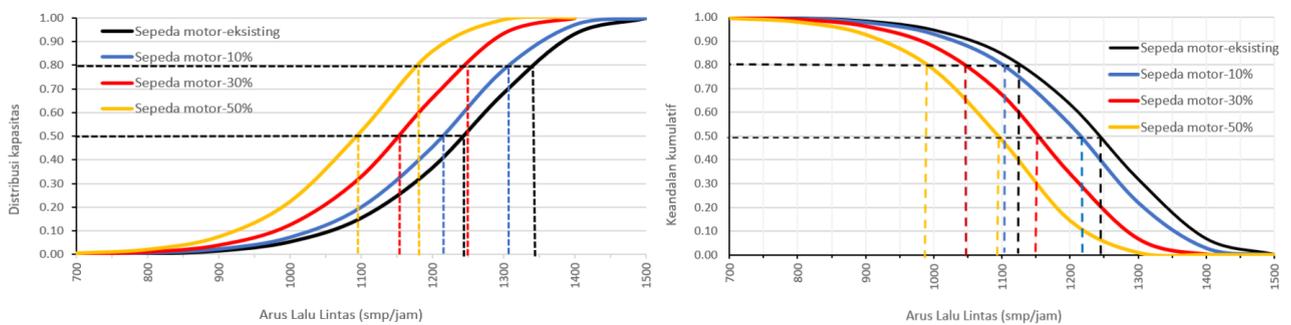
Gambar 5. Probabilitas Distribusi Weibull Kapasitas Jl. Denpasar-Gilimanuk



Gambar 6. Probabilitas Distribusi Weibull Peningkatan Kapasitas Jl. Gatot Subroto



Gambar 7. Probabilitas Distribusi Weibull Kapasitas Jl. Bypass IB Mantra (Arah Timur)



Gambar 8. Probabilitas Distribusi Weibull Kapasitas Jl. Bypass IB Mantra (Arah Barat)

Berdasarkan standar deviasi pada tabel, maka volume lalu lintas di Jl. Bypass IB Mantra baik arah timur maupun arah barat mempunyai variasi yang lebih tinggi dibandingkan di Jl. Gilimanuk dan Gatot Subroto. Hal ini dapat

menyebabkan perbedaan yang besar pada parameter bentuk (shape parameter) nilai distribusi Weibull di Jl. Bypass IB Mantra dibandingkan dengan parameter bentuk (shape parameter) di Jl. Denpasar-Gilimanuk dan Jl. Gatot Subroto. Parameter bentuk pada sebaran Weibull berada pada nilai antara 8 sampai dengan 36. Jalan Denpasar-Gilimanuk dan Gatot Subroto merupakan jalan arteri tanpa median yaitu jalan 2 lajur-2 arah tidak terbagi, mempunyai nilai parameter bentuk yang hampir sama yaitu antara 27. Sedangkan jalan Bypass IB Mantra merupakan jalan arteri bertipe jalan 4 lajur 2 arah yang terbagi. Untuk jalan yang memiliki median, kecepatan di setiap arah tidak berpengaruh terhadap kecepatan di arah sebaliknya. Nilai parameter bentuknya hampir sama, masing-masing sekitar 8 dan 12 untuk lalu lintas arah timur dan arah barat. Hal ini mungkin disebabkan karena volume lalu lintas pada lalu lintas arah timur jauh lebih kecil dibandingkan volume lalu lintas arah barat

Peningkatan kapasitas jalan akibat penurunan sepeda motor pada probabilitas kumulatif 85% dan 50% pada Tabel 5 menunjukkan interval nilai yang bervariasi. Pada penurunan persentase 10% sepeda motor, nilai peningkatan kapasitas konstan (1%-2%) baik pada keandalan kumulatif 85% maupun pada 50%. Pada penurunan persentase 30% sepeda motor di jalan raya akan mempunyai nilai perbedaan 4% (3%-7%) pada keandalan kumulatif 85% dan perbedaan 5% (3%-8%) pada keandalan 50%. Pada penurunan persentase 50% sepeda motor di jalan raya akan mempunyai nilai perbedaan 6% (7%-13%) pada keandalan kumulatif 85% dan perbedaan 8% (4%-12%) pada keandalan 50%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar rasio atau persentase penurunan sepeda motor pada seluruh ruas jalan yang diamati dapat meningkatkan kapasitas ruas jalan seperti terlihat pada Tabel 5.

Sebagai contoh, di Jl. Denpasar-Gilimanuk, pengurangan sepeda motor sebesar 50% akan meningkatkan kapasitas jalan antara 8% pada keandalan kumulatif 85% dan 4% pada keandalan rata-rata atau 50%. Terjadi perbedaan nilai peningkatan kapasitas saat keandalan 85% dan 50%. Demikian juga pada ruas Jl. Bypass IB Mantra (Arah Timur), terjadi perbedaan nilai peningkatan kapasitas saat keandalan 85% dan 50% (masing-masing 7% dan 11%). Jika variabel yang digunakan untuk penentuan ekivalen mobil penumpang (emp) adalah dimensi sepeda motor dan kecepatan sepeda motor, maka perbedaan peningkatan kapasitas tersebut terjadi kemungkinan karena kecepatan sepeda motor pada dua (2) ruas jalan tersebut mempunyai variasi yang cukup signifikan. Sementara, kecepatan sepeda motor pada ruas JL. Gatot Subroto dan JL Bypass IB Mantra (Arah Barat) variasinya kecil.

Tabel 5. Probabilitas Peningkatan Kapasitas Ruas Jalan Akibat Penurunan Volume Sepeda Motor

Ruas Jalan	Keandalan Kumulatif 85%		
	Sepeda Motor (-10%)	Sepeda Motor (-30%)	Sepeda Motor (-50%)
JL Denpasar - Gilimanuk	1%	4%	8%
JL Gatot Subroto	2%	6%	11%
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	2%	3%	7%
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	2%	7%	13%
Ruas Jalan	Keandalan Kumulatif 50% (Nilai Median)		
	Sepeda Motor (-10%)	Sepeda Motor (-30%)	Sepeda Motor (-50%)
JL Denpasar - Gilimanuk	1%	3%	4%
JL Gatot Subroto	2%	7%	11%
JL Bypass IB Mantra (Arah Timur)	1%	4%	11%
JL Bypass IB Mantra (Arah Barat)	2%	8%	12%

Perbedaan peningkatan kapasitas tersebut terjadi kemungkinan lainnya karena kecepatan sepeda motor pada dua (2) ruas jalan tersebut mempunyai variasi yang cukup signifikan. Sementara, kecepatan sepeda motor pada ruas JL. Gatot Subroto dan JL Bypass IB Mantra (Arah Barat) variasinya kecil. Proporsi sepeda motor pada ruas JL Denpasar - Gilimanuk dan JL Bypass IB Mantra (Arah Timur) lebih kecil dibandingkan dua (2) ruas jalan lainnya. Dalam kondisi lalu lintas campuran, estimasi kapasitas jalan menimbulkan tingkat kesulitan yang berbeda-beda pada *traffic and lane discipline* (Meher, et.al, 2014). Oleh karena itu, pengaruh sepeda motor (volume dan perilaku berkendara dalam lajur) terhadap karakteristik arus lalu lintas memerlukan perhatian besar karena dapat berpengaruh terhadap kapasitas jalan.

Pengaruh kecepatan sepeda motor dan moda transportasi lainnya mempunyai pengaruh tidak langsung dalam menentukan probabilitas kumulatif, karena, kecepatan hanya digunakan saat menentukan nilai emp. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Zhou, et.al, 2018) yang merangkum bahwa tingginya persentase interaksi antara kendaraan ringan, sepeda motor, dan kendaraan berat, yang masing-masing memiliki perbedaan kecepatan yang signifikan, dapat menyebabkan kemacetan pergerakan.

Analisis menunjukkan bahwa dampak sepeda motor sangat penting karena mempengaruhi kecepatan lalu lintas, arus lalu lintas, dan pada akhirnya kapasitas lalu lintas jalan. Penelitian ini fokus hanya menganalisis kondisi lalu lintas campuran pada jam sibuk. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut untuk mempertimbangkan keseluruhan waktu kondisi arus lalu lintas campuran baik pada jam sibuk dan bukan jam sibuk.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sepeda motor mempunyai proporsi yang tinggi di ruas jalan di Indonesia termasuk di Provinsi Bali. Nilai tunggal untuk kapasitas jalan diasumsikan tidak mencerminkan kondisi lalu lintas campuran (mixed traffic). Nilai kapasitas perlu dievaluasi secara periodik. Pada studi ini kapasitas jalan sebaiknya dinyatakan sebagai variabel acak stokastik, dan dinyatakan sebagai distribusi probabilitas pada suatu interval nilai. Distribusi kumulatif dari nilai kapasitas yang bersangkutan disebut sebagai "fungsi distribusi kapasitas" dan dianggap sebagai cara yang signifikan dalam mengevaluasi kinerja dan efisiensi jalan arteri. Studi ini menemukan bahwa pengurangan rasio sepeda motor sebesar 50% akan meningkatkan kapasitas jalan arteri sebesar antara 7% dan 13% pada keandalan kumulatif 85% dan antara 4%-7% pada keandalan 50%. Oleh karena itu pada kondisi lalu lintas heterogen (mixed land use) proporsi pengurangan sepeda motor mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas jalan arteri. Pada studi ini hanya memperhitungkan dimensi dan kecepatan sepeda motor. Pengaruh kapasitas jalan akibat perilaku pengendara sepeda motor tidak diperhitungkan dalam studi ini. Penelitian ini hanya digunakan pada jam puncak kondisi arus lalu lintas. Oleh karena itu, studi lanjutan perlu dilakukan dengan memperhitungkan kondisi arus lalu lintas secara keseluruhan sehingga pengurangan kapasitas akibat sepeda motor dapat dianalisis secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T., Chowdhury, L.F., Sobhani, Md.G., Islam, A.S.M.M., Al Shafian, S. and Majumder, M. (2023). "Enhancing Urban Mobility: Exploring the Potential of Exclusive Motorcycle Lane Using VISSIM". *Journal of Transportation Technologies*, Vol. 13, 644-656.
- Asgharzadeh, M.A. and Kondyli, A. (2018). "Comparison of highway capacity estimation methods". *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2672, No. 9, 1-10, 2018
- Badan Pusat Statistik Provinsi Bali. (2021). *Bali dalam Angka*. Pemerintah Provinsi Bali, Denpasar
- Brilon, W., J. Geistefeldt, J., dan Regler, M. (2005). "Reliability of Freeway Traffic flow: A Stochastic Concept of Capacity". *Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, University of Maryland, College Park, Maryland, 19-21 July 2005, 125-144
- Geistefeldt, J. (2009). "Estimation of passenger car equivalents based on capacity variability". *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2130, 1-6
- Jayarathne, D.N.D., Pasindu, H.R., and Rathnayaka, L.M.K.(2024). "Development of Capacity Estimation Models for Multi-lane Roads under Heterogeneous Traffic Conditions". *Engineer*, Vol. LVII, No. 01, 71-83.
- Kumar, P., Arkatkar, S. and Joshi, G. (2018). "New approach for estimating passenger car units on multilane urban roads with heterogeneous traffic conditions". *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, Vol.144, No.3, 1-14
- Laflamme, E.M. and Ossenbruggen, P.J. (2018). "Estimation of stochastic traffic capacity using extreme value theory and censoring: a case study in Salem, New Hampshire". *Archives of Transport*, Vol. 48, No. 4, 61-75, 2018.
- Mehar, A., Chandra, S. and Velmurugan, S. (2014). "Highway capacity through Vissim calibrated for mixed traffic conditions". *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 18, No. 2, 639-645
- Oh, S., and Yeo, H. (2015). "Impact of stop-and-go waves and lane changes on discharge rate in recovery flow". *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 77, 88-102
- Patel, C.R. and Joshi, G.J. (2014). "Mixed traffic speed-flow behavior under influence of road side friction and non-motorized vehicles: a comparative study of arterial roads in India". *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, Vol.8, No.11, 1203-1209, 2014.
- Salini, S. and Ashalatha, R. (2020). "Analysis of traffic characteristics of urban roads under the influence of roadside frictions". *Case Studies on Transport Policy*, Vol.8, Issue 1, 94-100
- Shah, P.M. and Gupta, N. (2016). "Analysis of speed parameters of mixed traffic flow on the sections of arterial streets (Jalandhar and Chandigarh Cities)". *Indian Journal of Science and Technology*, Vol.9, No. 47, 1-6
- Vu, T, Preston, J. (2023), "Assessing The Social Costs of Mixed Transport Systems with A Dominance of Motorcycles". *Journal of Science and Technology in Civil Engineering, HUCE*, Vol. 17, No. 3, 80-101
- Wedagama, D.M.P., Suweda, I.W. and Astariyani, N.L.G. (2022). "The influence of side friction on speed-mixed flow behavior on arterial roads in tourism area in Bali". *Civil Engineering and Architecture*, Vol. 10, No. 1, 27-44, 2022.
- Zhou, J., Rilett, L., Jones, E. and Chen, Y. (2018). "Estimating passenger car equivalents on level freeway segments experiencing high truck percentages and differential average speeds". *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2672, No. 5, 44-54