

Analisis Perubahan Kecepatan pada Jalan Tol Semarang-Demak akibat Bencana Banjir Rob di Pesisir Utara Semarang

Estiyani Windra Kusumowardani*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: est.windra@gmail.com

Sony Sulaksono Wibowo

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: sonysw@gmail.com

Febri Zukhruf

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: febri.zukhruf@itb.ac.id

Abstrak

Problematika banjir rob telah menimbulkan berbagai macam kerugian mulai dari aspek kesehatan, lingkungan, kehidupan sosial ekonomi, dan infrastruktur. Dampak langsung banjir terhadap infrastruktur jalan berupa kerusakan fisik meliputi biaya rekonstruksi jalan yang rusak, sedangkan dampak tidak langsung meliputi biaya akibat kemacetan dan terhambatnya pengiriman logistik. Sebagai bentuk strategi adaptasi fisik terhadap kondisi banjir rob di Semarang Utara, penyelenggara jalan saat ini tengah melakukan pembangunan jalan Tol Semarang-Demak untuk mempertahankan kemampuan layanan berupa arus lalu lintas pada jaringan. Kajian ini difokuskan untuk menganalisis perubahan kecepatan akibat banjir rob di ruas jalan Semarang-Demak. Berdasarkan hasil pemodelan, pada kondisi jalan tidak tergenang banjir, dihasilkan shifting lalu lintas sebesar 13% ketika tol Semarang-Demak seksi 2 beroperasi di tahun 2023. Penghematan waktu tempuh dari perjalanan via tol mencapai 40%. Puncak shifting terjadi pada genangan banjir setinggi 200mm dengan jumlah shifting sebesar 89%. Ketika kondisi jalan nasional Semarang-Demak tergenang banjir rob hingga 250mm, jalan tol dapat mempertahankan kinerjanya dengan penurunan kecepatan tempuh sebesar 12% sementara jalan nasional menurun hingga 78%. Dengan begitu, lalu lintas orang dan barang dapat dialihkan sementara melalui jalan tol tanpa terjadi kemacetan panjang. Beroperasinya tol Semarang-Demak menjadi salah satu bentuk resiliensi infrastruktur jalan terhadap bencana banjir rob yang menggenangi jalan nasional Semarang-Demak.

Kata-kata Kunci: Banjir rob, jalan tergenang, pemodelan lalu lintas, kinerja jalan, resiliensi infrastruktur

Abstract

Tidal floods have caused various health, environmental, socioeconomic, and infrastructural losses. The direct impact of flooding on road infrastructure causing physical damage includes the cost of reconstructing damaged roads, and the indirect result includes costs due to congestion and delays in logistics delivery. As a form of physical adaptation strategy to tidal flood conditions, road operators are constructing the Semarang-Demak Toll Road to maintain traffic flow serviceability on the network. This study focused on analyzing speed changes due to tidal flooding on the Semarang-Demak road section. Based on traffic modeling, a 13% shift was generated when Semarang-Demak toll road section 2 operated in 2023 under normal road conditions. Traveling through the Semarang-Demak toll reduced travel time by 40%. The shifting peak occurred at a flood inundation height of 200 mm, with a shifting amount of 89%. In the simulation of tidal flood inundation up to 250mm, speed reduction by traveling through toll is manageable by 12% while the national road decreased by 78%. Thus, people and goods traffic can be temporarily diverted through toll roads without causing long traffic jams. The operation of the Semarang-Demak toll road is a form of road infrastructure resilience against tidal floods that inundated the Semarang-Demak national road.

Keywords: Tidal floods, inundated roads, traffic modeling, road performance, infrastructure resilience

1. Pendahuluan

Bencana maritim berupa banjir air laut pasang (banjir rob) di pesisir Utara Semarang telah menjadi fenomena yang terjadi secara periodik dan kondisinya terus bereskalasi dari tahun ke tahun. Kondisi ini merupakan

manifestasi dari gravitasi bulan dan diperburuk dengan adanya penurunan muka tanah (*land subsidence*). Selain itu, menurut Harwitasari dan van Ast (2011), hal tersebut merupakan efek dari perubahan iklim. Banjir rob telah memberikan dampak yang signifikan pada aspek kehidupan sosial dan ekonomi, kesehatan

*Penulis Korespondensi: est.windra@gmail.com

masyarakat, ekosistem, dan infrastruktur di sekitar pesisir.

Secara umum kondisi banjir telah memberikan dampak pada infrastruktur transportasi baik dampak langsung berupa kerusakan fisik maupun dampak tidak langsung berupa kemacetan, gangguan aktivitas bisnis, dan peningkatan emisi, hal ini dikemukakan dalam penelitian Brown dan Dawson (2016); Hammond dkk (2015); Walsh dkk (2012). Gangguan lalu lintas akibat banjir rob menimbulkan kemacetan panjang khususnya pada ruas jalan Semarang-Demak yang merupakan bagian dari lintas Pantura. Hal ini telah berakibat pada terganggunya mobilitas karena ruas jalan tersebut merupakan ruas arteri dengan volume lalu lintas tinggi.

Menurut Hammond dkk (2015), untuk meningkatkan resiliensi terhadap kondisi banjir dibutuhkan strategi adaptasi dan inovasi. Sebagai bentuk strategi adaptasi fisik terhadap kondisi banjir rob, penyelenggara jalan saat ini tengah melakukan pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak yang terintegrasi dengan tanggul laut dan kolam retensi (i.e., Semarang-Demak seksi 1). Berdasarkan data dari Kementerian PUPR (2022), Jalan Tol Semarang-Demak dibangun sepanjang 26,7 km dan terbagi menjadi 2 seksi yaitu seksi 1 sepanjang 10,64 km serta seksi 2 sepanjang 16,31 km. Jalan Tol Semarang-Demak seksi 2 direncanakan beroperasi pada tahun 2023, sedangkan pada seksi 1 akan beroperasi pada tahun 2025. Selain bertujuan untuk melengkapi konektivitas jaringan jalan serta mengurangi kemacetan di wilayah utara Jawa Tengah, jalan tol ini diharapkan mampu mengurangi tundaan ketika terjadi genangan banjir rob.

Makalah ini kemudian bertujuan untuk mengkaji perubahan kecepatan tempuh akibat genangan banjir rob pada wilayah utara Jawa Tengah. Perubahan kecepatan kendaraan dikaji baik dari sisi perspektif adanya penurunan kecepatan kendaraan akibat genangan banjir maupun dari sisi pengaruh penambahan jaringan jalan tol. Makalah ini secara spesifik mengeksplorasi penurunan kecepatan akibat genangan pada level kendaraan berdasarkan studi sebelumnya (i.e., Pregnolato dkk, 2017) untuk dapat dimodelkan dalam kerangka jaringan jalan. Model jaringan didasarkan kepada pendekatan pemodelan 4 tahap, dengan kapasitas didasarkan kepada model dasar kecepatan-kerapatan yang diturunkan dari data lapangan.

Pada bagian selanjutnya, makalah ini membahas studi literatur terkait dengan fenomena banjir serta dampaknya terhadap kendaraan. Kemudian proses pemodelan dijelaskan pada bagian 3 yang dilanjutkan dengan membahas hasil dan analisis. Bagian terakhir membahas kesimpulan serta penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Fenomena banjir rob di Semarang

Kondisi geografis Indonesia dengan proporsi 63,2% merupakan lautan menjadi tantangan tersendiri karena kondisi tersebut membuat wilayah Indonesia menjadi

rawan bencana maritim. Selain Indonesia, menurut Hermin dkk (2018), bencana maritim merupakan masalah utama yang dihadapi wilayah Asia Tenggara dan Oceania yang sebagian besar areanya adalah lautan. Kedua wilayah ini rawan akan bencana maritim, angin topan, dan angin siklon. Di Indonesia, terutama di sepanjang pantai Utara Jawa, bencana alam yang paling sering terjadi adalah bencana banjir yang merusak daerah mulai dari Utara Jakarta sampai Semarang dan Demak.

Daerah pesisir Utara Semarang yang terdampak banjir air laut pasang (banjir rob) kondisinya memburuk dari tahun ke tahun. Banjir rob merupakan bencana yang muncul berkaitan dengan siklus gerak bulan, sehingga kondisi ini akan berulang secara bulanan menurut Kusumaning dan Sekar (2014). Berdasarkan penelitian Harwitasari dan van Ast (2011), efek perubahan iklim juga berkontribusi meningkatkan frekuensi banjir rob ditambah lagi adanya peningkatan muka air laut dan penurunan muka tanah (*land subsidence*). Selain kenaikan muka air laut, akselerasi *land subsidence* juga terjadi di Semarang. Hal ini sebagian besar diakibatkan oleh ekstraksi air bawah tanah, beban konstruksi, dan industrialisasi pada pola lahan reklamasi. Selain itu, laju akselerasi muka air tanah kurang lebih sejalan dengan tingkat urbanisasi dan pertumbuhan penduduk. Hal ini disampaikan pada penelitian yang ditulis oleh Doornkamp (1998)

Problematika banjir rob telah menimbulkan berbagai macam kerugian mulai dari aspek kesehatan, lingkungan, kehidupan sosial ekonomi, dan infrastruktur. Menurut Hermin dkk (2018), banjir rob telah menjadi masalah serius pada aspek kesehatan karena menjadikan kondisi lingkungan menjadi tidak higienis, merusak komunitas, mata pencaharian, mengganggu kegiatan pendidikan, mengubah cara masyarakat bersosialisasi, dan memaksa orang untuk bermigrasi. Di Semarang, banjir rob telah menyebabkan penutupan pabrik, jalan, bangunan harus ditinggikan, dan kemacetan panjang. Hal ini disampaikan dalam penelitian Abidin dkk (2013); Hadi (2017); Robie (2017).

2.2 Genangan banjir terhadap ambang batas berkendara

Untuk menghindari fatalitas dan kerugian finansial, menurut Pyatkova dkk (2019), diperlukan pengujian kondisi banjir dimana kondisi kendaraan menjadi tidak terkendali. Sebuah penelitian secara eksperimental telah dilakukan oleh Kramer dkk (2016) untuk menentukan kriteria keselamatan dan kemampuan berlalu lintas (*trafficability*) pada kendaraan di kondisi tergenang. Metode yang digunakan adalah *flume test* menggunakan *prototype* kendaraan penumpang tipe WV golf dan untuk kendaraan khusus digunakan tipe *auto-ambulance*. Hasil dari pengujian disimpulkan bahwa ambang batas keselamatan untuk mengemudi dengan kondisi jalan yang tergenang banjir adalah 0,3 m untuk rata-rata kendaraan penumpang dan 0,6 m untuk kendaraan khusus.

Hal ini diperkuat dengan penelitian stabilitas kendaraan terhadap aliran banjir melalui pengujian laboratorium

yang dilakukan oleh Smith dkk (2017). Terkonfirmasi dari hasil pengujian, terdapat penurunan stabilitas kendaraan dengan signifikan sesaat setelah genangan air mencapai bagian *floorpan* kendaraan. Eksperimen dilakukan dengan menarik roda belakang mobil secara horizontal dengan penambahan ketinggian genangan dalam kondisi *steady flow*. Nilai gaya yang dibutuhkan untuk menarik mobil dihitung sebagai kemampuan traksi kendaraan. Ketinggian genangan terus ditambah hingga mencapai kondisi kendaraan kehilangan traksi atau gaya yang dibutuhkan untuk menarik mobil menjadi 0 dan kondisi roda belakang mobil mulai terapung.

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan Smith dkk (2017), untuk kendaraan penumpang bertipe sedan, batas ambang genangan air sebelum terjadi penurunan traksi secara signifikan ada pada ketinggian $\pm 0,2$ m. Roda belakang mobil tersebut mulai terapung pada genangan setinggi 0,6 m. Sedangkan pada kendaraan besar dengan transmisi 4WD, ambang batas genangan untuk penurunan traksi yang signifikan ada pada genangan $\pm 0,45$ m dan roda belakang mobil mulai terapung pada genangan 0,95 m. Batas ambang keamanan terhadap *hazard* banjir yang diajukan dari hasil penelitian tersebut adalah sebesar 0,3 m pada kendaraan penumpang kecil dan 0,5 m pada kendaraan besar transmisi 4WD. Nilai tersebut sejalan dengan batas ambang genangan yang direkomendasikan dalam *guideline Australian Rainfall and Runoff Review Project 10* (ARR P10) yang ditulis oleh Shand dkk (2011).

Penelitian selanjutnya dikembangkan oleh Pregnotato dkk (2017) dengan mencari hubungan antara tinggi genangan banjir terhadap kecepatan kendaraan. Pada penelitian tersebut pengembangan kurva dilakukan dengan mengumpulkan hasil statistik eksperimen untuk kriteria keselamatan pada kondisi banjir, opini pakar, dan analisis video kendaraan yang melewati genangan banjir. Ambang batas keselamatan yang digunakan adalah 0,3m dimana tinggi tersebut adalah titik dimana kendaraan penumpang mulai mengapung. Hubungan antara batas kecepatan kendaraan v , sebagai fungsi dari kedalaman banjir w dengan R^2 0,95 adalah sebagai berikut:

$$v(w) = 0,0009w^2 - 0,5528w + 86,9448$$

Dimana:

v : Kecepatan kendaraan saat kondisi tergenang (km/jam)

w : Ketinggian genangan (mm)

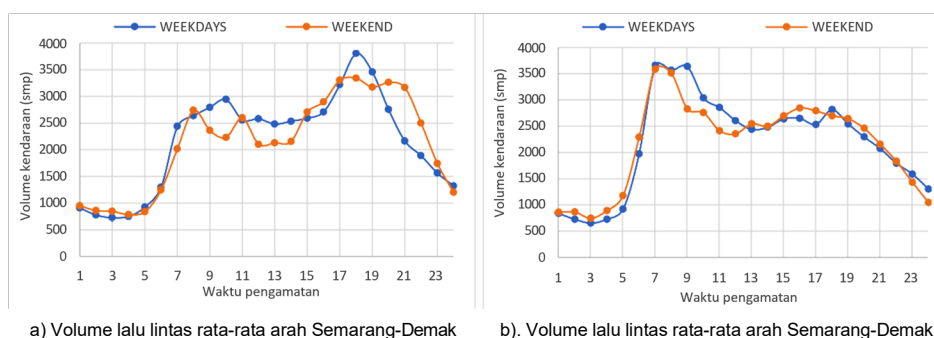
3. Pemodelan Jaringan Jalan

Pemodelan dalam makalah ini dilakukan dalam beberapa tahap dimulai dari proses pengembangan model dasar untuk mengestimasi kapasitas, konsiderasi banjir kepada penurunan kecepatan kendaraan, dan pemodelan jaringan jalan dengan model 4 tahap.

3.1 Model dasar kerapatan-kecepatan di jalan nasional Semarang-Demak

Pada tahap ini dilakukan proses pengembangan model dasar hubungan kecepatan-kerapatan untuk kebutuhan estimasi kapasitas dari jaringan jalan yang dimodelkan pada tahap selanjutnya. Pemodelan ini didasarkan kepada data lalu lintas pada ruas Jalan Semarang-Demak yang merupakan gabungan 2 ruas jalan nasional yang terintegrasi dalam Kepmen PUPR no.430 tahun 2022, yaitu ruas jalan 016.Batas Kota Semarang-Batas Kota Demak dan ruas jalan 016.11 Kaligawe (Semarang). Pengolahan data lalu lintas dilakukan berdasarkan hasil *survey traffic counting* 7x24 jam yang dilakukan pada 24-30 April 2021. Pengolahan data dilakukan setelah melalui proses pengecekan outlier data per 60 menit. Nilai volume lalu lintas per jam yang mewakili *weekdays* dan *weekend* merupakan nilai rata-rata 5 hari untuk *weekdays* dan 2 hari untuk *weekend*. Ditunjukkan pada **Gambar 1**, pada arah Semarang- Demak, lalu lintas harian rata-rata terkecil adalah sebesar 715 smp/jam dan tertinggi sebesar 3.795 smp/jam dengan rata-rata volume harian sebesar 51.233 smp. Karakteristik puncak arus arah Semarang-Demak berada pada pada sore hari (*PM Peak*). Volume lalu lintas pada arah Demak-Semarang memiliki pola puncak arus pada pagi hari (*AM peak*). Volume tertinggi adalah 3.955 smp/jam dan volume terendah sebesar 650 smp/jam dengan rata-rata volume harian sebesar 51.964 smp.

Kecepatan kendaraan dihitung berdasarkan data waktu tempuh hasil *real time* dengan *GMaps* selama 7x24 pada tanggal 18-24 September 2022 dengan segmentasi sampel per 30 menit. Rata-rata kecepatan tempuh kendaraan arah Semarang-Demak 28 km/jam dengan kecepatan tertinggi 47 km/jam dan terkecil 12 km/jam. Pada arah Demak-Semarang, rata-rata kecepatan kendaraan 25 km/jam dengan kecepatan tertinggi 46 km/jam dan terendah 13 km/jam. Kelompok waktu dengan kecepatan rata-rata kendaraan di bawah 30 km/jam arah Semarang-Demak terjadi mulai jam 06.00-21.00 sedangkan arah Demak-Semarang terjadi mulai pukul 06.00-23.00



Gambar 1. Karakteristik volume lalu lintas jalan nasional Semarang-Demak

WIB. Plot kecepatan tempuh kendaraan untuk kedua arah ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Konsentrasi sebaran data kecepatan tempuh untuk kedua arah ditunjukkan pada **Gambar 3**. Kecepatan arah Semarang-Demak terkonsentrasi pada rentang 21-25 km/jam sedangkan pada arah Demak-Semarang terkonsentrasi pada rentang 16-20 km/jam. Hal ini mengindikasikan ruas jalan Semarang-Demak merupakan lalu lintas dengan kecepatan rendah.

Data kecepatan dan kerapatan selanjutnya diolah menjadi model kecepatan-kerapatan dengan pendekatan model Greenshield, Greenberg, dan Underwood. Model dibuat untuk 2 skenario yaitu Arah Semarang-Demak dan Demak-Semarang. Kurva model Greenshield, Greenberg, dan Underwood terhadap data lapangan ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Berdasarkan *fitting* model kecepatan-kerapatan pada kedua arah, model Greenberg paling mewakili kondisi lapangan dengan R^2 sebesar 0,856 untuk arah Semarang Demak dan 0,861 untuk arah Demak-Semarang. Detail hasil *fitting* model ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Proses selanjutnya adalah melakukan validasi model terpilih. Dilakukan pengecekan sebaran data lapangan terhadap setiap model lalu lintas pada arah Semarang-

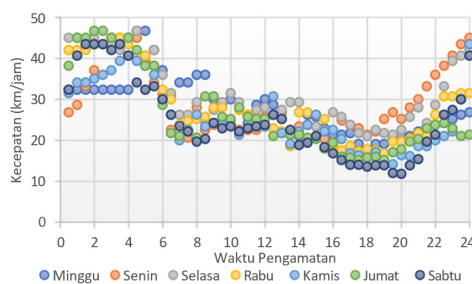
Demak dan Demak-Semarang. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa model Greenberg dapat menggambarkan kondisi arus dan kecepatan lebih baik dari model lainnya. Hal ini menggambarkan bahwa karakteristik lalu lintas pada ruas Semarang-Demak memiliki kerapatan yang tinggi dengan kondisi kecepatan tempuh yang rendah.

Khusus untuk ruas jalan nasional Semarang-Demak, nilai *free flow speed* yang digunakan merujuk pada hasil survey waktu tempuh menggunakan *GMaps* pada jam sibuk dengan kondisi lalu lintas tidak terganggu dengan kondisi khusus seperti kecelakaan atau perbaikan jalan. Nilai waktu tempuh yang digunakan adalah waktu tempuh pada jam puncak pagi untuk arah Semarang dan jam puncak sore untuk arah Demak sesuai dengan hasil analisis karakteristik volume lalu lintas.

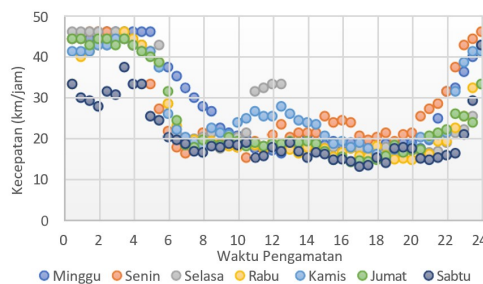
Data waktu tempuh arah Semarang diambil pada pukul 07.00 WIB dan arah Demak pada pukul 17.52 WIB. Hasilnya, didapatkan waktu tempuh pada jam sibuk arah Semarang adalah 63 menit dengan kecepatan tempuh 19 km/jam. Pada arah Demak, waktu tempuh pada jam puncak adalah 59 menit dengan kecepatan tempuh 22 km/jam. Setelah kecepatan dan waktu tempuh pada jam puncak ditentukan, kecepatan *free flow* awal pada pemodelan PTV.Visum akan ditetapkan berdasarkan MKJI terlebih dahulu yaitu

Tabel 1. Fitting model kecepatan-kerapatan di ruas jalan Semarang-Demak

Model	Arah Semarang-Demak	R ²	Arah Demak-Semarang	R ²
Greenshield	$u = -0,1394k + 40,331$	0,722	$u = -0,1236k + 38,671$	0,680
Greenberg	$u = -10,72 \ln k + 73,126$	0,856	$u = -10,67 \ln k + 72,254$	0,861
Underwood	$u = 41,427e^{-0,005k}$	0,794	$u = 38,794e^{-0,005k}$	0,774

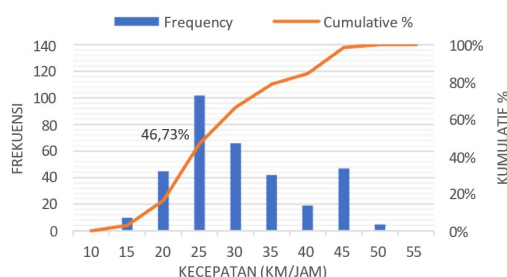


a) Kecepatan tempuh rata-rata arah Semarang-Demak

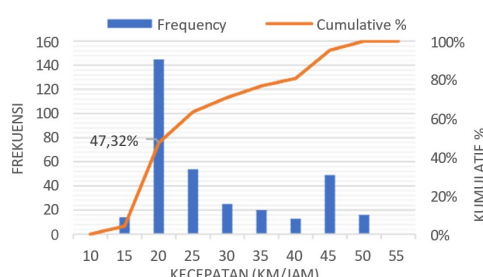


b) Kecepatan tempuh rata-rata arah Semarang-Demak

Gambar 2. Karakteristik kecepatan tempuh di jalan nasional Semarang-Demak

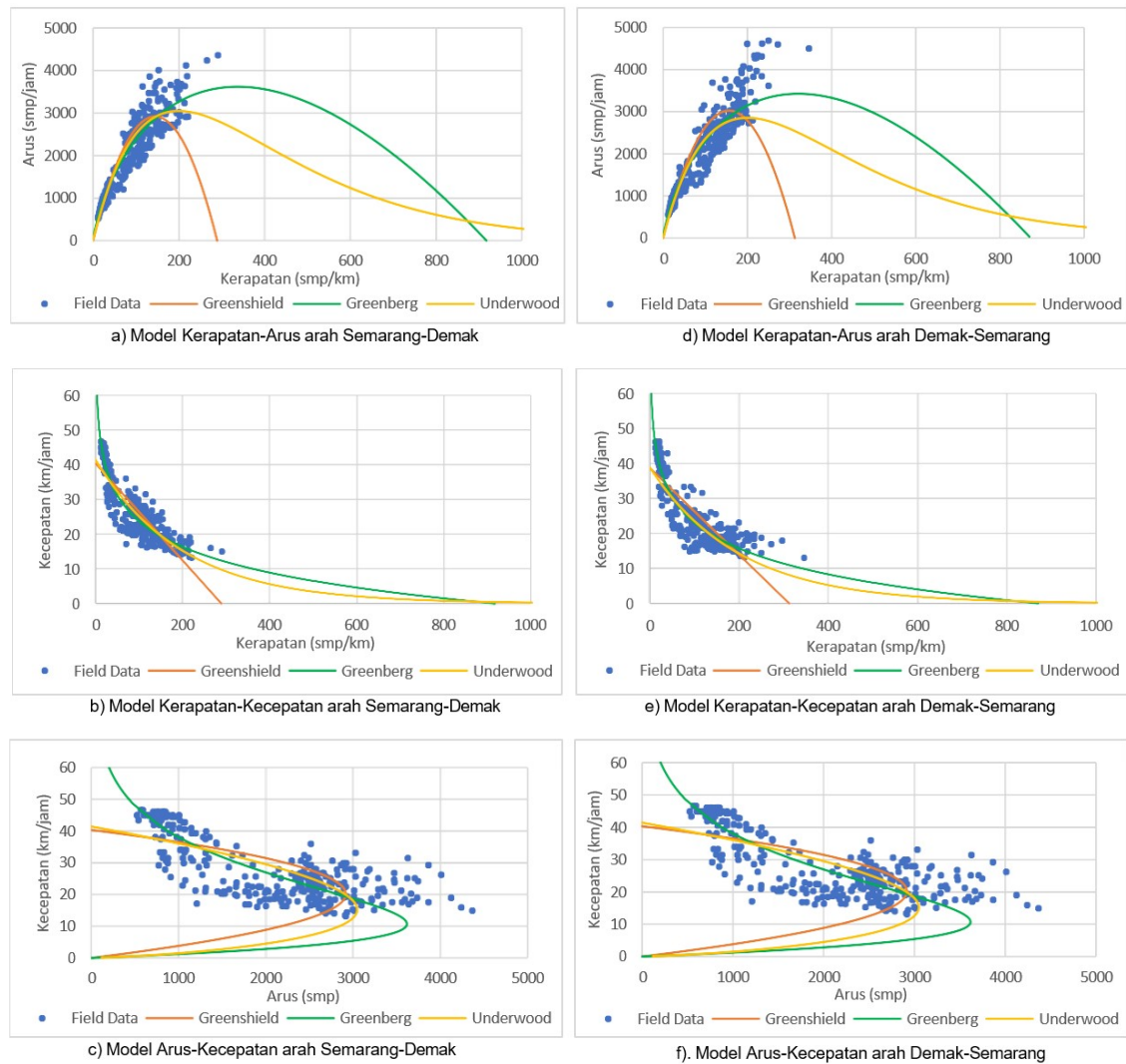


a) Diagram pareto kecepatan tempuh arah Semarang-Demak



b) Diagram pareto kecepatan tempuh arah Demak-Semarang

Gambar 3. Diagram pareto kecepatan tempuh pada ruas Jalan Semarang-Demak



Gambar 4. Model hubungan arus-kecepatan-kerapatan ruas Semarang-Demak

Tabel 2. Nilai kapasitas ruas jalan Semarang-Demak

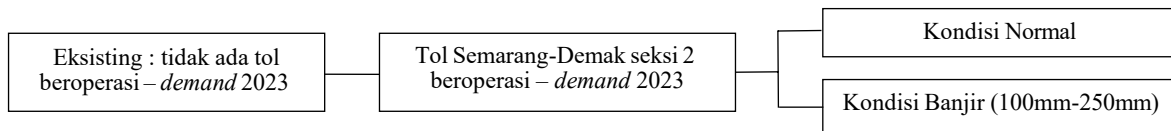
Arah	Model Arus Greenberg (smp)	R ²	Kapasitas (smp/jam/arah)
Semarang-Demak	$u = -10,72 \ln k + 73,126$	0,8562	3617
Demak-Semarang	$u = -10,67 \ln k + 72,254$	0,8612	3426

70km/jam. Pada proses kalibrasi model jaringan eksisting, nilai *free flow speed* pada ruas Semarang-Demak akan disesuaikan kembali agar menghasilkan waktu tempuh dan kecepatan tempuh yang kondisinya menyerupai kondisi hasil survey.

Khusus untuk ruas jalan nasional Semarang-Demak, nilai kapasitas yang digunakan merujuk pada hasil *fitting* model hubungan arus-kecepatan-kerapatan. Model Greenberg pada kondisi *weekend* digunakan sebagai model yang mewakili kondisi lalu lintas ruas jalan. Pemilihan model pada kondisi *weekend* didasarkan atas nilai R^2 . Nilai kapasitas pada ruas Semarang-Demak merupakan arus maksimum yang dihasilkan oleh model pada tiap arah. Hasil perhitungana kapasitas ditunjukkan pada Tabel 2.

3.2 Pengaruh genangan banjir pada kecepatan kendaraan

Simulasi kondisi banjir rob yang terjadi pada ruas jalan nasional Semarang-Demak digambarkan sebagai perubahan parameter kecepatan tempuh pada berbagai kondisi genangan banjir rob. Kecepatan tempuh kendaraan akibat genangan banjir rob mengacu pada fungsi kecepatan kendaraan berdasarkan ketinggian genangan yang dikembangkan oleh Pregnotato dkk (2017). Variasi ketinggian genangan rob yang dimodelkan adalah genangan dengan tinggi 100mm, 125mm, 150mm, 175mm, 200mm, 225mm dan 250mm. Pada ketinggian genangan rob setinggi 300mm, diasumsikan tidak ada kendaraan yang melintas di jalan nasional dengan pertimbangan ambang batas



Gambar 5. Skenario pemodelan lalu lintas



Gambar 6. Persentase ukuran ban mobil penumpang dan ketinggian banjir terhadap tinggi ban

keselamatan dan stabilitas kendaraan penumpang saat terjadi banjir berdasarkan penelitian Shand dkk (2011); Kramer dkk (2016); Smith dkk (2017); Pyatkova (2019). Perhitungan kecepatan kendaraan pada setiap ketinggian genangan mengikuti hubungan antara tinggi genangan banjir terhadap kecepatan kendaraan yang dikembangkan oleh Pregnolato dkk (2017) yaitu pada **Persamaan (1)**. Skenario pemodelan didesain dengan detail berikut (**Gambar 5**):

Proses evaluasi kinerja jalan pada kondisi rob dilakukan secara iteratif sesuai variasi ketinggian genangan. Proses iterasi dilakukan untuk melihat ketinggian genangan yang menghasilkan nilai *shifting* maksimum. Pada kondisi ruas jalan tergenang rob, nilai kapasitas ruas jalan saat terjadi genangan rob diasumsikan tidak berubah. Untuk melihat kondisi kendaraan pada setiap ketinggian banjir rob di ruas jalan nasional Semarang-Demak, setiap level ketinggian banjir akan ditinjau terhadap ban standar mobil penumpang. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) untuk data penjualan kendaraan dalam rentang Januari-November 2022. Hasil pengolahan data yang ditunjukkan pada **Gambar 6**, terlihat bahwa sebanyak 51% kendaraan penumpang berdiameter standar 14 inch. Sehingga diasumsikan jumlah mobil penumpang terdampak banjir diwakilkan dengan diameter ban 14 inch (35,56cm).

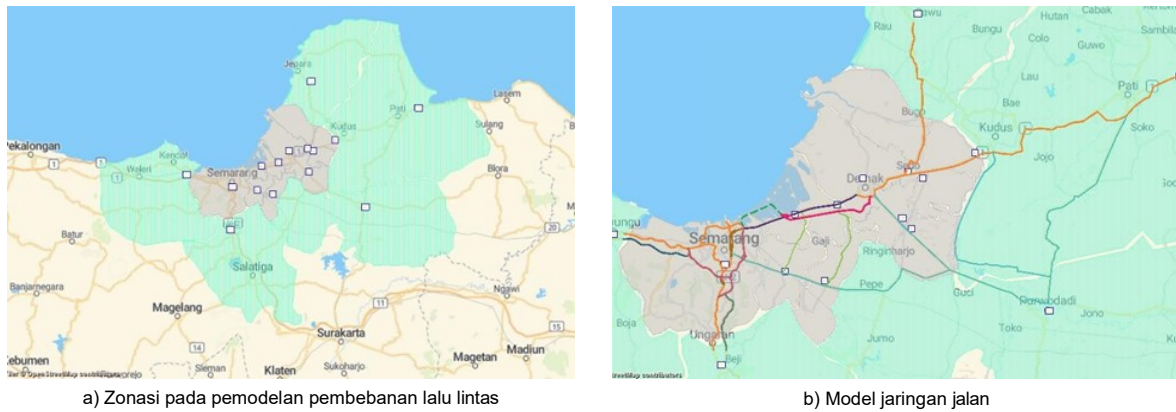
3.3 Pemodelan 4 tahap

Tahapan selanjutnya adalah melakukan proses pemodelan 4 tahap, yang dimulai dari bangkitan perjalanan (*trip generation*), sebaran perjalanan (*trip distribution*), pemilihan moda (*modal split*), dan pembebanan perjalanan (*trip assignment*). Pembentukan Matriks Asal Tujuan (MAT) dikembangkan berdasarkan Asal Tujuan Transportasi Nasional (ATTN) baik pergerakan orang maupun pergerakan barang. Secara keseluruhan proses pembentukan MAT dimulai dari pembentukan MAT zona internal dan eksternal, penyesuaian proporsi

pergerakan berdasarkan jenis moda, perhitungan faktor moda pelabuhan dan moda bandara, konversi pergerakan menjadi pergerakan lalu lintas per jam, penyesuaian MAT pada zona eksternal, dan penyesuaian MAT berdasarkan proporsi golongan kendaraan jalan tol (gol I-V). Proyeksi MAT akan dilakukan dengan metode *Furness*.

Penetapan zonasi internal dan eksternal dilakukan berdasarkan hasil pertimbangan beberapa aspek yaitu batas administrasi, trase tol Semarang-Demak, rencana jaringan tol trans Jawa, jaringan jalan nasional eksisting, hasil analisis data bangkitan dan tarikan, dan hasil analisis data asal tujuan pergerakan. Wilayah yang ada pada zona internal berada dalam zona administrasi Kota/Kabupaten dan Kecamatan di sekitar trase jalan tol Semarang-Demak yang mencakup 11 zona. Penentuan nilai asal-tujuan data pada zona internal dalam lingkup administrasi kecamatan dilakukan dengan melakukan segregasi data asal-tujuan dari lingkup Kabupaten/kota dengan pendekatan persentase jumlah penduduk. Sedangkan pada zona eksternal, penentuan nilai asal-tujuan dilakukan dalam lingkup administrasi kabupaten di Provinsi Jawa Tengah dan administrasi Provinsi di luar Jawa Tengah yang mencakup 5 zona. Khusus untuk pergerakan zona eksternal antar provinsi, penentuan nilai asal-tujuan dilakukan dengan memperhatikan proporsi lintas. Berdasarkan data Kementerian PUPR tahun 2022, sebanyak 27% ruas jalan nasional provinsi Jawa Tengah merupakan jalan lintas Tengah, 26% lintas Utara, dan 21% merupakan penghubung lintas. Desain zonasi dan model jaringan yang didesain pada PTV Visum ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Komposisi kendaraan pada keseluruhan jaringan jalan nasional di Jawa Tengah dihitung berdasarkan data LHR Provinsi Jawa Tengah 2022. Secara umum, lalu lintas didominasi dengan moda sepeda motor dengan proporsi sebesar 59%. Selanjutnya proporsi terbesar kedua adalah kendaraan ringan (LV) sebesar 27%. Kendaraan berat (HV) mengisi proporsi sebesar 13%, sedangkan moda bus memiliki proporsi terkecil sebesar 1%.



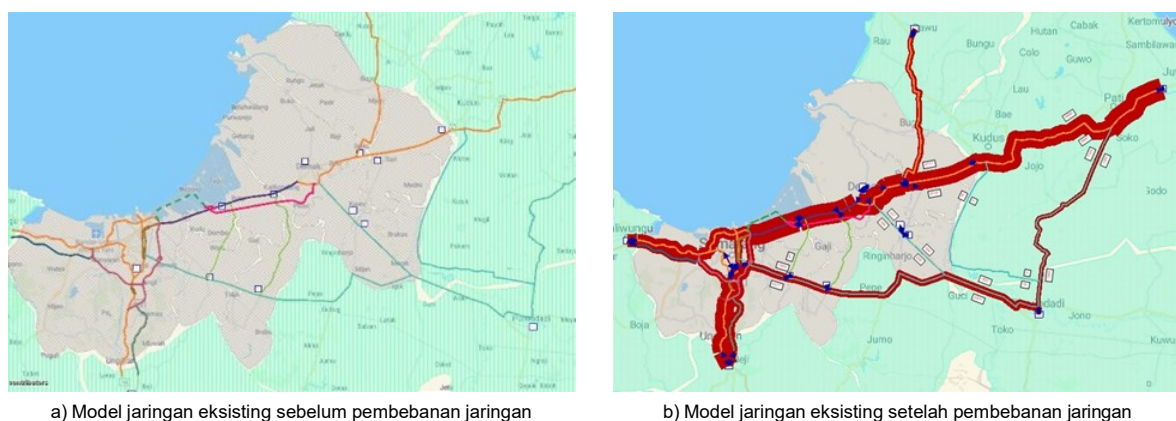
Gambar 7. Desain zonasi pada pemodelan pembebanan

Komposisi kendaraan pada jalan tol eksisting diambil dari nilai komposisi jalan tol terdekat dengan jalan tol Semarang-Demak, yaitu jalan tol Semarang A-B-C. Data LHR jalan tol Semarang A-B-C diolah berdasarkan laporan pengoperasian dan pemeliharaan jalan tol Semarang ABC oleh PT. Jasa Marga pada periode triwulan I (Januari-Maret) tahun 2022. Data LHR yang digunakan sebagai *benchmark* model jaringan jalan mengacu pada LHR ruas tol Gayamsari-Kaligawe dengan nilai proporsi kendaraan mengacu pada data di gerbang tol Muktiharjo. Berdasarkan hasil pengolahan data LHR gerbang tol Muktiharjo, proporsi kendaraan didominasi oleh kendaraan golongan I dengan proporsi sebesar 73%. Selanjutnya proporsi terbesar kedua adalah kendaraan golongan II sebesar 15%. Kendaraan golongan V ada pada proporsi terkecil sebesar 1%. Jenis moda yang menjadi atribut pemodelan pada kajian ini dibagi menjadi 2 jenis. Kendaraan roda 2 didefinisikan sebagai moda sepeda motor, sedangkan kendaraan roda 4 dan di atas roda 4 didefinisikan sebagai golongan kendaraan yang melewati jalan tol yaitu golongan I-V. MAT sepeda motor dan kendaraan golongan I dibentuk dari data pergerakan orang, sedangkan MAT untuk kendaraan golongan II-V dibentuk dari data pergerakan barang.

Nilai *impedance* pada proses pemodelan dihitung berdasarkan perbandingan tarif tol terhadap nilai waktu dalam satuan detik/m. Nilai waktu yang digunakan mengacu pada batas bawah pendapatan rata-rata di Indonesia berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Wagecentre pada tahun 2022. Wagecentre merilis nilai

pendapatan rata-rata di Indonesia dengan data sampel berasal dari agensi perekrutan karyawan di perusahaan lokal maupun perusahaan internasional. Tarif tol mengacu pada data tarif yang dikeluarkan oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) berdasarkan keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Nilai *impedance* yang selanjutnya menjadi resistensi pengguna untuk melewati jalan tol karena bertambahnya waktu tempuh dalam fungsi jarak di ruas jalan tol eksisting yang dimodelkan dalam jaringan.

Informasi terkait MAT, komposisi kendaraan, kapasitas, kecepatan, dan *impedance factor* digunakan untuk melakukan proses pembebanan lalu lintas. Pembebanan lalu lintas pada jaringan jalan menggunakan algoritma *user equilibrium*, lalu lintas akan dibuat seimbang sehingga semua rute dari titik awal ke titik akhir memiliki biaya/waktu tempuh yang sama. Validasi model lalu lintas eksisting dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat telah merepresentasikan sistem atau kondisi nyata di lapangan. Validasi model eksisting dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan hasil pengukuran kondisi lapangan pada jam puncak. Parameter validasi yang dilakukan yaitu volume ruas, waktu tempuh, kecepatan tempuh, dan komposisi arah. Kondisi eksisting jaringan jalan didesain pada 2023 dengan asumsi jalan tol Semarang-Demak seksi 2 belum dioperasikan. Hasil dari desain jaringan dan hasil pembebanan kondisi eksisting ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Model jaringan eksisting



a) Titik validasi pada pemodelan kondisi eksisting



b) Titik validasi pada model lalu lintas PTV.Visum

Gambar 9. Titik validasi model lalu lintas

Proses validasi model pada kondisi eksisting dilakukan dengan melihat 4 aspek diantaranya, validasi terhadap volume lapangan, komposisi lalu lintas, kecepatan tempuh dan kesesuaian dengan waktu tempuh lapangan. Titik validasi berjumlah 5 ruas pada jalan nasional dan 1 ruas pada jalan tol eksisting. Ruas yang terpilih sebagai titik validasi adalah sebagai berikut:

1. Ruas Jalan Nasional :
 - a. Ruas 013 - Weleri-Bts.Kota Kendal
 - b. Ruas 016.13.K - Jln.Kaligawe (Semarang)
 - c. Ruas 090 - Bts.Kota Ungaran-Bawen
 - d. Ruas 091.17.K - Jln.Teuku Umar (Semarang)
 - e. Ruas 101 - Trengguli-Bts Kab.Demak-Bts.Kab Jepara
2. Ruas Jalan Tol :
 - a. Tol Semarang ABC – ruas Gayamsari-Kaligawe

Lokasi ruas yang menjadi titik validasi pada pemodelan lalu lintas ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Hasil plot grafik kesesuaian volume hasil pemodelan terhadap volume hasil *traffic counting* didapatkan bahwa model lalu lintas bernilai R^2 sebesar 0,9593. Hal ini mengindikasikan bahwa model lalu lintas eksisting telah menjadi model yang merepresentasikan kondisi lapangan. Validasi berikutnya yaitu peninjauan komposisi arah yang dihasilkan model terhadap komposisi arah dari data lapangan. Berdasarkan hasil perbandingan komposisi arah, kesesuaian komposisi yang dihasilkan model dengan kondisi lapangan sebesar 99%.

Proses validasi model lalu lintas terhadap waktu tempuh kondisi lapangan dilakukan dengan membandingkan waktu tempuh di ruas jalan Semarang-Demak baik pada arah Semarang maupun ke arah Demak pada kondisi puncak. Kondisi jam puncak arah Semarang diambil pada pukul 07.00 WIB dan arah Demak diambil pada pukul

18.00 WIB. Berdasarkan sample hasil survey waktu tempuh menggunakan *Gmaps*, waktu tempuh jam puncak di ruas jalan Nasional Semarang-Demak arah Semarang selama 63 menit dengan kecepatan 19 km/

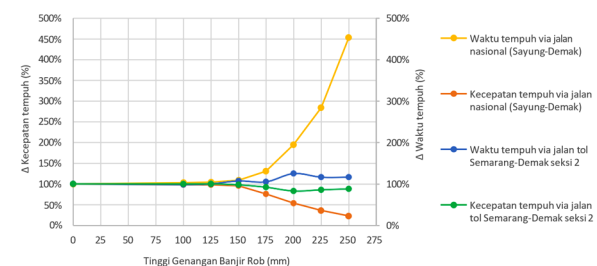
jam, pada arah sebaliknya yaitu ke arah Demak, waktu tempuh yang digunakan untuk validasi yaitu selama 59 menit dengan kecepatan 22 km/jam.

Pada proses kalibrasi, dilakukan penyesuaian *free flow speed* agar kondisi waktu dan kecepatan tempuh mendekati kondisi hasil survey *GMaps*. Berdasarkan proses penyesuaian *free flow speed* lalu lintas di ruas Semarang-Demak, ditetapkan free flow speed pada ruas Semarang-Demak adalah 52 km/jam arah Semarang dan 50 km/jam arah Demak. Hasilnya, waktu tempuh pada arah Demak pada model adalah 59 menit dengan kecepatan 20 km/jam dan arah Semarang selama 63 menit dengan kecepatan 20 km/jam. Ditinjau dari sisi kesesuaian model dan hasil survey pada parameter waktu dan kecepatan tempuh, model telah mewakili kondisi lapangan.

4. Analisis Perubahan Kecepatan Akibat Banjir Rob di Jalan Nasional Semarang-Demak

Pemodelan jaringan jalan yang telah divalidasi kemudian digunakan untuk mengevaluasi dampak genangan banjir kepada kecepatan di jaringan jalan. Secara spesifik dilakukan dengan dua skenario utama yaitu, kondisi banjir- tidak banjir dengan beroperasinya seksi 2 tol semarang demak.

Hasil output pemodelan selanjutnya diolah menjadi data LHR, kecepatan tempuh, dan waktu tempuh. LHR yang diperhitungkan pada pemodelan adalah kendaraan golongan I-V dengan komposisi yang merujuk pada gerbang tol Muktiharjo. Lalu lintas didominasi oleh kendaraan penumpang dengan komposisi 73% kendaraan golongan I, 18% kendaraan

**Gambar 10. Perubahan kecepatan dan waktu tempuh akibat banjir rob**

golongan II, 5% kendaraan golongan III, 3% kendaraan golongan IV, dan 1% kendaraan golongan

V. Dengan merujuk pada proporsi kendaraan GT Muktiharjo, nilai LHR segmen yang dihasilkan pada tol Semarang-Demak seksi 2 adalah sebesar 7.217 kendaraan per hari. Selanjutnya dilakukan pengecekan waktu tempuh model dengan waktu tempuh berdasarkan *GMaps* pada kedua arah pada tol Semarang-Demak seksi 2. Waktu tempuh yang dihasilkan model pada arah Demak yaitu selama 11,2 menit dan arah Semarang selama 11,2 menit. Hasil waktu tempuh *GMaps* pada kedua arah Demak adalah 12 menit dan arah Semarang selama 13 menit. Hal ini menunjukkan bahwa model lalu lintas telah mendekati kondisi saat Tol Semarang-Demak seksi 2 beroperasi dengan kondisi lalu lintas normal.

Hasil pemodelan pembebanan jaringan dengan mengkosiderasi adanya genangan rob memberikan dampak kepada penurunan kecepatan tempuh dan kenaikan waktu tempuh pada ruas Semarang-Demak. **Gambar 10** memberikan ilustrasi penurunan kecepatan pada jaringan dengan variasi tinggi genangan. Secara umum adanya genangan dengan tinggi kurang dari 125mm tidak memberikan dampak signifikan kepada penurunan kecepatan. Meskipun ketika genangan melewati 150mm terjadi penurunan kecepatan bagi kendaraan yang menggunakan Jalan Nasional Semarang-Demak. Pada kondisi genangan 200mm, penurunan kecepatan tempuh di jalan nasional Semarang-Demak mencapai 50% dan kenaikan waktu tempuh mencapai 200%. Bahkan pada tinggi genangan 250mm penurunan kecepatan menyentuh angka 78% dibandingkan kondisi tanpa genangan. Pada sisi lain, kecepatan via tol cenderung dapat dipertahankan ketika tol Semarang-Demak seksi 2 beroperasi, dimana saat genangan mencapai 250mm dengan penurunan kecepatan diestimasi hanya mencapai 12%. Hal ini menggambarkan bahwa beroperasinya tol Semarang-Demak dapat dipandang sebagai salah satu bentuk resiliensi infrastruktur jalan terhadap bencana banjir rob yang menggenangi jalan nasional Semarang-Demak.

Adanya peningkatan kecepatan karena adanya infrastruktur baru secara natural dapat menyebabkan adanya perpindahan pergerakan dari jalan nasional menuju ke jalan tol. Berdasarkan hasil model, beroperasinya tol Semarang-Demak seksi 2 menghasilkan *shifting* pergerakan sebesar 13%. Hal ini secara umum disebabkan oleh adanya penghematan waktu tempuh hingga 40% untuk perjalanan dari Semarang-Demak ataupun sebaliknya dengan melewati tol Semarang-Demak.

Selain itu, adanya genangan rob yang secara signifikan dapat menurunkan kecepatan diestimasi memberikan memberikan dorongan lebih lanjut untuk proses *shifting* menuju jalan tol. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa adanya penambahan jaringan jalan tol akan meningkatkan *shifting* hingga 9% (i.e., dari 13% menjadi 22%). Persentase *shifting* pergerakan menuju jalan tol Semarang-Demak seksi 2 mencapai puncaknya jika terjadi genangan lebih dari 200mm yang mampu menghasilkan jumlah *shifting* sebesar 89%.

5. Kesimpulan

1. Makalah ini bermaksud untuk mengkaji perubahan kecepatan pada jaringan jalan di wilayah utara Jawa tengah akibat adanya genangan banjir rob. Pemodelan dilakukan dengan mengembangkan model dasar hubungan kecepatan-kepadatan, konsiderasi perubahan kecepatan akibat genangan dan pemodelan empat tahap. Pada kondisi tanpa ada genangan setelah beroperasinya tol seksi 2, perjalanan dari Semarang-Demak ataupun sebaliknya dengan melewati tol Semarang-Demak akan menghemat waktu tempuh hingga 40%.
2. Dari hasil simulasi diketahui bahwa peningkatan tinggi banjir berdampak kepada pengurangan kecepatan, dimana simulasi genangan banjir rob hingga ketinggian genangan 250mm menghasilkan penurunan kecepatan tempuh hingga 78% di jalan nasional. Di sisi lain, jalan tol dapat mempertahankan penurunan kecepatan tempuhnya di batas penurunan 12% pada kondisi genangan 250mm. Penurunan kecepatan kemudian menghasilkan Jumlah *shifting* maksimum yang terjadi pada genangan 200mm dengan jumlah *shifting* sebesar 89%.
3. Pada masa mendatang kajian ini dapat dikembangkan dengan melihat kinerja jaringan lain yang dipengaruhi oleh genangan banjir. Selain itu, validasi penurunan kecepatan akibat banjir dapat dikembangkan melalui eksperimen laboratorium maupun observasi lapangan.

Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z., Andreas, H.Gumilar, I., Sidiq, T.P. & Fukuda. (2013). *Land Subsidence in Coastal City of Semarang (Indonesia): Characteristics, impact and causes*, Geomatics, Natural Hazard and Risk. 226-240.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah . (2021). *Statistik Perhubungan Provinsi Jawa Tengah* . BPS Jawa Tengah .
- BPJT. (2023). *Tarif Tol*. Retrieved from Badan Pengatur Jalan Tol: <https://bpjt.pu.go.id/cek-tarif-tol>
- Brown, S., Dawson R, J. (2016). *Building Network-Level Resilience to Resource Disruption from Flooding: Case Studies from Shetland Island and Hurricane Sandy*. *FloodRisk*. Lyon.
- Doornkamp, J.C. (1998). *Coastal Flooding, global warming, and environmental management*. *J Environ Manage*, 327-333.
- Drake, J., Scofer, J., & May, A. D. (1965). *A statistical analysis of speed-density hypotheses*. *Proceeding of Third International Symposium on Theory of Traffic Flow*. New York: Vehicular Traffic Science.
- Hadi, S.P. (2017). *In search for sustainable coastal management: A case study of Semarang*,

Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

to global change. Newcastle Upon Thyne (UK): Centre for Earth Systems Engineering Research, Newcastle University.

Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjevic, S., Butler, D. Mark. (2015). *Urban Flood Impact Assessment: a state-of-the-art review*. Urban Water Journal, 14-29.

Harwitasari, D., van Ast, J. (2011). *Climate Change Adaptation in Practice: people's Responses to tidal flooding in Semarang*, Indonesia. J Flood Risk Management, 1-18.

Hermin et al. (2018). *Ecological Communication in Asia Pacific*. Pacific Journalism Review.

Kramer, M., Terheiden, K., & Wieprecht, S. (2016). *Safety criteria for the trafficability of inundated roads in urban floodings*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 77-84.

Kusumaning, T., Sekar, F. (2014). *Flood Management Strategy in Port of Tanjung Emas Semarang*. Warta Penelitian Perhubungan, 677-687.

Pregnoiato M., Ford A., Sean M., Wilkinson, Dawson R. (2017). *The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function*. Transportation Research Part D, 67-81.

PT. Jasa Marga (Persero) Tbk. (2022). *Laporan Pengoperasian dan Pemeliharaan Jalan Tol Ruas Semarang ABC Periode Triwulan I*.

Pyatkova, K., Albert S.Chen., Butler, D., & Zoran, V. (2019). *Assessing the knock-on effects of flooding on road transportation*. Journal of Environmental Management, 48-60.

Robie, D. (2017). *Tiny Timbulloko fights back in the face of Indonesia's 'ecological disaster'*. Asia Pacific Report.

Shand, T.D., Cox, R.J., Blacka, M.J., Smith, G.P. (2011). *Australian Rainfall and Runoff Revision Project 10: Appropriate Safety Criteria for Vehicles-Literature Review*. Manly Vale: Water Research Laboratory University of New South Wales (UNSW).

Smith, G.P., Modra, B.D., Tucker, T.A., & Cox, R.J. (2017). *Vehicle stability testing for flood flows*. New South Wales: Water Research Laboratory UNSW.

Wage Centre. (2023). *Minimum and Average Salary in Indonesia*. Retrieved from WageCentre.com: <https://wagecentre.com/work/work-in-asia-and-oceania/salary-in-indonesia>.

Walsh, C.L., Ford, A., Barr, S., Dawson, R.J. (2012). *A Spatio-temporal modeling framework for the integrated assessment of cities in Earth System Engineering*. A technical symposium on systems engineering for sustainable adaptation