



Pengembangan Model Simulasi untuk Menentukan Waktu Operasional Terbaik Angkutan Kontainer

Dedi Wijayanto^{#1}, Noveicalistus H. Djanggu^{#2}, Febri Prima^{#3}

[#]Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat, 78124

¹dediwijayanto@industrial.untan.ac.id

²noveicalistus.djanggu@industrial.untan.ac.id

³febri.prima@teknik.untan.ac.id

Abstrak— Kota Pontianak memegang peran strategis dalam perekonomian Kalimantan Barat. Kota Pontianak menjadi pusat bisnis dan perdagangan skala lokal, nasional, dan internasional. Tingginya arus lalu lintas komoditas perdagangan menimbulkan tingkat pengangkutan peti kemas yang signifikan dan berdampak pada kemacetan lalu lintas. Tingginya arus lalu lintas yang dilalui oleh angkutan berat kontainer terjadi pada Jalan Tanjungpura, Jalan Iman Bonjol, dan Jalan Adi sucipto. Penelitian ini memiliki urgensi dalam efisiensi biaya total operasional angkutan kontainer di dalam kota pontianak. Peningkatan biaya angkut akan secara signifikan meningkatkan inflasi. Penelitian ini mengkaji karakteristik jalan yang dilalui angkutan kontainer menggunakan model yang menghubungkan volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas. Data pengamatan dan model simulasi digunakan untuk mengidentifikasi skenario simulasi berdasarkan waktu operasional terbaik. Melalui serangkaian tahap yang melibatkan pembuatan model konseptual, model simulasi oleh perangkat lunak Arena, verifikasi, dan validasi menggunakan analisis ANOVA. Pembuatan model simulasi didasari pada karakteristik lalu lintas yang direpresentasikan oleh persamaan distribusi probabilitas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu perjalanan minimum untuk angkutan kontainer terjadi pada *cluster* siang, yaitu pada pukul 11:00 hingga 14:00. Adapun waktu tempuh sejauh 7,8 km berdasarkan pengumpulan data dari segmen Utara ke Selatan atau dari Jalan Tanjungpura menuju Jalan Iman Bonjol adalah 17,23 menit. Sedangkan untuk rute yang sama dengan arah yang berlawanan diperoleh waktu tempuhnya adalah 17,89 menit.

Kata kunci— Kontainer, Waktu Tempuh, Makroskopik Model, Model Simulasi dan Penjadwalan.

I. PENDAHULUAN

Kota Pontianak mempunyai peran yang sangat penting dan strategis dalam perekonomian wilayah. Hampir semua jalan nasional maupun jalan provinsi yang ada di Kalimantan Barat berorientasi ke kota Pontianak. Terutama di sekitar pusat logistik seperti pelabuhan laut, aliran truk dapat memiliki dampak besar pada jalan raya sekitarnya. Oleh karena itu, prediksi mereka penting untuk membantu mengelola operasi lalu lintas [1].

Sistem transportasi memainkan peran penting dalam masyarakat modern, memengaruhi perkembangan ekonomi, kualitas hidup, dan keberlanjutan lingkungan. Simulasi digunakan untuk memfasilitasi perencanaan dan pengelolaan sistem transportasi [2]. Selain itu, kota Pontianak merupakan satu-satunya kota di Kalimantan barat yang memiliki terminal angkutan peti kemas. Hal ini menjadikan kota Pontianak sebagai pusat bisnis dan perdagangan skala lokal, nasional, maupun internasional, sehingga arus lalu lintas komoditas perdagangan yang keluar masuk kota Pontianak cukup tinggi.

Berdasarkan data dinas perhubungan di tahun 2019, tercatat 2.586.243 TEU's (*twenty foot equivalent unit*) peti kemas yang masuk dan 733.080 TEU's peti kemas keluar [3]. Semakin tinggi laju pertumbuhan perdagangan suatu wilayah akan meningkatkan frekuensi perpindahan barang sekaligus timbulnya sarana dan prasarana transportasi yang diperlukan. Kenaikan konstan jumlah kendaraan di jalan raya, tanpa didukung oleh tingkat perkembangan yang memadai pada infrastruktur transportasi, mengakibatkan keterlambatan dalam proses transportasi. Dampaknya termasuk peningkatan biaya transportasi, penurunan keselamatan jalan, dan peningkatan polusi lingkungan [4]. Selain itu, Peningkatan volume kendaraan yang tidak diimbangi dengan kinerja jalan yang baik akan menyebabkan terjadinya kemacetan [5].

Tingginya pergerakan lalu lintas di kota Pontianak berdampak pada tingginya volume kendaraan di ruas jalan yang ada sehingga menimbulkan kemacetan lalu lintas. Peningkatan pada sektor pengangkutan ditandai dengan tingginya intensitas arus barang yang diangkut dengan berbagai dimensi kendaraan angkutan berat dari terminal peti kemas. Pertumbuhan pada sektor pengangkutan barang yang meningkat menyebabkan terjadinya penurunan kinerja jaringan terutama pada jam sibuk.

Berdasarkan Peraturan Wali kota Pontianak Nomor 36 Tahun 2013 tentang KETENTUAN PENGOPERASIAN KENDARAAN BERMOTOR DI WILAYAH KOTA PONTIANAK dapat diketahui rute yang diizinkan untuk

dilewati jenis kendaraan angkutan berat yaitu kontainer terdiri dari 3 rute perjalanan yaitu [6]:

1. Jl Komyos Sudarso – Jl Pak Kasih – Jl Rahadi Usman – Jl Tanjungpura – Jl Imam Bonjol – Jl Adi sucipto.
2. Jl Komyos Sudarso – Jl Pak Kasih – Jl Zainuddin – Jl Sudirman – Jl Nusa Indah – Jl Pattimura – Jl Diponegoro – Jl G. Lelanang – Jl A. Yani 1 (rute keluar).
3. Jl Ahmad Yani – Jl KH. Ahmad Dahlan – Jl Teuku Umar – Jl Diponegoro – Jl Pattimura – Jl Zainuddin – Jl Pak Kasih (rute masuk).

Pada penelitian ini, Jalan Iman Bonjol dan Jalan Adi sucipto akan digabungkan menjadi Jalan Iman Bonjol guna kemudahan penyebutan nama Jalan. Penelitian akan berfokus pada jalan yang dilewati oleh angkutan berat kontainer yaitu Jalan Tanjungpura dan Jalan Iman Bonjol serta jalan yang mengalami penurunan kinerja jalan. Penurunan kinerja jalan meruakan penurunan kemampuan jalan raya dalam menjalankan fungsi tampung kendaraan. Ini dapat terjadi karena volume jalan tidak dapat menampung volume kendaraan. Segmen jalan Utara-Selatan adalah Jalan Tanjungpura menuju Jalan Iman Bonjol, sedangkan segmen Jalan Selatan-Utara adalah Jalan Iman Bonjol menuju Jalan Tanjungpura.

Penurunan kinerja jaringan jalan dapat menghambat jalur distribusi angkutan kontainer yang dapat merugikan pihak jasa angkutan kontainer. Kondisi tersebut membuat waktu tempuh perjalanan dari produsen ke konsumen mengalami penambahan sehingga mengakibatkan meningkatnya biaya perjalanan. Adanya kemacetan juga akan membuat biaya operasional distribusi angkutan kontainer seperti ongkos bahan bakar dan ongkos perawatan kendaraan mengalami peningkatan bahkan dapat berakibat pada kelelahan pengemudi. Hal ini secara tidak langsung berpengaruh terhadap kinerja bongkar dan muat yang ada di pelabuhan peti kemas dan dapat berdampak pada *dwelling time* peti kemas meningkat. Agar kinerja bongkar dan muat tidak terhambat, sarana dan prasarana angkutan peti kemas seperti jalan harus mempunyai tingkat kelancaran yang tinggi.

Fenomena tersebut dapat diselesaikan dengan terlebih dahulu mengetahui karakteristik jalan yang dilalui angkutan kontainer. Oleh karena itu penelitian berfokus pada pengukuran karakteristik jalan melalui hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan. Data pengamatan yang berhasil dikumpulkan kemudian diolah kembali ke dalam model simulasi untuk menentukan skenario terbaik waktu operasional angkutan kontainer. Model simulasi dibangun dengan serangkaian tahapan agar dapat diyakini bahwa model simulasi telah dengan baik merepresentasikan sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik lalu-lintas muncul akibat interaksi antara pengemudi, kendaraan, jalan, dan lingkungan sekitarnya. Saat ini, perhatian dalam pembahasan lalu lintas

difokuskan pada variabel-variabel seperti aliran (*flow*), kecepatan (*speed*), dan kerapatan (*density*). Perkembangan ini mencerminkan pergeseran dari konsep awal, di mana fokus utama lalu lintas adalah pada komposisi volume, asal tujuan, kualitas, dan biaya. Saat ini, perhatian lebih difokuskan pada seberapa banyak jenis kendaraan yang bergerak dalam lalu lintas [7]. Di dalam [8] juga dijelaskan bahwa terdapat tiga parameter utama untuk mengetahui karakteristik lalu lintas yaitu volume, kecepatan, dan kepadatan.

B. Arus dan Volume

Arus lalu lintas adalah ukuran kemajuan suatu daerah dalam hal pergerakan kendaraan di jalan. Keberlangsungan dan keteraturan arus lalu lintas dapat mengindikasikan bahwa kendaraan beroperasi sesuai dengan peraturan lalu lintas yang berlaku di jalan. Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada bagian tertentu dari jalan dalam periode waktu tertentu. Volume lalu lintas rata-rata diukur dalam interval waktu tertentu, seperti rata-rata harian, yang menggambarkan jumlah kendaraan yang melintasi suatu lokasi observasi dalam satu periode waktu tertentu, seperti hari, jam, atau menit [9]. kapasitas jalan yang tidak sebanding dengan volume kendaraan akan menyebabkan kemacetan [10].

C. Kecepatan

Kecepatan lalu lintas adalah rata-rata kecepatan kendaraan yang tercatat pada suatu lokasi tertentu di sepanjang jalan dalam interval waktu tertentu. Kecepatan rata-rata kendaraan ini diukur dalam satuan jarak per waktu, yaitu dalam kilometer per jam, yang disingkat sebagai km/jam [11]. Kecepatan adalah hasil pergerakan kendaraan dalam jarak tertentu per unit waktu. Dalam aliran lalu lintas, setiap kendaraan bergerak dengan kecepatan yang berbeda, sehingga tidak ada kecepatan tunggal yang menggambarkan karakteristik aliran lalu lintas. Sebaliknya, kecepatan kendaraan terdistribusi secara beragam. Dari distribusi ini, dapat digunakan nilai rata-rata atau nilai yang mewakili untuk memahami sifat aliran lalu lintas [7].

D. Kepadatan

Kepadatan lalu lintas atau densitas mengindikasikan jumlah kendaraan yang berada dalam sebagian jalan tertentu dan diukur dalam kendaraan per kilometer (kend/km) [12]. Kepadatan lalu lintas merujuk pada jumlah kendaraan yang melintas di suatu segmen jalan dengan panjang tertentu. Kepadatan lalu lintas atau densitas diukur sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu kilometer jalan tertentu (Kendaraan/Km) [11].

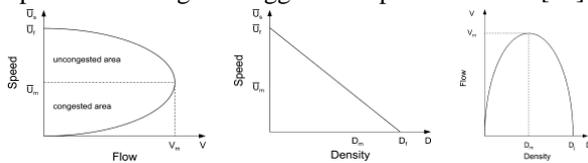
E. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

Dalam studi mengenai arus lalu lintas pada sebuah bagian jalan raya, terdapat tiga faktor utama yang digunakan untuk mengevaluasi sifat-sifat lalu lintas. Faktor-faktor ini adalah:

1. Jumlah Kendaraan (*Volume*): Merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu lokasi tertentu pada jalan raya dalam satu periode waktu tertentu.
2. Kecepatan (*Speed*): Ini mengacu pada sejauh mana suatu kendaraan dapat bergerak dalam satu unit waktu di sepanjang bagian jalan raya.
3. Kepadatan (*Density*): Merupakan jumlah kendaraan yang ada pada sepanjang suatu bagian jalan tertentu dalam satu satuan panjang jalan.

Faktor-faktor ini saling terkait satu sama lain, dan hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat digambarkan dalam bentuk grafis menggunakan persamaan matematika.

Terdapat hubungan fundamental antara volume lalu lintas dan kecepatan, di mana peningkatan volume lalu lintas akan menyebabkan penurunan kecepatan rata-rata kendaraan hingga mencapai tingkat kepadatan maksimal (volume maksimum). Setelah mencapai tingkat kepadatan maksimal, kecepatan rata-rata kendaraan dan volume akan berkurang lebih lanjut. Dengan kata lain, kecepatan akan menurun ketika tingkat kepadatan meningkat. Kecepatan optimal terjadi ketika kepadatan mencapai nol, dan jika kecepatan sama dengan nol, maka kemacetan akan terjadi. Volume maksimum ditemukan saat kepadatan mencapai tingkat kapasitas jalan yang sudah tercapai. Setelah mencapai titik ini, volume akan menurun meskipun tingkat kepadatan meningkat hingga mencapai kemacetan [13].



Gambar. 1 Hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan

Gambar 1 menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan kecepatan yaitu dengan bertambahnya volume lalu lintas, maka kecepatan akan berkurang sampai volume maksimum tercapai. Hubungan antara kecepatan dan kepadatan menunjukkan bahwa kecepatan akan menurun apabila kepadatan bertambah. Hubungan antara volume dan kepadatan memperlihatkan bahwa kepadatan akan bertambah apabila volumenya juga bertambah [14].

F. Klasifikasi Jenis Kendaraan

Kendaraan-kendaraan yang tersebar di jalan dapat diklasifikasikan menurut karakteristiknya. Adapun klarifikasi jenis kendaraan adalah sebagai berikut [15].

1. Kendaraan *Light Vehicle* (LV) adalah kendaraan bermotor dengan empat roda, dua as, dengan jarak antara kedua asnya berkisar antara 2,00 hingga 3,00 meter. Jenis kendaraan ini mencakup mobil penumpang, oplet, minibus, pick up, dan truk kecil sesuai dengan sistem klasifikasi yang berlaku.
2. Kendaraan *Heavy Vehicle* (HV) merupakan kendaraan bermotor yang memiliki jarak antara asnya lebih dari 3,50 meter, dan biasanya memiliki lebih dari empat roda. Contoh kendaraan yang termasuk dalam kategori

ini adalah bus, truk 2 as, truk 3 as, dan truk kombinasi, sesuai dengan sistem klasifikasi Bina Marga. Truk kontainer masuk dalam klasifikasi HV.

3. Sepeda Motor (MC) adalah kendaraan bermotor yang memiliki dua atau tiga roda, seperti sepeda motor dan kendaraan roda tiga, sebagaimana yang didefinisikan dalam klasifikasi Bina Marga.
4. Kendaraan *Non-motorized* (UM) adalah kendaraan beroda yang bergerak dengan tenaga manusia atau hewan, seperti sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong. Hal ini sesuai dengan klasifikasi Bina Marga.

G. Simulasi

Simulasi telah menjadi suatu aspek yang sangat krusial, dengan berbagai penelitian dan analisis yang melibatkan teknik simulasi, seperti dalam penyelesaian masalah antrian. Salah satu perangkat lunak yang dapat memvisualisasikan dan menganalisis antrian adalah *software Arena* [16]. Simulasi adalah upaya untuk mereplikasi ciri, tampilan, dan sifat-sifat dari sebuah sistem nyata. Hal ini terdiri dari sekumpulan metode dan aplikasi yang digunakan untuk meniru perilaku sistem yang sebenarnya, biasanya melalui penggunaan komputer dan perangkat lunak khusus [17]. Simulasi juga bertujuan untuk memperoleh keputusan yang tepat dalam waktu singkat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar [18]. Langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut [19].

1. Identifikasi permasalahan atau sistem yang akan disimulasikan.
2. Perumusan model yang akan digunakan.
3. Pengumpulan data yang diperlukan untuk menguji model.
4. Pembuatan model, dengan memastikan kesesuaian dengan bahasa simulasi yang digunakan.
5. Verifikasi dan validasi model. Verifikasi melibatkan pemeriksaan untuk mengidentifikasi kesalahan dalam model, sementara validasi adalah proses pengujian untuk memastikan bahwa model sesuai dengan sistem nyata.
6. Pelaksanaan simulasi.
7. Analisis hasil simulasi.

H. Analisis ANOVA

Statistika merupakan sebuah ilmu yang terdiri dari teori dan teknik yang merupakan sub disiplin dari matematika terapan, yang membahas tentang proses pengumpulan, penyusunan, pengolahan, serta penyajian data, cara melakukan analisis data, dan cara membuat keputusan dengan mempertimbangkan risiko tertentu berdasarkan strategi yang ada. Salah satu metode statistika yang sering digunakan untuk menganalisis hasil penelitian atau observasi adalah analisis ragam (ANOVA). Metode *one-way anova* adalah sebuah alat yang digunakan untuk menguji secara serentak apakah suatu populasi mempunyai nilai rata-rata yang sama [20].

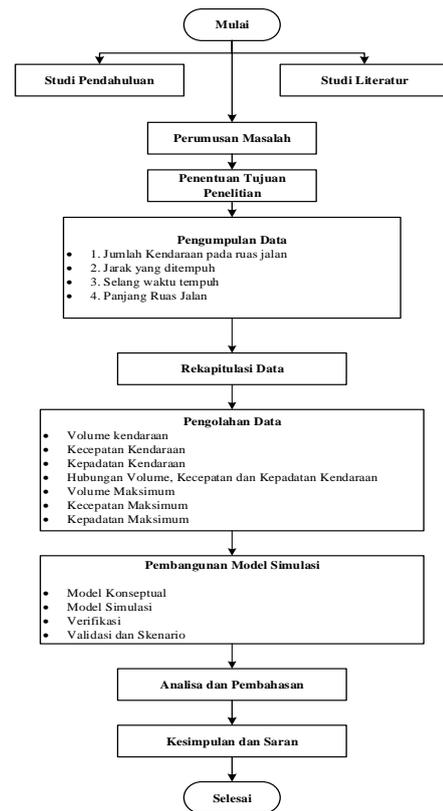
Pengujian ANOVA adalah suatu metode statistika yang digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan dalam nilai rata-rata antara kelompok atau populasi yang diamati.

ANOVA sering digunakan secara luas untuk menganalisis data penelitian dari berbagai disiplin, baik melalui eksperimen atau survei. Analisis ini termasuk dalam kategori analisis parametrik, sehingga memerlukan persyaratan bahwa data harus terdistribusi secara normal [21].

ANOVA menggunakan distribusi probabilitas untuk mengukur varians. Dalam statistik, nilai probabilitas (*p-value*) adalah probabilitas untuk mendapatkan hasil yang diamati dari sebuah uji. Hipotesis awal atau H_0 menyatakan bahwa tidak ada perbedaan di antara kelompok yang sedang diteliti, sedangkan hipotesis alternatif atau H_1 menyatakan bahwa ada perbedaan. Nilai *p-value* digunakan sebagai opsi untuk menolak H_0 , berdasarkan perbandingan hasil dengan tingkat signifikansi. Tingkat signifikansi (α) adalah probabilitas menolak hipotesis nol ketika itu benar. Misalnya, α sebesar 0.05 mengimplikasikan risiko 5% untuk mengasumsikan bahwa ada perbedaan, padahal sebenarnya tidak ada perbedaan yang sebenarnya. Dengan demikian, *p-value* yang lebih kecil mengindikasikan bahwa ada bukti yang lebih kuat untuk mendukung H_1 [22].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian berlokasi di Kota Pontianak, Kalimantan Barat dengan pemilihan ruas jalan yaitu di Jalan Tanjungpura dan Jalan Imam Bonjol. Pemilihan jalur ini didasarkan bahwa jalur tersebut merupakan angkutan kontainer kota pontianak yang rawan akan kemacetan dan sering dilewati angkutan berat kontainer. Selain itu, jalur tersebut merupakan satu satunya jalur untuk keluar dari Kota Pontianak bagi angkutan berat kontainer akibat adanya larangan kendaraan berat melintas melalui Jembatan Kapuas 1. Objek penelitian ini berfokus pada kendaraan angkutan berat kontainer. Data hasil pengamatan digunakan dalam membangun model simulasi untuk menghasilkan sekenario terbaik dari waktu operasional angkutan kontainer. Gambar 2 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar. 2 Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan dilakukan sepanjang Jalan Tanjungpura hingga Jalan Iman Bonjol untuk jalur Utara-Selatan (U-S) dan jalur Selatan-Utara (S-U). Data dikelompokkan untuk setiap rentang 15 menit dengan metode pengambilan data yaitu random staratafication. Pengumpulan data dilakukan selama 14 hari dengan waktu pengumpulan data ialah mulai pukul 08:00 sampai dengan pukul 16:00. Pembagian *cluster* pagi, siang dan sore yang ditunjukkan oleh tabel 1 digunakan untuk mengetahui karakteristik lalu lintas kendaraan pada rentang tersebut. *Cluster* sore hanya terbatas sampai pukul 16.00 sehingga rentang waktu pengambilan data hanya 2 jam.

TABEL I
PENGELOMPOKKAN *CLUSTER*

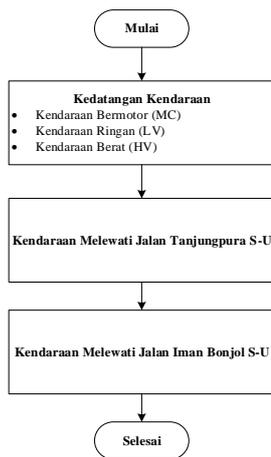
<i>Cluster</i>	Periode Waktu
Pagi	08:00 – 11:00
Siang	11:00 – 14:00
Sore	14:00 – 16:00

Data-data yang telah dimiliki sebelumnya kemudian diintegrasikan berdasarkan *cluster* waktu tersebut. Data-data tersebut akan digunakan untuk membangun sebuah model karakteristik volume dan kecepatan dari sebuah jalan untuk setiap jenis kendaraan. Setiap jenis kendaraan yang melewati suatu jalan memiliki karakteristiknya tersendiri. Model tersebut dibangun dengan menggunakan perangkat lunak/software Arena. Pembentukan model simulasi terdiri

dari empat tahapan yaitu pembuatan model konseptual, model simulasi, verifikasi dan validasi serta pembentukan skenario.

A. Model Konseptual

Model konseptual dibuat berdasarkan kondisi *existing* dari jalan yang dilalui oleh kendaraan. Adapun model konseptual dari sebuah kendaraan yang melewati Jalan Tanjungpura S-U dan Jalan Iman Bonjol S-U ditunjukkan oleh Gambar 3. Sedangkan model konseptual dari sebuah kendaraan yang melewati Jalan Tanjungpura S-U dan Iman Bonjol S-U ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar. 3 Model konseptual rute Selatan-Utara

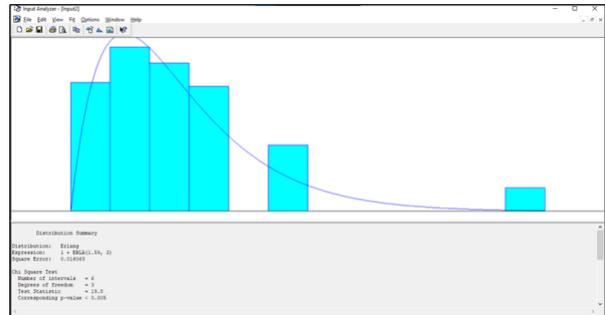


Gambar. 4 Model konseptual rute Utara-Selatan

B. Model Simulasi

Model simulasi dibangun dengan menggunakan bantuan *software Arena*. Sebelum membangun model simulasi, diperlukan sebuah distribusi probabilitas yang menggambarkan karakteristik dari kendaraan yang melewati sebuah jalan. Sebagai contoh persamaan distribusi probabilitas dari waktu tempuh angkutan kontainer pada Jalan Tanjungpura S-U. Persamaan tersebut dapat diperoleh menggunakan *Input Analyzer* yang terdapat pada *software Arena*. *Input analyzer* adalah fitur dari *software Arena* yang dapat membantu memilih dan

meyesuaikan distribusi probabilitas sesuai data input yang diberikan. Menggunakan data waktu tempuh rata-rata dari kendaraan angkutan kontainer di Jalan Tanjungpura S-U untuk *cluster* pagi hari, maka diperoleh distribusi probabilitas beserta dengan grafiknya ialah sebagai berikut.

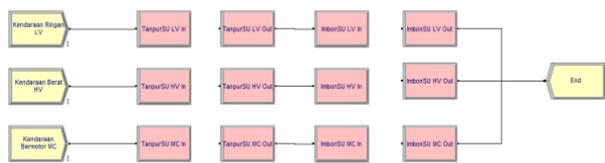


Gambar. 5 Output *input analyzer*

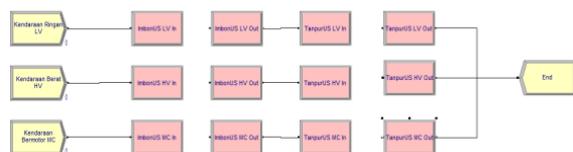
Waktu tempuh angkutan kontainer (HV) di Jalan Tanjungpura S-U untuk *cluster* pagi memiliki distribusi Erlang dengan persamaan distribusinya adalah $1 + \text{ERL}(1.59, 2)$. Persamaan distribusi inilah yang akan digunakan pada modul dalam sebuah model simulasi. Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan masing-masing distribusi probabilitas setiap *cluster* untuk setiap jenis kendaraan.

Diperlukan juga sebuah persamaan distribusi probabilitas guna mengatur kedatangan kendaraan pada model simulasi. Data yang digunakan untuk mengatur kedatangan kendaraan dari setiap segmen jalan adalah hasil perhitungan periode waktu 15 menit dibagi dengan volume kendaraan. Data yang berhasil dikumpulkan adalah sebanyak 31.793 kendaraan. Adapun persamaan distribusi probabilitas yang digunakan guna mengatur kedatangan kendaraan ditunjukkan pada Tabel 6.

Dibangun sebuah model simulasi untuk jalur Selatan – Utara yaitu untuk Jalan Tanjungpura menuju Jalan Iman Bonjol ditunjukkan oleh Gambar 5 menggunakan *software Arena*. Sedangkan model simulasi untuk jalur Utara – Selatan yaitu untuk Jalan Iman Bonjol menuju Jalan Tanjungpura ditunjukkan oleh Gambar 6. Sebagai contoh, jika ingin melakukan simulasi untuk *cluster* pagi, maka persamaan probabilitas yang digunakan adalah persamaan probabilitas *cluster* pagi untuk semua kendaraan.



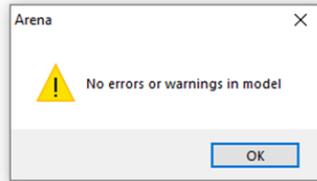
Gambar. 6 Model simulasi segmen S-U



Gambar. 7 Model simulasi segmen U-S

C. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dibangun sudah bebas dari *error*. Pada *software* Arena, verifikasi model dilakukan dengan menggunakan fitur *Check Model*. Hasil *check model* untuk kedua model segmen jalan menunjukkan bahwa tidak adanya *error* terlihat pada gambar 8 berikut.



Gambar. 8 Hasil verifikasi model

Output dari model simulasi tersebut adalah waktu tempuh rata-rata untuk setiap jenis kendaraan dari setiap jalur. Dikarenakan model sudah bebas dari error, maka simulasi dapat dijalankan. Simulasi dijalankan dengan lima kali replikasi. Dimana untuk *cluster* pagi dan siang ditetapkan durasi simulasi berjalan adalah masing-masing 180 menit dan *cluster* sore adalah 120 menit berdasarkan pembagian pengambilan data tiap *cluster*.

TABEL II
REKAPITULASI RATA-RATA HASIL SIMULASI S-U (MENIT)

Cluster	MC	LV	HV
Pagi	14,8544	15,3650	19,8794
Siang	11,9831	14,1969	17,2326
Sore	13,5520	14,7632	18,8249

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa rata-rata waktu tempuh tercepat untuk setiap jenis kendaraan terdapat pada *cluster* siang. Dimana untuk waktu tempuh yang dibutuhkan guna melewati Jalan Tanjungpura S-U dan Jalan Iman Bonjol S-U adalah 11,9831 menit untuk kendaraan bermotor, 14,1969 menit untuk kendaraan ringan, dan 17,2326 untuk kendaraan berat atau angkutan kontainer. Sama seperti segmen S-U, simulasi dijalankan dengan lima kali replikasi. Dimana untuk *cluster* pagi dan siang ditetapkan durasi simulasi berjalan adalah 180 menit dan *cluster* sore adalah 120 menit.

TABEL III
REKAPITULASI RATA-RATA HASIL SIMULASI U-S (MENIT)

Cluster	MC	LV	HV
Pagi	14,0715	15,4086	20,5736
Siang	12,2020	14,6055	16,8900
Sore	13,8332	17,0459	18,9696

Tabel 3 menunjukkan rekapitulasi dari setiap replikasi hasil simulasi model Jalan Iman Bonjol U-S dan Jalan Tanjungpura U-S. Terlihat bahwa waktu tempuh tercepat oleh angkutan berat kontainer dapat diperoleh pada *cluster* siang hari, dengan rata-rata waktu tempuhnya adalah 16,8900 menit.

TABEL IV
PERSAMAAN DISTRIBUSI PROBABILITAS SEGMENT S-U

Segmen	Waktu	MC	LV	HV
Tanjungpura S-U	Pagi	NORM(3.4, 0.758)	2.73 + 2.27 * BETA(1.51, 1.85)	2.4 + 5.47 * BETA(2.69, 3.17)
	Siang	2 + LOGN(0.929, 0.441)	2.25 + ERLA(0.174, 7)	NORM(4.1, 0.846)
	Sore	2 + WEIB(1.49, 1.86)	2 + 4 * BETA(5.68, 8.31)	3.8 + ERLA(0.134, 6)
Iman Bonjol S-U	Pagi	TRIA(6, 11.5, 17)	9 + 6 * BETA(0.86, 1.1)	8 + 15 * BETA(2.14, 2.27)
	Siang	6.03 + LOGN(3.03, 1.31)	7 + GAMM(0.589, 6.35)	NORM(12.7, 2.62)
	Sore	6 + WEIB(4.85, 1.98)	NORM(11.2, 1.83)	12 + 4.66 * BETA(2.46, 2.63)

TABEL V
PERSAMAAN DISTRIBUSI PROBABILITAS SEGMENT U-S

Segmen	Waktu	MC	LV	HV
Tanjungpura U-S	Pagi	TRIA(1.27, 3.64, 6)	TRIA(2.71, 3.06, 5.26)	3 + LOGN(1.97, 1.39)
	Siang	TRIA(2.04, 2.83, 3.98)	TRIA(2.1, 3.88, 4.4)	TRIA(2.55, 4.29, 5.5)
	Sore	1 + 7 * BETA(7.98, 14.5)	2 + EXPO(3.4)	TRIA(4, 4.84, 5.37)
Iman Bonjol U-S	Pagi	NORM(10.5, 2.35)	8.3 + 6.7 * BETA(1.54, 1.48)	NORM(15.4, 3.25)
	Siang	6.3 + 6.43 * BETA(2.65, 3.1)	7.13 + WEIB(4.49, 2.58)	TRIA(8, 9.77, 21)
	Sore	5 + WEIB(6.09, 2.71)	NORM(11.8, 2.01)	10 + 15 * BETA(5.09, 11.6)

TABEL VI
DISTRIBUSI PROBABILITAS KEDATANGAN KENDARAAN

Segmen	Waktu	MC	LV	HV
Tanjungpura S-U	Pagi	0.01 + LOGN(0.00665, 0.00138)	0.05 + LOGN(0.0208, 0.00497)	1 + ERLA(1.59, 2)
	Siang	0.01 + WEIB(0.0141, 4.69)	0.05 + ERLA(0.00138, 13)	-0.001 + GAMM(2.25, 2.06)
	Sore	0.01 + LOGN(0.00972, 0.00122)	0.05 + GAMM(0.00301, 11.8)	LOGN(2.38, 1.53)
Iman Bonjol U-S	Pagi	0.02 + WEIB(0.0357, 4.39)	NORM(0.114, 0.0148)	-0.001 + ERLA(1.95, 2)
	Siang	TRIA(0.02, 0.0286, 0.08)	0.06 + ERLA(0.00491, 15)	-0.001 + GAMM(2.4, 1.44)
	Sore	0.02 + LOGN(0.0168, 0.00437)	0.08 + LOGN(0.0805, 0.0286)	1 + LOGN(3.77, 3.06)

D. Validasi Model

Proses validasi model adalah proses untuk membuktikan apakah hasil simulasi dapat merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan uji ANOVA. Uji ANOVA dilakukan dengan membandingkan rata-rata antar perlakuan. Adapun langkah-langkah uji ANOVA untuk jalan Tanjungpura S-U dan untuk kendaraan jenis HV adalah seperti pada tabel 7 sebagai berikut.

TABEL VII
WAKTU TEMPUH KENDARAAN BERAT SISTEM DAN SIMULASI (MENIT)

HV Sistem	HV Simulasi
17,5795	19,8794
17,5376	17,2326
18,8075	18,8249
53,9246	55,9369

1. Perumusan Hipotesis

H0: Waktu tempuh setiap model sama

H1: Waktu tempuh model tidak sama

2. Uji Statistik

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh tabel ANOVA yang bisa dilihat pada tabel 8 sebagai berikut.

TABEL VII
HASIL ANALISIS ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,675	1	0,675	0,588	0,486	7,709
Within Groups	4,592	4	1,148			
Total	5,267	5				

3. Keputusan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan untuk menentukan F_{hitung} dan F_{tabel} , diperoleh nilainya masing-masing adalah 0,588 dan 7,709. Terlihat bahwa nilai F_{tabel} lebih besar dari F_{hitung} baik untuk baris maupun kolom. Keputusan yang dapat diambil ialah menerima H_0 dan menolak H_1 .

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang kemudian dapat ditarik adalah tidak terdapat perbedaan rata-rata waktu tempuh baik itu waktu tempuh setiap dari model maupun waktu tempuh dari sistem. Artinya ialah tidak ada perbedaan antara simulasi dan kondisi sistem yang sebenarnya sehingga dapat disimpulkan bahwa model simulasi untuk jalan Tanjungpura S-U dengan jenis kendaraan HV dapat merepresentasikan sistem sebenarnya.

Validasi model dilakukan untuk setiap jenis kendaraan dan untuk setiap jalan. Hasil validasi untuk setiap jenis kendaraan serta setiap jenis jalan menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi sistem yang

sebenarnya. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dibuat skenario terbaik yang dapat digunakan oleh kendaraan angkutan berat kontainer. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka skenario yang dapat digunakan agar angkutan berat kontainer dapat melakukan pengantaran dengan waktu tempuh tercepat adalah dengan melakukan pengantaran pada *cluster* siang atau mulai pukul 11:00 hingga pukul 14:00 untuk segmen jalan S-U. Adapun skenario yang dapat digunakan pada segmen jalan U-S oleh angkutan berat kontainer dalam melakukan transportasi yang cepat adalah dengan melakukan transportasi pada siang hari yaitu mulai pukul 11:00 hingga pukul 14:00.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas dari ketiga jenis kendaraan pada Jalan Tanjungpura dan Jalan Iman Bonjol, maka dapat disimpulkan bahwa *cluster* pagi dan sore memiliki tingkat volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yang lebih tinggi. Tingginya volume kendaraan pada *cluster* pagi disebabkan oleh masyarakat yang baru saja memulai aktivitasnya, seperti mengantar anak-anak ke sekolah, berbelanja, berangkat kerja, dan aktivitas lainnya. Selain itu pada jalan tersebut juga terdapat banyak tempat perbelanjaan, rumah makan, fasilitas pendidikan, bank, hotel, dan yang lainnya. Tingginya volume kemudian bergantung pada kecepatan dan tingkat kepadatan. Jika volume kendaraannya tinggi, maka kecepatan rata-rata kendaraan cenderung lambat. Tingginya volume berarti tingkat kepadatan yang juga tinggi. Berbeda dengan *cluster* pagi yang dimana masyarakat baru memulai aktivitasnya, *cluster* sore merupakan kebalikan dari *cluster* pagi dimana masyarakat cenderung mengakhiri aktivitasnya dengan pulang kerumah, berbelanja, maupun ke rumah makan. Hasil pengumpulan data kemudian digunakan untuk membuat model simulasi.

Model simulasi digunakan untuk menentukan skenario terbaik yang dapat diterapkan oleh kendaraan berjenis kendaraan berat (HV) seperti angkutan berat kontainer agar diperoleh waktu tempuh tercepat. Simulasi dilakukan dengan lima kali replikasi dimana durasi simulasi untuk *cluster* pagi dan siang adalah 180 menit dan durasi simulasi *cluster* sore adalah 120 menit. Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu tempuh minimum yang dapat dicapai oleh kendaraan angkutan berat kontainer adalah 17,2326 menit untuk Jalan Tanjungpura S-U – Jalan Iman Bonjol S-U dan 16,8900 untuk jalan Tanjungpura U-S dan Jalan Iman Bonjol U-S dimana kegiatan transportasi dilakukan pada *cluster* siang atau pada pukul 11:00 sampai dengan 14:00. Skenario ini lah yang dapat digunakan agar angkutan berat kontainer dapat mengantarkan barang-barang dengan lebih cepat sehingga ongkos bahan bakar dan ongkos perawatan kendaraan dapat ditekan serta dapat mengurangi kelelahan pada pengemudi angkutan kontainer.

UCAPAN TERIMA KASIH / ACKNOWLEDGMENT

Ucapan terima kasih diberikan kepada Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura atas bantuan biaya melalui

program DIPA Fakultas Teknik. Diucapkan juga terima kasih kepada Laboratorium Optimasi dan Sistem Industri (OSI) yang telah memberikan sumbangsih berupa peralatan dan *software*.

REFERENSI

- [1] A. Nadi, S. Sharma, M. Snelder, T. Bakri, H. van Lint, dan L. Tavasszy, "Short-term prediction of outbound truck traffic from the exchange of information in logistics hubs: A case study for the port of Rotterdam," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 127, Jun 2021, doi: 10.1016/j.trc.2021.103111.
- [2] Z. Liu, S. Xie, H. Zhang, D. Zhou, dan Y. Yang, "A parallel computing framework for large-scale microscopic traffic simulation based on spectral partitioning," *Transp Res E Logist Transp Rev*, vol. 181, Jan 2024, doi: 10.1016/j.tre.2023.103368.
- [3] Dishub Provinsi Kalimantan Barat (2020), "Jumlah Pelabuhan Peti Kemas Barang Tahun 2019." Diakses: 20 September 2023. [Daring]. Tersedia pada: dishub.kalbarprov.go.id.
- [4] S. Dorokhin, A. Artemov, D. Likhachev, A. Novikov, dan E. Starkov, "Traffic simulation: An analytical review," dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Okt 2020. doi: 10.1088/1757-899X/918/1/012058.
- [5] A. A. Nurhidayah dan R. E. Wibisono, "ARTICLE INFO," 2023. [Daring]. Tersedia pada: www.journal.unesa.ac.id/index.php/mitrans
- [6] "Peraturan Walikota Kota Pontianak No 36 Tahun 2013." [Daring]. Tersedia pada: https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/61387/perwali-kota-pontianak-no-36-tahun-2013.
- [7] E. N. Julianto, "Hubungan Antara Kecepatan, Volume Dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang," *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, vol. 12, no. 2, hlm. 151–160, 2010.
- [8] F. Sholahudin dan D. Nurmayadi, "Analisis Karakteristik Arus Lalu Lintas Dengan Model Greenshield, Greenberg Dan Underwood Di Ruas Jalan KHZ Musthofa Kota Tasikmalaya," *Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 4, no. 2, hlm. 77–83, 2021.
- [9] F. Basri dan M. Harum, "Analisis Volume Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Arteri (Batas. Kabupaten. Majene-Polewali Mandar)," *Bandar: Journal of Civil Engineering*, vol. 2, no. 1, hlm. 32–41, 2020, doi: 10.31605/bjce.v2i1.638.
- [10] N. W. Astuti, D. Kusdian, dan T. Sugiri, "PENERAPAN SIMULASI ARUS LALU LINTAS PADA PERSIMPANGAN TIDAK SEBIDANG DI JALAN JAKARTA–JALAN SUPRATMAN KOTA BANDUNG PEMANFAATAN APLIKASI VISSIM 11.03," *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, vol. 3, no. 2, hlm. 144, Sep 2023, doi: 10.32897/simteks.v3i2.2723.
- [11] D. Indratmo, "Kajian Kapasitas Jalan dan Derajat Kejenuhan Lalu-Lintas di Jalan Ahmad Yani Surabaya," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, hlm. 25, 2017, doi: 10.12962/j12345678.v1i1.2773.
- [12] H. Wibisana dan N. Utomo, "Ruas Jalan Arteri Kota Surabaya," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, hlm. 121–145, 2016.
- [13] A. Irfan Syah, Sumina, dan H. Susila, "Analisis Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Solo-Purwodadi," *Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology*, vol. 2, no. 1, hlm. 1–10, 2023, doi: 10.36728/jceit.v2i1.2661.
- [14] A.- Desmi, L. A. Widari, dan R. Yanti, "Efektifitas Model Karakteristik Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Simpang 4 Bireun (Perbandingan Dengan Metode Greenshield, Greenberg, Underwood)," *Teras Jurnal*, vol. 9, no. 1, hlm. 19, 2019, doi: 10.29103/tj.v9i1.178.
- [15] O. Wesara, "ANALISA KINERJA SIMPANG JALAN MANADO – BITUNG – JALAN PANIKI ATAS MENURUT MKJI 1997," vol. 4, no. 7, 2016.
- [16] T. A. Purwanto, "Analisis Sistem Antrian Menggunakan Software Simulasi Arena Pada PT Indomobil Trada Nasional (Nissan Depok)," vol. 5, no. 2, hlm. 1–12.
- [17] J. Heizer, B. Render, C. L. Munson, dan P. Griffin, *Operations management: sustainability and supply chain management*. Pearson New York, NY, 2020.
- [18] A. Andira, J. K. Runtuk, dan A. L. Maukar, "Studi Simulasi Sistem Pada Perusahaan Jasa Pengiriman Barang dan Ekspedisi," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 9, no. 3, hlm. 145–152, 2020, doi: 10.26593/jrsi.v9i3.3769.145-152.
- [19] E. Suryani, *Pemodelan dan Simulasi*. Yogyakarta: Graha ilmu. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [20] A. Fitrayuda, J. Fajrin, dan B. Anshari, "Analisis sifat meknais komposit polyester sisal menggunakan metode ANOVA," hlm. 2817–2824.
- [21] E. D. Lusiana dan M. Mahmudi, *ANOVA untuk Penelitian Eksperimen: Teori dan Praktik dengan R*. Universitas Brawijaya Press, 2021.
- [22] M. Alassaf dan A. M. Qamar, "Improving Sentiment Analysis of Arabic Tweets by One-way ANOVA," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 6, hlm. 2849–2859, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.10.023.