

# USULAN PERBAIKAN SISTEM PELAYANAN DI GERBANG TOL PASTEUR BERDASARKAN MODEL SIMULASI

Ignatius Andree<sup>1</sup>, Alfian<sup>2</sup>, Cynthia Prithadevi Juwono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan  
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 41041  
Email: alfian.tan@unpar.ac.id

## Abstrak

*Tol Pasteur merupakan jalan tol di Kota Bandung yang menghubungkan Tol Purbaleunyi dengan Kota Bandung. Terdapat gerbang tol keluar dan gerbang tol masuk yang masing-masing melayani pengendara yang berasal dari Tol Purbaleunyi dan yang akan menuju Tol Purbaleunyi. Proses yang terjadi pada gerbang tol keluar adalah pembayaran jasa tol ke operator, sedangkan pada gerbang tol masuk terdapat aktivitas pengambilan tiket yang dilayani oleh mesin otomatis. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, terdapat antrian panjang yang selalu terjadi pada gerbang tol masuk dan keluar di saat akhir pekan. Hal ini mengakibatkan waktu tunggu pengendara yang cukup lama di dalam antrian dan tersendatnya lalu lintas di simpang empat Pasteur yang mengakibatkan kemacetan. Banyak keluhan yang muncul tidak hanya dari pengguna tol tetapi juga dari masyarakat yang kebetulan melalui simpang empat jalan Pasteur. Keadaan seperti ini tentunya perlu diperbaiki. Bekerjasama dengan PT Jasa Marga, dilakukan penelitian untuk mencari solusi permasalahan yang dihadapi. Metode dalam studi simulasi yang dimulai dari pengamatan terhadap sistem pelayanan tol, pemodelan konseptual sistem pelayanan di gerbang tol, pembangunan model simulasi, dan eksperimen menggunakan model simulasi akan dilakukan untuk menentukan alternatif perbaikan apa saja yang akan diusulkan bagi sistem pelayanan di gerbang Tol Pasteur ini.*

**Kata kunci :** Tol, Antrian, Kemacetan, Simulasi.

## I. PENDAHULUAN

Jalan tol merupakan infrastruktur transportasi yang disediakan untuk menunjang kelancaran transportasi masyarakat. Jalan tol sering disebut sebagai jalan bebas hambatan, oleh sebab itu sudah seharusnya jalan tol memberikan kenyamanan ini kepada setiap masyarakat yang menggunakannya. Namun pada kenyataannya tidak selalu demikian. Masih ada saja hambatan-hambatan yang dirasakan masyarakat pengguna jalan tol seperti kemacetan akibat kerusakan jalan atau antrian panjang saat hendak keluar atau masuk jalan tol. Salah satu jalan tol yang diamati dan sekaligus menjadi objek penelitian ini adalah jalan Tol Purbaleunyi dan secara lebih spesifik adalah Tol Pasteur. Jalan tol Purbaleunyi merupakan jalan tol yang menghubungkan Purwakarta, Bandung, dan Cileunyi yang terbentang sepanjang 123 km. Berdasarkan survei yang dilakukan oleh pihak Jasa Marga selaku pengelola jalan tol terhadap 1400 responden, terdapat 11% pengguna jalan tol Purbaleunyi yang menilai bahwa kualitas layanan tol Purbaleunyi masuk ke dalam kategori “Kurang” dan “Sangat Kurang” (Jasa Marga, 2012). Hasil survei yang dilakukan pada tahun 2012 ini mendorong PT Jasa Marga untuk terus memperbaiki kualitas layanannya.

Salah satu aspek pelayanan yang menjadi masalah adalah waktu menunggu pengendara pada gerbang tol masuk dan keluar. Tol Pasteur merupakan salah satu jalan masuk ke kota Bandung bagi para pengguna Tol Purbaleunyi. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, sering terjadi antrian panjang pada gerbang tol masuk dan keluar Tol Pasteur di akhir pekan. Antrian panjang ini mengakibatkan lamanya waktu pengguna tol untuk bisa keluar ke Bandung, selain itu antrian pada gerbang tol masuk seringkali memanjang hingga mencapai simpang empat Jalan Pasteur (persimpangan Jalan Dr Junjuran-Jalan Prof. Drg. Surya Sumantri) sehingga mengakibatkan kemacetan di persimpangan jalan tersebut. Hal ini sangat mengganggu tidak hanya kenyamanan pengguna jalan tol tetapi juga masyarakat pengguna jalan utama.

Data jumlah transaksi yang terjadi di Tol Pasteur dari tahun 2011 hingga 2013 menunjukkan peningkatan yang signifikan yaitu dari 10,8 juta transaksi di tahun 2011 menjadi 11.5 juta transaksi di tahun 2013. Meningkatnya jumlah pengguna jalan Tol Pasteur yang terlihat dari peningkatan jumlah transaksi ini meningkatkan urgensi perbaikan pelayanan di gerbang Tol Pasteur. Seperti yang telah disinggung sebelumnya, peningkatan jumlah pengguna Tol Pasteur dan masalah antrian serta

kemacetan utamanya terjadi pada akhir pekan. Berdasarkan data yang didapatkan dari pihak PT Jasa Marga, diketahui bahwa arus lalu lintas tertinggi di gerbang tol masuk (meninggalkan Bandung) terjadi pada Minggu pk 13.30 hingga pk 17.30 sedangkan pada gerbang tol keluar (menuju Bandung) level tertinggi terjadi pada Sabtu pk 09.30 hingga pk 13.30. Masalah yang terjadi pada rentang-rentang waktu tersebut adalah yang terburuk dimana panjang antrian di gerbang keluar bisa mencapai 3000 m dan di gerbang masuk antrian terjadi hingga menutup persimpangan jalan Pasteur.

Berdasarkan masalah yang terjadi, penelitian ini dilakukan untuk mengusulkan solusi-solusi masalah pelayanan di gerbang Tol Pasteur pada jam-jam puncak arus kendaraan tersebut. Ukuran performansi sistem pelayanan yang digunakan adalah jumlah kendaraan dalam sistem dan jumlah kendaraan yang mengantri untuk masuk ke dalam sistem. Sistem yang dimaksud dalam penelitian ini adalah sistem pelayanan pada gerbang tol masuk dan keluar Tol Pasteur. Model simulasi akan digunakan untuk membantu proses pembelajaran sistem pelayanan Tol Pasteur sehingga dapat diketahui solusi-solusi yang tepat untuk perbaikan sistem tersebut. Model simulasi dipilih sebagai alat bantu dalam penelitian karena cara ini dianggap lebih baik dalam mewakili kejadian-kejadian dinamis dalam sebuah sistem dibandingkan cara analitis (Law and Kelton, 2000).

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem

Dalam Simatupang (1995), sistem didefinisikan sebagai suatu kumpulan objek yang saling berkaitan dan saling bergantung secara tetap untuk mencapai tujuan bersama dalam suatu lingkungan yang kompleks. Dellenbach dan McNickle (2005) pun memberikan definisi formal konsep sistem sebagai kumpulan komponen-komponen yang terorganisir dan memiliki kontribusi terhadap tujuan sistem. Banyak sistem yang dipelajari atau dijumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti sistem tata surya, sistem informasi, sistem komunikasi, sistem antrian, dan lain-lain. Di dalam setiap sistem tersebut terdapat entitas yang saling berinteraksi. Sebagai contoh, dalam antrian sebuah bank terdapat sejumlah nasabah yang masuk ke dalam sistem dan terdapat sejumlah *teller* yang melayani nasabah. Dalam sistem antrian bank terdapat juga aturan-aturan yang harus dipatuhi oleh nasabah seperti pemisahan pelayanan nasabah berdasarkan nominal uang yang akan ditransaksikan. Entitas-entitas dan aturan dalam sistem berinteraksi sehingga menghasilkan sistem antrian yang sedemikian rupa. Simatupang (2004) menyebutkan juga bahwa ciri sebuah sistem adalah memiliki status. Status didefinisikan sebagai sekumpulan variabel untuk mendefinisikan sistem pada titik waktu tertentu tergantung tujuan studi pada sistem tersebut. Salah satu variabel yang dapat digunakan untuk menggambarkan sistem antrian adalah rataan orang dalam antrian. Semakin baik sistem antrian tersebut sewajarnya semakin sedikit orang yang harus menunggu dalam antrian. Semakin sedikitnya jumlah orang yang mengantri menunjukkan adanya keseimbangan antara laju kedatangan nasabah ke dalam sistem antrian dan laju pelayanan *teller*.

Ciri-ciri lain yang dimiliki sebuah sistem adalah terdapatnya atribut, aktivitas dan kejadian (Simatupang, 2004). Ketiga hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Atribut : sifat yang dimiliki oleh entitas
2. Aktivitas : kegiatan/proses dalam sistem yang dapat mengubah atribut bahkan entitas.
3. Kejadian : peristiwa yang dapat mengubah status dari suatu sistem.

Berdasarkan Daellenbach dan McNickle (2005), hal-hal yang menjadi bahan penyusun sebuah sistem antara lain :

1. Komponen-komponen sistem
2. Interaksi antarkomponen sistem
3. Aktivitas atau sifat sistem
4. Lingkungan yang berhubungan dengan sistem
5. Input yang diterima sistem dari lingkungan
6. Output yang diberikan sistem ke lingkungan
7. Tujuan khusus dari pengamat sistem

Segala hal penyusun sistem yang telah disebutkan di atas sangat mempengaruhi kompleksitas sebuah sistem. Semakin banyak komponen dalam sistem dan interaksi yang terjadi di dalamnya maka akan semakin kompleks sistem tersebut. Selain itu semakin banyak pihak-pihak yang berkepentingan dalam sistem sehingga memiliki tujuan yang berbeda akan membuat sistem semakin kompleks.

#### B. Simulasi

Kompleksitas sebuah sistem akan mempengaruhi pemilihan metode untuk mempelajari sistem tersebut. Seringkali untuk memecahkan sebuah masalah, seseorang membuat sebuah model yang dapat mewakili sistem yang sedang diamati. Menurut Beaverstock et al. (2011), model didefinisikan sebagai gambaran/deskripsi fisik atau matematis tentang suatu objek atau kejadian. Pemilihan penggunaan model sebagai sarana mempelajari sebuah sistem seringkali didasarkan pada pertimbangan biaya yang terlalu tinggi dan sangat mengganggu apabila dilakukan pengamatan dan percobaan langsung pada sistem sebenarnya (Law dan Kelton, 2000). Dalam Law dan Kelton (2000) disebutkan 2 cara yang dapat digunakan untuk menarik informasi dari suatu model yang telah dibangun, yaitu cara analitis dan simulasi. Cara analitis menjadi pilihan apabila model yang dibangun tersebut cukup sederhana, namun pada kenyataannya model suatu sistem nyata seringkali sangat kompleks sehingga metode simulasi menjadi pilihan untuk memperoleh informasi dari model yang dibangun.

Model simulasi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis (Law dan Kelton, 2000), yaitu :

##### 1. Model simulasi statis dan dinamis

Model simulasi statis merupakan model yang merupakan gambaran dari sebuah sistem pada titik waktu tertentu atau model simulasi dimana tidak ada peran variabel waktu di dalamnya. Di sisi lain, model simulasi dinamis merupakan model simulasi yang menggambarkan sistem yang berkembang seiring berjalannya waktu.

##### 2. Model simulasi deterministik dan stokastik

Model simulasi deterministik adalah sebuah model simulasi yang tidak melibatkan kejadian-kejadian acak di dalamnya sedangkan model stokastik adalah model simulasi yang melibatkan kejadian-kejadian acak di dalamnya.

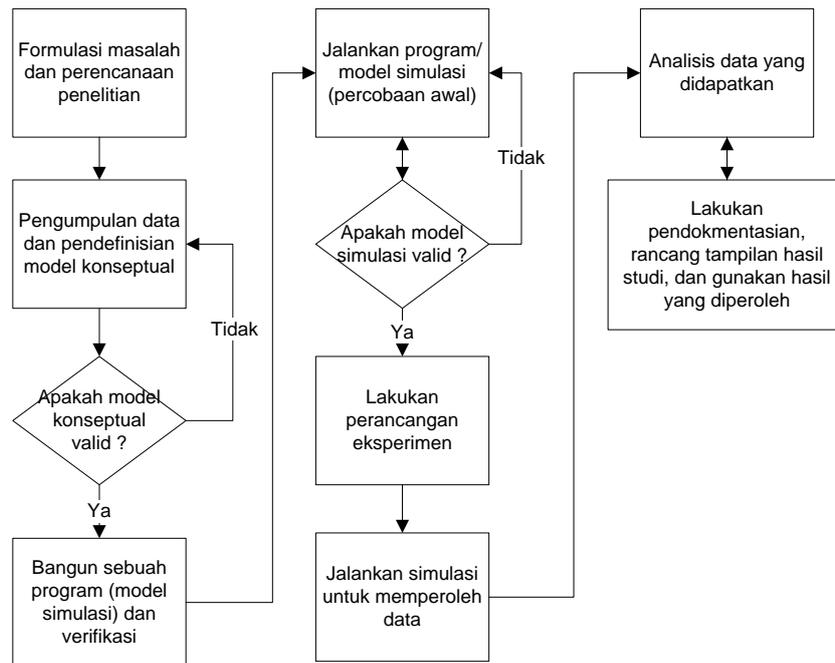
##### 3. Model simulasi kontinu dan diskrit

Model simulasi kontinu merupakan sebuah model simulasi dimana perubahan status sistem terjadi terus menerus sepanjang waktu sedangkan model simulasi diskrit adalah sebuah model simulasi dengan perubahan status sistem yang terjadi hanya pada titik-titik waktu tertentu saja.

Dalam mempelajari suatu sistem melalui model simulasi, diperlukan suatu metodologi yang dapat mendukung tercapainya tujuan yang diinginkan. Terdapat tahap-tahap yang direkomendasikan oleh Law dan Kelton (2000) untuk digunakan dalam studi simulasi yang dilakukan. Tahap-tahap tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

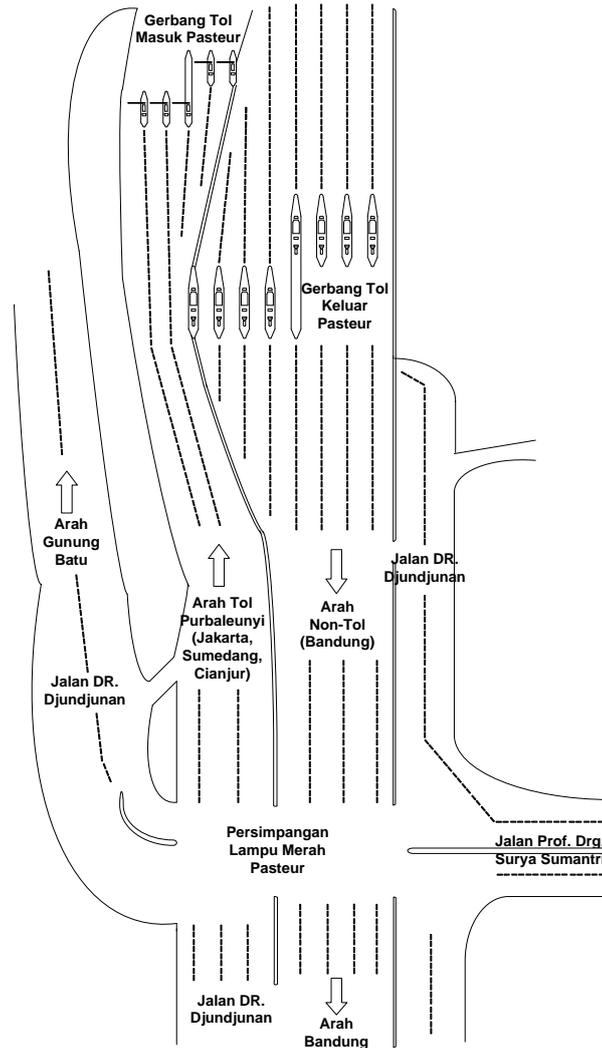
Terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini hingga pada akhirnya diusulkan solusi bagi permasalahan yang dihadapi pihak Jasa Marga di gerbang Tol Pasteur. Tahapan ini dimulai dari pengamatan terhadap kondisi pelayanan di Tol Pasteur, pembuatan model konseptual sistem pelayanan gerbang Tol Pasteur, penerjemahan model konseptual ke dalam model simulasi, validasi model simulasi, dan eksperimen usulan perbaikan sistem menggunakan model simulasi. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan mengadaptasi metodologi penelitian yang direkomendasikan oleh Law dan Kelton (2000).



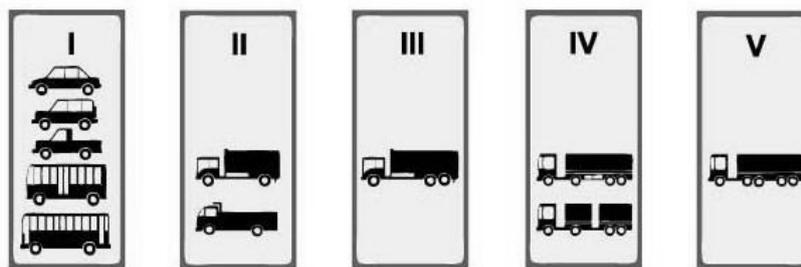
Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Studi Simulasi

A. Pengamatan Sistem Pelayanan Tol Pasteur

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui secara detail kondisi pelayanan dan arus kendaraan yang terjadi di Tol Pasteur. Hasil tahap ini adalah data yang akan digunakan untuk membangun model konseptual sistem. *Layout* jalan tol dan jalan raya yang terdapat di sekitar gerbang Tol Pasteur dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat pada gambar tersebut bahwa terdapat 5 gardu yang melayani pengendara di gerbang masuk sedangkan terdapat 8 gardu yang melayani pengendara di gerbang keluar. Dari pengamatan yang dilakukan, diketahui bahwa gardu-gardu pada gerbang tol masuk merupakan Gerbang Tol Otomatis (GTO) sedangkan gardu-gardu pada gerbang tol keluar merupakan gerbang tol dengan operator. GTO melayani proses pengambilan tiket jalan tol sedangkan operator-operator pada gerbang tol keluar melayani pembayaran jasa penggunaan jalan tol. Terdapat 5 golongan kendaraan berkaitan dengan biaya penggunaan jalan tol dimulai dari golongan I berupa kendaraan sedan, jip, mobil bak terbuka dan sejenisnya hingga golongan V berupa truk besar 5 gandar atau lebih. Gambar 3 mengilustrasikan jenis-jenis kendaraan di setiap golongan. Pengelompokan kendaraan ini dilakukan berdasarkan daya rusak terhadap jalan, sehingga semakin besar daya rusak kendaraan terhadap jalan tol, semakin mahal biaya penggunaan jalan tol yang harus dibayar. Selain penggolongan berdasarkan daya rusak, terdapat penggolongan pelayanan yang dilakukan berdasarkan tinggi kendaraan. Hal ini terlihat dari aturan yang berlaku di setiap gardu di gerbang tol masuk. Pelayanan pada gerbang tol masuk digolongkan berdasarkan tinggi kendaraan, dimana 3 gardu dikhususkan untuk kendaraan dengan tinggi di bawah 2,1 meter, 1 gardu untuk tinggi kendaraan di bawah 2,5 meter, dan gardu terakhir untuk tinggi kendaraan di bawah 5 meter. Berbeda dengan gerbang tol masuk, delapan gardu pada gerbang tol keluar tidak memiliki aturan pelayanan berdasarkan tinggi kendaraan sehingga setiap gardu dapat digunakan oleh semua jenis kendaraan.



Gambar 2. *Layout* Jalan dan Gerbang Tol Pasteur



Gambar 3. Jenis Kendaraan di Tiap Golongan  
(Sumber : Jasa Marga)

Hal lain yang didapatkan dari hasil pengamatan adalah jarak antara gerbang tol masuk dengan persimpangan jalan Pasteur adalah 400 meter. Jarak ini seringkali dilampaui oleh panjang antrian kendaraan di gerbang tol masuk hingga akhirnya menyebabkan kemacetan. Untuk gerbang tol keluar, panjang antrian yang terjadi bervariasi antara 100 m hingga 3 km dengan panjang antrian maksimal yang dimungkinkan adalah 5 km karena apabila terjadi antrian lebih dari 5 km maka pengendara otomatis akan memilih pintu tol lain untuk keluar. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, diketahui bahwa jumlah jalur kendaraan di Tol Pasteur akan semakin banyak seiring mendekati gardu

gerbang masuk ataupun keluar. Hal ini menyebabkan adanya kemungkinan perpindahan jalur dalam arus kendaraan yang menuju gerbang tol. Melalui pengamatan terhadap kondisi arus kendaraan dan sistem pelayanan jalan tol ini, dilakukan pengambilan beberapa jenis data untuk membangun model konseptual. Data tersebut antara lain waktu antar kedatangan kendaraan yang menuju gerbang tol, kecenderungan perpindahan jalur kendaraan, dan waktu pelayanan masing-masing gardu di gerbang tol. Waktu pengambilan ketiga jenis data ini disesuaikan dengan tujuan penelitian yang berfokus pada periode puncak arus kendaraan sehingga ditetapkan bahwa pengambilan data gerbang tol masuk dilakukan pada Minggu pk 14.00-18.00 dan gerbang tol keluar pada Sabtu pk 09.30-13.30. Teknis pengambilan ketiga jenis data tersebut dapat dijelaskan seperti berikut.

#### Waktu Antarkedatangan

Waktu antarkedatangan di gerbang masuk Pasteur didefinisikan sebagai interval waktu antarmobil ketika melewati titik tertentu. Pengambilan data waktu antarkedatangan kendaraan ke jalur masuk tol Pasteur dilakukan pada 50 m setelah lampu merah persimpangan Pasteur. Jarak ini dipilih karena setiap pengendara yang telah melewati titik ini adalah pengendara-pengendara yang dipastikan hendak masuk ke Tol Pasteur. Sebanyak masing-masing 300 data waktu antarkedatangan diambil di setiap jalur masuk tol pada jarak yang telah ditentukan. Waktu antarkedatangan pada gerbang keluar didefinisikan sebagai interval waktu antarmobil mengantri. Sama halnya dengan gerbang tol masuk, dilakukan juga pengambilan data waktu antarkedatangan sebanyak 300 buah di setiap jalur. Waktu antarkedatangan ini diambil di setiap pangkal jalur jalan tol.

#### Waktu Pelayanan Gardu

Waktu pelayanan gardu gerbang tol didefinisikan sebagai waktu antarkendaraan mulai berjalan setelah mengambil tiket atau membayar biaya jasa jalan tol dengan kondisi gardu jalan tol yang selalu terisi oleh pengendara. Dengan pencatatan seperti ini, waktu menganggur (*idle*) tidak akan terhitung sebagai waktu pelayanan. Waktu pelayanan diambil untuk masing-masing gardu. Sebanyak 150 data diambil dari masing-masing gardu ditambah pencatatan data jenis/golongan mobil yang dilayani. Hal ini dilakukan untuk gardu di gerbang tol masuk maupun keluar. Pada penelitian ini tidak melibatkan kendaraan golongan IV dan V karena sangat jarang ditemui.

#### Probabilitas Perpindahan Jalur

Probabilitas perpindahan jalur dilakukan untuk memodelkan perpindahan kendaraan ke jalur-jalur lain ketika kendaraan tersebut menyalip atau mencoba mengambil jalur dengan antrian lebih pendek. Data ini diambil dengan mengamati jumlah kendaraan yang masuk ke sebuah jalur dalam periode waktu tertentu dan berapa jumlah kendaraan yang berpindah dari jalur tersebut ke jalur lainnya.

Untuk meningkatkan kualitas simulasi yang akan dibangun, diambil juga data berupa kecepatan rata-rata kendaraan dan jarak antarkendaraan dalam antrian. Selain data yang telah disebutkan, diambil juga data jumlah kendaraan dalam sistem pelayanan gerbang tol masuk dan keluar. Jumlah kendaraan dalam sistem didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang mengantri ditambah jumlah kendaraan yang sedang menerima pelayanan pada titik waktu tertentu. Dua puluh data jumlah kendaraan di dalam sistem dikumpulkan. Kedua puluh data ini berasal dari pengamatan di 20 titik waktu secara acak yang masih berada dalam rentang waktu pengamatan. Adapun data jumlah kendaraan dalam sistem akan digunakan untuk keperluan validasi model. Data yang telah diperoleh akan melalui proses pengujian yang diperlukan untuk mendapatkan informasi yang akan digunakan dalam pembuatan model konseptual. Proses pengujian yang dilakukan antara lain :

##### 1. Pengujian kecukupan data

Pengujian ini dilakukan terhadap data waktu antarkedatangan, waktu pelayanan, dan jumlah kendaraan dalam sistem. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sejumlah data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk memperoleh estimasi nilai parameter populasi dengan tingkat ketelitian dan keyakinan tertentu dimana tingkat ketelitian dan keyakinan yang digunakan dalam penelitian ini berturut-turut sebesar 10% dan 95%.

## 2. Pengujian perbedaan waktu pelayanan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan rata-rata waktu pelayanan di setiap gardu dan antargolongan kendaraan. Pengujian dilakukan menggunakan *Kruskal Wallis Test* untuk data yang tidak memenuhi asumsi distribusi Normal sementara itu ANOVA akan digunakan untuk data yang memenuhi asumsi tersebut.

## 3. Pengujian distribusi probabilitas

Pengujian distribusi probabilitas dilakukan terhadap data waktu antarkedatangan dan waktu pelayanan. Informasi distribusi probabilitas akan digunakan untuk memodelkan kejadian acak pada simulasi yang akan dilakukan.

## B. Pembuatan Model Konseptual

Pembuatan model konseptual sistem pelayanan gerbang tol membutuhkan input berupa data yang dikumpulkan dari proses pengamatan dan juga informasi yang didapatkan dari hasil pengujian data tersebut. Seperti telah disebutkan dalam tahap sebelumnya, terdapat 3 jenis pengujian yang akan dilakukan. Tahap pengujian kecukupan data dilakukan untuk semua data yang diambil. Dari proses pengujian yang dilakukan, dinyatakan bahwa jumlah data yang diambil telah cukup untuk mencapai tingkat ketelitian dan keyakinan yang diinginkan.

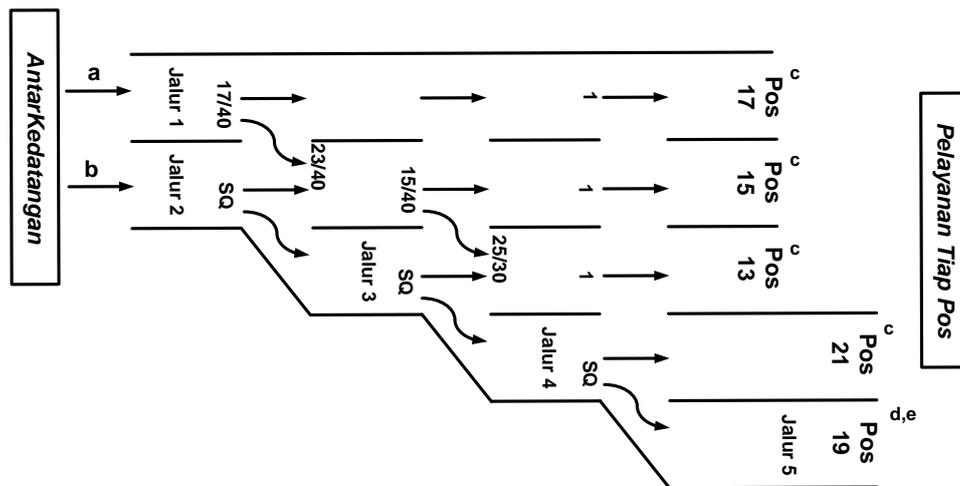
Tahap kedua pengujian dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan karakteristik dari populasi data waktu pelayanan. Kecurigaan muncul karena terdapat gardu-gardu tol yang dikhususkan untuk kendaraan-kendaraan tertentu. Pertama-tama dilakukan pengujian waktu pelayanan terhadap 4 gardu (gardu no 13, 15, 17, dan 21) pada gerbang masuk yang memang bisa melayani mobil-mobil dengan tinggi kurang dari 2,1 atau 2,5 m. Pengujian dilakukan dengan metode *Kruskal Wallis* yang tergolong ke dalam uji *non-parametric*. Uji ini dipilih karena populasi data waktu pelayanan di masing-masing gardu ini tidak mengikuti distribusi Normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan waktu pelayanan antara 4 gardu tersebut. Pengujian dilanjutkan terhadap waktu pelayanan 1 gardu tersisa (gardu no 19) di gerbang tol masuk, dimana gardu ini dapat melayani semua jenis kendaraan karena batasan tinggi maksimum kendaraan yang diberikan adalah 5 meter. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan waktu pelayanan antargolongan kendaraan di gardu ini. Golongan kendaraan yang diuji dibagi menjadi 4 yaitu golongan I bus, golongan I non-bus, golongan II, dan golongan III. Metode *Kruskal Wallis* digunakan untuk menguji waktu pelayanan keempat golongan ini dan diketahui bahwa terdapat perbedaan waktu pelayanan. Proses pengujian berpasangan dilakukan sebagai tahap pengujian lanjutan untuk mengetahui waktu pelayanan golongan kendaraan yang berbeda. *Wilcoxon Rank Sum Test* digunakan untuk pengujian berpasangan waktu pelayanan setiap golongan kendaraan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu pelayanan pada gardu dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu waktu pelayanan golongan I non-bus dan waktu pelayanan golongan I bus-golongan II-golongan III. Pengujian waktu pelayanan pun dilakukan di gerbang keluar berdasarkan golongan kendaraan dan perbedaan gardu pelayanan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan ANOVA karena data waktu pelayanan di gerbang keluar dapat memenuhi asumsi distribusi Normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan waktu pelayanan yang signifikan antara gardu dan golongan kendaraan sehingga tidak perlu dilakukan pengelompokan waktu pelayanan.

Pengujian tahap ketiga adalah pengujian distribusi probabilitas. Pengujian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *ExpertFit* yang akan memberikan beberapa rekomendasi distribusi probabilitas yang sesuai. Waktu antarkedatangan dan waktu pelayanan yang telah dikelompokkan berdasarkan hasil pengujian karakteristik data akan menjadi input untuk proses di tahap ketiga ini. Hasil uji distribusi probabilitas beserta nilai parameter distribusi (*shape*, *scale*, dan *location*) dapat dilihat pada Tabel 1. Waktu pelayanan di gerbang tol keluar sebelumnya telah disebutkan memenuhi asumsi distribusi Normal, namun terlihat pada Tabel 1 bahwa distribusi yang digunakan adalah Beta. Distribusi Beta dipilih sebagai distribusi yang akan digunakan karena distribusi ini merupakan distribusi yang paling sesuai dengan waktu pelayanan tersebut. Walaupun demikian, distribusi Normal memang direkomendasikan juga oleh perangkat lunak—walau bukan yang terbaik—sehingga asumsi pengujian ANOVA pun dianggap terpenuhi.

Tabel 1. Distribusi Probabilitas Waktu AntarKedatangan dan PelayananGerbang Tol (GT)

Keterangan		Distribusi Data(satuan detik)
Waktu Antar Kedatangan GT Masuk	Jalur 1	<sup>a</sup> Pearsons5 (0.151, 6.491, 3.429, 0)
	Jalur 2	<sup>b</sup> Pearsons5 (0.000, 10.818, 5.058, 0)
Waktu Pelayanan GT Masuk	4 gardu (13,15,17,21) golongan I	<sup>c</sup> Loglogistic (3.279, 3.389, 4.985, 0)
	Gardu19 Golongan I non bus	<sup>d</sup> Gamma (4.282, 0.654, 3.627, 0)
	Gardu 19 Golongan II, Golongan III, dan Golongan I bus	<sup>e</sup> Beta (6.070, 19.706, 1.673, 4.960, 0)
Waktu Antar Kedatangan GT Keluar	Jalur 1	<sup>f</sup> Johnsonbounded (1.039, 25.284, 1.962, 0.929, 0)
	Jalur 2	<sup>g</sup> Lognormal2 (1.378, 2.318, 0.906, 0)
	Jalur 3	<sup>h</sup> Johnsonbounded (1.254, 34.846, 2.363, 0.963, 0)
Waktu Pelayanan GT Keluar	Setiap gardu GT Keluar (Gardu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14,16)	<sup>i</sup> Beta (0.0029, 23.495, 5.826, 4.367, 0)

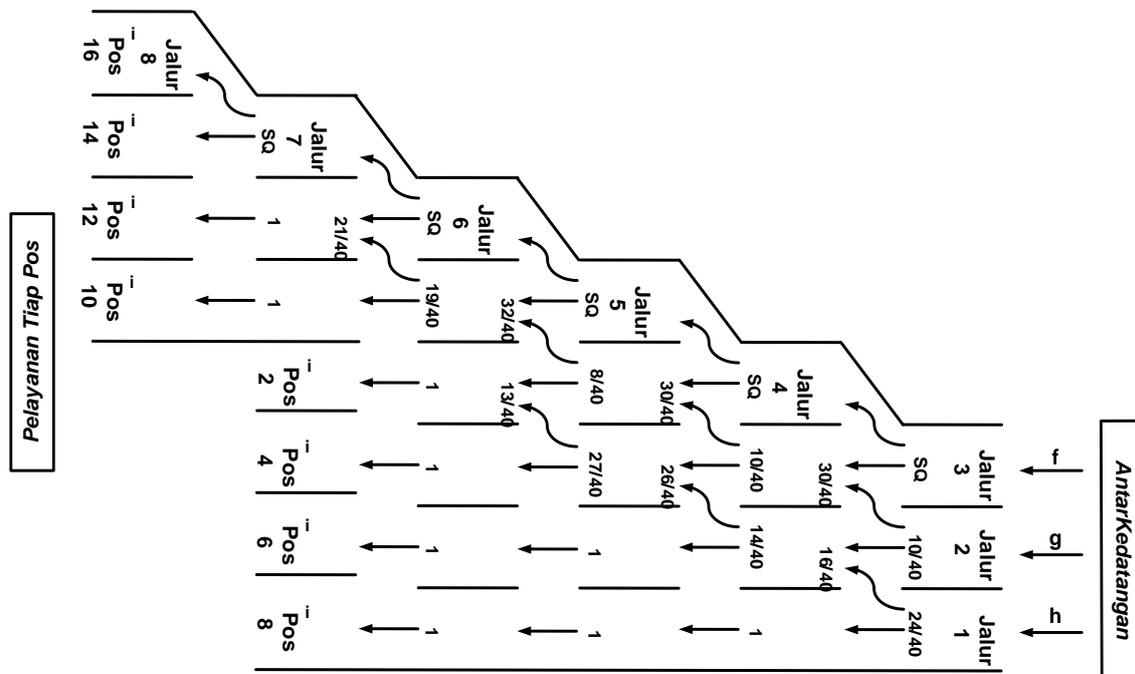
Berdasarkan informasi yang diperoleh dari proses pengumpulan dan pengujian data, dapat dibuat model konseptual sistem pelayanan gerbang tol masuk dan keluar yang melibatkan arus kendaraan di setiap gerbang. Model konseptual dibangun dalam bentuk gambaran aliran arus kendaraan dan proses pelayanan di jalan tol seperti ditunjukkan Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Model Konseptual GT Masuk

Pada kedua gambar ini terlihat aliran kendaraan dengan waktu antarkedatangan dan waktu pelayanan ditandai dengan karakter huruf yang berkaitan dengan Tabel 1. Panjang jalan yang dimodelkan dibatasi sepanjang 400 meter dan 150 meter masing-masing untuk model pada gerbang tol masuk dan gerbang tol keluar. Pembatasan ini disesuaikan dengan masalah yang dihadapi dan keterbatasan kemampuan pengamatan. Pada model konseptual pun terdapat informasi berupa probabilitas perpindahan kendaraan dari 1 jalur ke jalur lain. Adapun aturan perpindahan ada dua jenis yaitu perpindahan dengan probabilitas tertentu dan perpindahan karena mencari jalur dengan jumlah kendaraan paling sedikit (*Shortest Queue-SQ*). Probabilitas perpindahan dapat dicontohkan dengan model pada gerbang tol keluar jalur 1 dimana terdapat peluang sebesar 23/40 sebuah mobil berpindah dari jalur 1 ke jalur 2 dan sisanya tetap memilih jalur 1, sedangkan untuk mobil yang masuk ke jalur 2, hasil pengamatan menunjukkan bahwa mobil-mobil yang masuk di titik awal jalur 2 cenderung memilih lajur yang terlihat lebih kosong sehingga aturan yang digunakan adalah *Shortest Queue*.

Model konseptual yang telah dibangun akan divalidasi sehingga hanya model yang telah sesuai dengan sistem nyata sajalah yang akan diterjemahkan ke dalam model simulasi. Proses validasi model konseptual ini dilakukan dengan melakukan konfirmasi ke pihak Jasa Marga. Poin-poin model yang diperhatikan dalam proses validasi ini adalah waktu pengambilan data untuk model tersebut, waktu pelayanan yang didapatkan, waktu antarkedatangan mobil, serta jarak jalan tol yang dimodelkan. Berdasarkan diskusi dengan pihak Jasa Marga maka model konseptual yang dibangun dianggap telah mewakili keadaan jalan tol pada saat puncak arus kendaraan di akhir pekan.



Gambar 5. Model Konseptual GT Keluar

C. Penerjemahan Model Konseptual

Model konseptual yang telah dibangun akan diterjemahkan ke dalam sebuah model simulasi. Model simulasi akan dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Flexsim. Flexsim merupakan perangkat lunak yang berfokus pada simulasi diskrit dan diklaim memiliki keunggulan dari segi penggunaan dan arsitektur program dibandingkan bahasa simulasi umumnya (Beaverstock et al., 2011). Terdapat beberapa objek dalam Flexsim yang akan digunakan untuk memodelkan sistem pelayanan di gerbang tol Pasteur. Objek-objek yang dimaksud beserta fungsinya adalah sebagai berikut :

1. *Flow item*

*Flowitem* merupakan entitas yang masuk ke dalam sistem, mengalami proses, dan akhirnya keluar dari sistem. Entitas yang dimaksud dalam sistem pelayanan gerbang Tol Pasteur adalah mobil. Jenis *flowitem* yang dipilih untuk digunakan dalam model simulasi adalah *box* yaitu objek berbentuk balok dengan pengaturan panjang balok disesuaikan dengan asumsi panjang rata-rata kendaraan yaitu 4,5 meter.

2. *Source*

*Source* adalah objek yang digunakan untuk menghasilkan *flowitem* yang akan masuk ke dalam sistem. Karakteristik objek *source* yang diatur dalam permasalahan gerbang tol ini, antara lain waktu antarkedatangan *flowitem* dan jumlah *flowitem* yang dihasilkan setiap titik-titik waktu tertentu. Adapun sejumlah *source* digunakan untuk memodelkan datangnya mobil pada titik masuk jalan tol yaitu pada jarak 150 meter dan 400 meter masing-masing dari gerbang keluar dan gerbang masuk. Beberapa *source* pun digunakan untuk menghasilkan sejumlah *flowitem* sekaligus pada titik waktu awal simulasi. Hal ini dilakukan untuk memodelkan keadaan awal

sistem pelayanan dan arus kendaraan jalan tol pada titik waktu awal pengamatan yaitu pada pk 09.30 dan 14.00 masing-masing di gerbang keluar dan gerbang masuk. Cara seperti ini dilakukan untuk mempercepat kondisi model simulasi mencapai keadaan yang menyerupai keadaan awal sistem sebelum akhirnya dilakukan pengambilan data dari model simulasi yang dibuat.

3. *Sink*

*Sink* adalah objek yang digunakan untuk menampung *flowitem* yang keluar dari sistem. Sesuai dengan pengertiannya, maka dalam model simulasi jalan tol, objek ini digunakan untuk menampung *flowitem* yang mewakili mobil setelah melalui proses pelayanan di setiap gardu. Tidak ada konfigurasi objek yang diatur secara spesifik untuk objek ini.

4. *Conveyor*

*Conveyor* adalah sebuah objek yang berfungsi memindahkan *flowitem* dari satu posisi ke posisi lainnya. Objek ini digunakan untuk memodelkan jalanan tol sebelum masuk ke setiap gardu. *Conveyor* dipilih sebagai objek untuk memodelkan jalanan tol karena objek ini memiliki karakteristik yang mengakomodasi keadaan jalan tol. Karakteristik yang diatur dalam objek ini antara lain kecepatan jalan *conveyor* yang digunakan untuk memodelkan laju kendaraan di jalan, panjang *conveyor* yang digunakan untuk memodelkan panjang jalan tol, dan jarak antarobjek dalam *conveyor* yang digunakan untuk memodelkan jarak antarmobil di jalan tol ketika mengantri. Adapun penggunaan *conveyor* ini diatur sedemikian rupa sehingga tidak hanya 1 *conveyor* yang digunakan untuk mewakili jalan tol sepanjang 150 dan 400 meter tetapi digunakan beberapa *conveyor* yang lebih pendek namun dengan panjang total yang sesuai dengan panjang jalan tol di gerbang masuk dan keluar. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pemodelan kejadian perpindahan kendaraan dari satu jalur ke jalur lain. Proporsi perpindahan *flowitem* diatur sesuai dengan data yang didapatkan.

5. *Queue*

*Queue* merupakan objek yang digunakan untuk menampung *flowitem* sementara waktu sebelum dikirimkan ke proses selanjutnya. Objek *Queue* digunakan pada model jalan Tol Pasteur di titik masuk jalan tol tepat setelah peletakan objek *source*. *Queue* akan digunakan untuk menampung *flowitem* untuk sementara waktu apabila *flowitem* tidak dapat masuk ke jalan tol yang dilambangkan dengan *conveyor*. Kemungkinan tersendatnya *flowitem* sehingga tidak dapat masuk ke *conveyor* disebabkan oleh penuhnya kapasitas *conveyor* merupakan representasi keadaan nyata dimana antrian kendaraan di gerbang tol masuk dan keluar yang sangat panjang melebihi 150 meter di gerbang keluar dan 400 meter di gerbang masuk. Kondisi *Queue* ini menjadi salah satu indikator performansi sistem yang akan diamati dalam model.

6. *Processor*

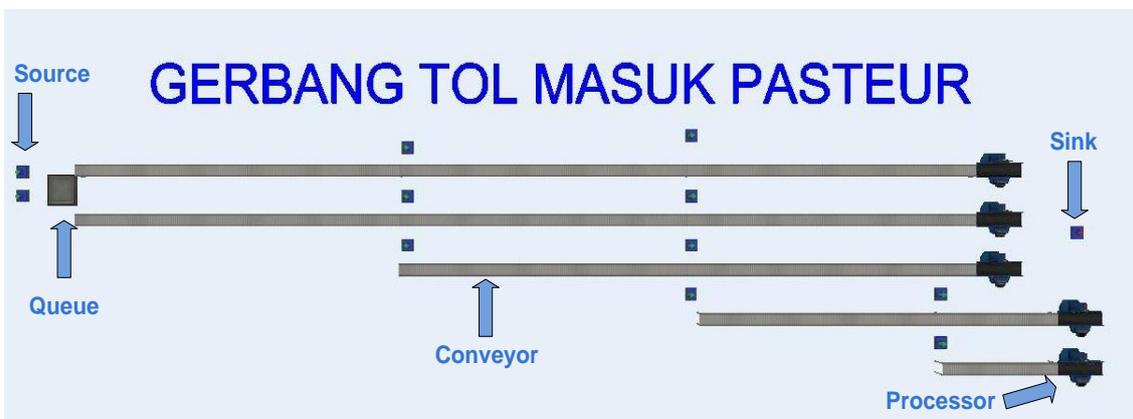
*Processor* merupakan objek yang digunakan untuk memberikan waktu tunggu kepada *flowitem* sebelum dipindahkan ke posisi lain. Objek ini digunakan untuk memodelkan pemrosesan yang dialami *flowitem*. Dalam model simulasi ini, *processor* digunakan untuk memodelkan gardu-gardu pelayanan di gerbang tol masuk dan keluar. Karakteristik *processor* yang diatur dalam model simulasi adalah waktu proses sesuai dengan hasil pengujian data dan kapasitas *processor* dalam menampung *flowitem* di 1 waktu tertentu yaitu sebanyak 1 unit. Adapun gardu yang melayani lebih dari 1 golongan kendaraan dengan waktu yang berbeda-beda yaitu gardu 19 pada gerbang tol masuk dimodelkan dengan 1 buah *processor* namun dengan pengondisian waktu proses berdasarkan proporsi kategori waktu pelayanan. Berdasarkan informasi dari data yang dikumpulkan, dilakukan pengaturan proporsi sebesar 62,7% untuk penerapan distribusi waktu pelayanan kendaraan golongan I non bus dan 37,3% penerapan distribusi waktu pelayanan kendaraan golongan I bus-golongan II-golongan III.

Objek nomor 2 hingga nomor 6 yang telah dijelaskan di atas digolongkan ke dalam *fixed resource* dimana objek-objek tersebut berfungsi sebagai poin-poin tempat *flowitem* akan mengalir. Untuk memungkinkan aliran *flowitem* antar*fixed resource* dibangunlah koneksi aliran *flowitem* antarobjek menggunakan *input-output port connection*. Logika aliran pengiriman *flowitem* di setiap *port* objek yang terhubung diatur dalam setiap objek yang terlibat, sebagai contoh adalah proporsi

pengiriman *flowitem* yang telah dipaparkan sebelumnya di objek *conveyor*. Gambar 6 dan 7 merupakan tampilan model simulasi gerbang tol masuk dan keluar yang telah dibangun.



Gambar 6. Model Simulasi 1



Gambar 7. Model Simulasi 2

#### D. Validasi Model Simulasi

Agar sebuah model dapat digunakan, maka model tersebut harus dapat merepresentasikan dengan baik kondisi sistem yang sebenarnya. Proses validasi merupakan proses yang bertujuan melakukan konfirmasi kemampuan model mewakili sistem yang sesungguhnya. Model simulasi gerbang Tol Pasteur akan divalidasi dengan melihat rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem. Jumlah kendaraan dalam sistem adalah salah satu jenis data yang didapatkan dari proses pengamatan terhadap sistem nyata. Banyak data jumlah kendaraan dalam sistem di gerbang tol masuk dan keluar yang dicatat adalah 20 buah. Data ini akan dibandingkan dengan data hasil simulasi. Model simulasi yang telah dibuat akan dijalankan selama rentang waktu puncak arus kendaraan di tol. Perekaman data untuk proses validasi dilakukan sejak model simulasi mencapai kondisi yang sama dengan kondisi awal sistem nyata pada batasan waktu permasalahan yang dimodelkan yaitu pukul 09.30 dan 14.00 masing-masing untuk gerbang keluar tol dan gerbang masuk tol. Berdasarkan pengamatan terhadap kondisi model simulasi, waktu yang dibutuhkan bagi model simulasi untuk mencapai kondisi yang sama dengan kondisi awal sistem adalah selama 20 detik. Waktu ini disebut sebagai *warm up time*. Beberapa objek *source* digunakan untuk secara sengaja mendatangkan sejumlah *flowitem* ke dalam sistem saat simulasi dijalankan (waktu simulasi = 0) sehingga membantu mempercepat tercapainya kondisi awal sistem.

Sama halnya dengan proses pengujian data awal, perlu diketahui berapa replikasi data yang harus diambil dari model simulasi sehingga mampu mencapai tingkat ketelitian dan kepercayaan penelitian sebesar 10% dan 95%. Metode yang digunakan untuk menguji kecukupan replikasi data ini adalah metode *sequential procedure* (Law dan Kelton, 2000). Berdasarkan metode ini diperlukan data jumlah kendaraan dalam sistem sebesar 11 dan 5 buah masing-masing untuk data di gerbang tol masuk dan keluar. Setelah mendapatkan jumlah data yang cukup, proses validasi dilakukan dengan

pengujian hipotesis 2 sampel saling bebas menggunakan metode t. Pengujian dilakukan untuk kesamaan rata-rata jumlah kendaraan yang berada di gerbang tol masuk dan keluar antara data yang berasal dari model simulasi dan pengamatan. Nilai signifikansi pengujian yang digunakan adalah sebesar 5% sedangkan nilai *p-value* pengujian lebih besar dari nilai signifikansi sehingga disimpulkan bahwa rata-rata jumlah kendaraan pada model simulasi cenderung sama dengan jumlah kendaraan pada sistem sebenarnya. Dengan demikian, model simulasi yang dibuat dinyatakan valid dan dapat digunakan untuk proses observasi dan eksperimen dalam rangka mencari solusi permasalahan yang dihadapi.

#### E. Eksperimen Usulan Perbaikan Sistem

Tahap ini dilakukan untuk menguji sejauh mana usulan-usulan yang diberikan berdampak pada performansi sistem pelayanan di gerbang Tol Pasteur. Konfigurasi sistem usulan akan dimodelkan dengan mengubah konfigurasi model simulasi sistem saat ini. Data performansi yang dihasilkan dari model simulasi sistem sekarang dan usulan akan dibandingkan melalui pengujian hipotesis dengan level signifikansi sebesar 5%. Adapun usulan-usulan yang diberikan untuk perbaikan sistem pelayanan gerbang tol masuk Pasteur adalah penambahan gardu pelayanan yang akan dinamakan gardu 23 dan diletakkan di sebelah gardu 19. Untuk implementasi usulan ini diperlukan pemindahan lokasi gardu 19 dan 21 mundur sejauh 20 meter. Usulan yang kedua adalah memundurkan semua gardu sejauh 300 meter dari lokasi sekarang sehingga tersediajalur yang lebih panjang untuk menampung kendaraan yang menuju gerbang tol masuk Pasteur. Usulan yang diberikan untuk gerbang tol keluar ada 3 buah, yaitu penambahan sebanyak 3 gardu yang akan diletakkan di belakang 3 gardu yang ada sekarang (gardu ganda), perubahan sistem pelayanan manual menjadi otomatis dengan *e-toll* untuk beberapa pos, serta penambahan gardu *e-toll* secara khusus. Usulan ketiga ini akan melibatkan pemindahan 4 gardu reguler yang ada saat ini sejauh 10 meter.

Perubahan konfigurasi model simulasi yang dilakukan antara lain adalah penambahan *processor* dan *conveyor* untuk mewakili usulan penambahan gardu, penggeseran posisi *processor* yang mewakili penggeseran posisi gardu, perubahan waktu proses dalam *processor* yang mewakili perubahan sistem pelayanan manual ke *e-toll*, dan juga pengaturan kembali logika *processor* untuk mewakili usulan pelayanan gardu ganda. Untuk mengubah waktu proses pelayanan manual menjadi *e-toll*, dilakukan pengamatan terhadap gerbang-gerbang tol yang sudah menerapkan sistem ini. Karakteristik waktu berupa distribusi probabilitas pelayanan dengan sistem *e-toll* menjadi input dalam model simulasi sistem usulan. Perubahan logika pelayanan pun dilakukan untuk proses pelayanan gardu ganda dimana dalam proses ini pelayanan dilakukan sekaligus untuk 2 mobil dengan ketentuan mobil yang berada di posisi belakang hanya bisa keluar dari sistem apabila mobil di gardu depan telah selesai dilayani.

Ukuran performansi sistem yang diamati adalah rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem untuk gerbang tol keluar dan rata-rata jumlah kendaraan yang mengantri sebelum masuk ke dalam sistem untuk gerbang tol masuk. Ukuran performansi pada gerbang keluar diasumsikan berbanding lurus dengan waktu kendaraan mengantri seperti yang menjadi permasalahan yang dihadapi, sedangkan ukuran performansi jumlah antrian kendaraan sebelum masuk ke dalam sistem memang sesuai dengan permasalahan pada gerbang masuk yaitu banyaknya mobil yang mengantri di simpang empat Pasteur sehingga mengakibatkan kemacetan. Data rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem dan dalam antrian di sistem usulan akan diambil dari model simulasi sistem usulan. Pengujian kecukupan replikasi dilakukan dengan cara yang sama dengan proses validasi. Dalam proses pengambilan data menggunakan model simulasi sistem usulan, diterapkan *warm up time* yang sama dengan model awal yaitu 20 detik. Pengujian hipotesis dilakukan berpasangan antara performansi sistem awal dengan masing-masing usulan dimana pengujian pada gerbang tol masuk dilakukan dengan *Wilcoxon Rank Sum Test* sedangkan pada gerbang tol keluar digunakan uji t. Perbedaan teknik pengujian ini didasarkan pada terpenuhi tidaknya asumsi yang disyaratkan oleh setiap teknik. Selain itu, prinsip *bonferoni inequality* untuk permasalahan perbandingan jamak (Law dan Kelton, 2000) pun diterapkan dalam pengujian hipotesis. Nilai signifikansi yang digunakan dalam proses pengujian akan dibagi dengan jumlah pengujian yang dilakukan, masing-masing untuk gerbang tol masuk dan keluar. Nilai inilah yang akan dibandingkan dengan nilai batas penarikan kesimpulan dalam uji hipotesis

yang dilakukan. Dari eksperimen dan pengujian yang dilakukan, akan dipilih usulan sistem pelayanan terbaik untuk gerbang tol masuk dan keluar Tol Pasteur.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses simulasi sistem usulan, didapatkan perbandingan statistik data performansi sistem usulan pelayanan gerbang tol masuk dan keluar berturut-turut pada Tabel 2 dan 3. Usulan 1 dan 2 pada Tabel 2 mewakili penambahan gardu dan perpanjangan jalan masuk menuju gerbang tol Pasteur melalui pemindahan kelima gardu yang ada sekarang. Usulan 1 sampai 3 pada Tabel 3 berturut-turut mewakili penggunaan gardu ganda, pengubahan 1 gardu reguler menjadi pos *e-toll*, dan penambahan 1 gardu khusus *e-toll*.

Tabel 2. Jumlah Kendaraan dalam Antrian Simpang Pasteur

Statistik	Sistem Awal	Usulan 1	Usulan 2
Rata-rata (unit)	66,852	0,016	0,762
St. Dev. (unit)	28,778	0,001	2,018

Tabel 3. Jumlah Kendaraan dalam Sistem Gerbang Keluar

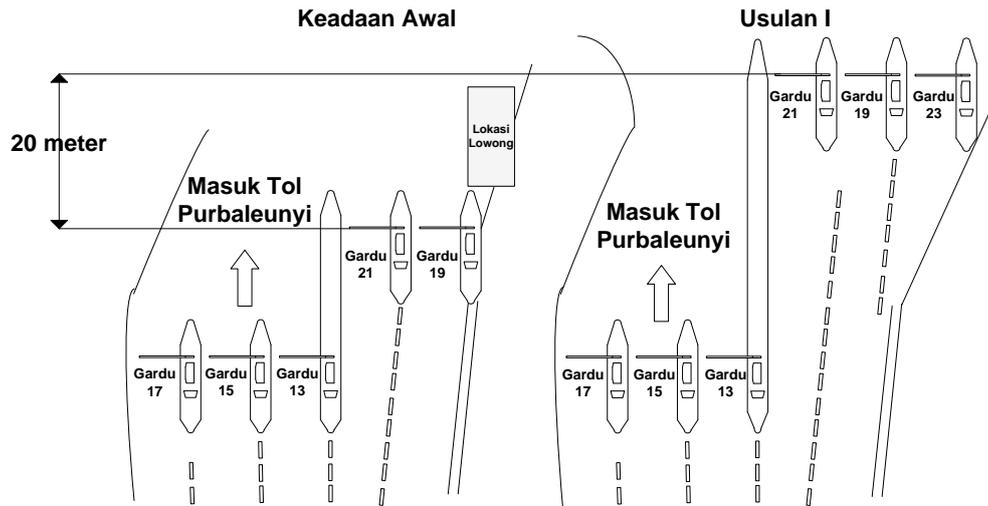
Statistik	Sistem Awal	Usulan 1	Usulan 2	Usulan 3
Rata-rata (unit)	313,61	81,12	411,44	127,9
St. Dev (unit)	15,26	1,2	50,18	1,22

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 terlihat perbedaan statistik yang cukup besar antara performansi setiap usulan dengan sistem awal. Hal ini dikonfirmasi oleh pengujian yang dilakukan dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya dimana terdapat perbedaan performansi yang signifikan antara sistem usulan dengan sistem awal. Pada dasarnya, kelima konfigurasi sistem usulan yang diajukan berkaitan dengan penambahan kapasitas dan peningkatan laju pelayanan. Dari hasil observasi, memang terlihat bahwa terjadi ketidakseimbangan antara laju kedatangan mobil ke gardu tol dan laju pelayanan yang dilakukan sehingga terjadi penumpukan kendaraan. Sedangkan pada gardu masuk, ketidakseimbangan ini mengakibatkan penumpukan kendaraan hingga menutup simpang empat jalan Pasteur.

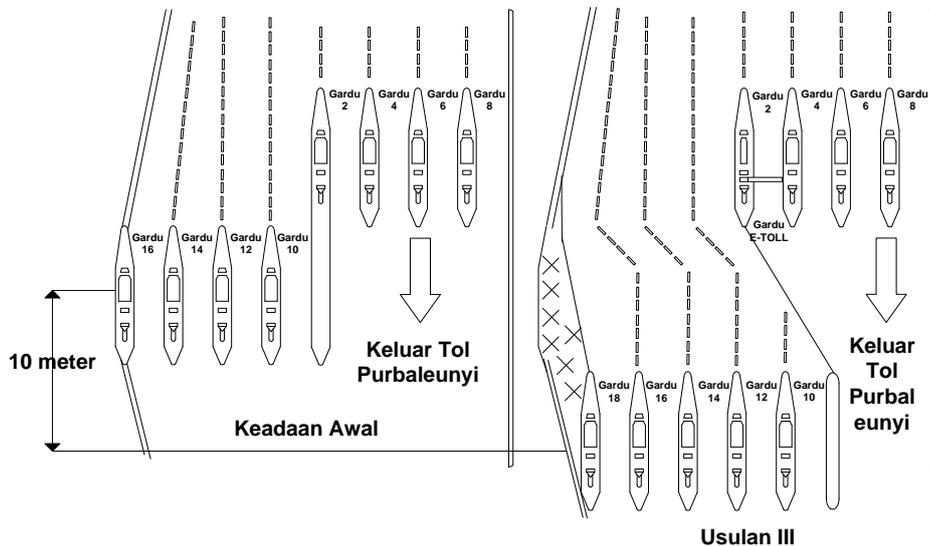
Melihat akar masalah ini, memang usaha yang seharusnya dilakukan adalah peningkatan laju pelayanan. Proses peningkatan laju pelayanan ini dilakukan dengan penambahan gardu pelayanan baik di pintu masuk dan keluar tol, selain itu dilakukan juga pembaruan metode pelayanan dengan *e-toll* yang diharapkan mempersingkat waktu pelayanan. Namun demikian dipertimbangkan juga penambahan kapasitas jalan tol dengan memperpanjang jalan tol masuk melalui menggeser gerbang masuk tol. Hal-hal lain yang dipertimbangkan dalam memberi usulan perbaikan adalah ketersediaan lahan jalan tol. Penambahan gardu diusulkan karena memang masih tersedia lahan kosong yang dapat digunakan PT Jasa Marga. Namun, terdapat beberapa usulan yang perlu melakukan pergeseran gardu sehingga lahan kosong dapat digunakan untuk penambahan gardu baru.

Pemilihan usulan yang paling baik untuk diterapkan didiskusikan dengan pihak Jasa Marga dimana secara umum pilihan usulan yang melibatkan penggeseran gardu pelayanan merupakan usulan yang dianggap sulit untuk diterapkan. Mempertimbangkan hal ini, maka usulan sistem pelayanan di gerbang tol masuk yang menjadi preferensi pihak Jasa Marga adalah penambahan 1 gardubar. Walaupun penerapan usulan ini melibatkan pemindahan lokasi gardu saat ini, namun pemindahan lokasi ini tidak akan melibatkan semua gardu dan tidak membutuhkan jarak perpindahan yang terlalu jauh. Pada gardu keluar gerbang Tol Pasteur, diketahui bahwa usulan terbaik adalah penambahan gardu menjadi sistem gardu ganda. Namun demikian, berdasarkan pengalaman pihak Jasa Marga, utilisasi sistem gardu ganda yang telah diterapkan selama ini hanya 30%. Yang

dimaksud utilisasi sebesar 30% ini adalah hanya sebanyak 30% pengendara yang memilih menggunakan gardu tol kedua untuk melakukan transaksi, sisanya sebanyak 70% memilih gardu terdekat yaitu gardu pertama untuk melakukan transaksi. Berdasarkan fakta ini dilakukan pemodelan pada sistem usulan gardu ganda yang sesuai dengan karakteristik penggunaan gardu di lapangan. Hasil simulasi pada sistem gardu ganda dengan utilisasi 30% ini menunjukkan bahwa rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem di pintu keluar tol adalah 138,65 unit. Apabila dibandingkan dengan sistem usulan ketiga, performansi usulan gardu ganda (usulan 1) menjadi lebih buruk. Hal inilah yang membuat preferensi pihak Jasa Marga akhirnya jatuh pada usulan ketiga yaitu penambahan 1 gardu dengan layanan *e-toll* dengan konsekuensi penggeseran posisi 4 gardu sejauh 10 meter. Adapun gambaran *layout* sistem usulan apabila diterapkan dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 berikut.



Gambar 8. Layout Perbandingan Keadaan Awal dan Usulan Gerbang Tol Masuk



Gambar 9. Layout Perbandingan Keadaan Awal dan Usulan Gerbang Tol Keluar

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Model simulasi merupakan alat yang dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan sistem yang cukup kompleks. Karakteristik arus kendaraan jalan tol dan sistem pelayanan transaksi di gerbang jalan tol merupakan keadaan yang cukup kompleks sehingga penyelesaian dengan cara simulasi menjadi pilihan dibandingkan penyelesaian secara analitis. Model

simulasi yang dibangun tentunya harus dapat mewakili keadaan sistem nyata yang dikonfirmasi melalui proses validasi. Pada penelitian ini proses validasi dilakukan dengan menguji salah satu karakteristik yang dapat diamati dari sistem yaitu rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem. Kualitas kesimpulan validitas sebuah model simulasi ini dapat lebih ditingkatkan dengan tidak hanya melihat 1 karakteristik sistem namun ditambah dengan karakteristik-karakteristik lainnya yang memang dihasilkan dari interaksi antarobjek dalam sistem.

Model simulasi yang dinyatakan valid digunakan untuk menguji konfigurasi sistem usulan untuk memperkirakan performansi sistem usulan apabila diterapkan pada keadaan sebenarnya. Namun demikian, preferensi sistem usulan untuk gerbang tol pada akhirnya tidak hanya melihat ukuran performansi sistem namun juga batasan-batasan yang dimiliki pemilik masalah yaitu PT Jasa Marga. Batasan-batasan yang dipertimbangkan antara lain ketersediaan lahan dan besarnya usaha (biaya, tenaga manusia, dll) yang harus dikeluarkan pihak Jasa Marga untuk menerapkan usulan yang diberikan.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jasa Marga, 2012, *Hasil Presentase Survey Pemantauan Kepuasan Pelanggan edisi 1*, Bandung.
- [2] Law, A.M. dan Kelton, W.D., 2000, *Simulation Modeling and Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed., The McGraw-Hill Companies Inc., Singapura.
- [3] Simatupang, T.M., 1995, *Pemodelan Sistem*, Nindita, Klaten.
- [4] Daellenbach, H.G. dan McNickle, D.C., 2005, *Management science: Decision Making through Systems Thinking*, Palgrave MacMillan, New York.
- [5] Beaverstock M., Greenwood, A., Lavery, E., dan Nordgren, W., 2011, *Applied Simulation Modeling and Analysis using Flexsim*, Flexsim Software Products, Inc., Orem, UT, USA.

