

Solusi Kemacetan Lalu Lintas Kota Bandung Melalui Pemerataan Arus Kendaraan

Erwin Harahap^{a,1}, Zhara Aditya^{a,2}, Farid Badruzzaman^{b,3}, Yusuf Fajar^{a,4}, Agnia Bastia^{a,5},
Syahrul Zein^{a,6}, Abdul Kudus^{c,7}

^aProgram Studi Matematika Universitas Islam Bandung, Jalan Ranggagading No. 8, Bandung 40116, Indonesia

^bSekolah Tinggi Ilmu Ekonomi STEMBI Bandung, Jalan Buah Batu No.26, Bandung 40262, Indonesia

^cProgram Studi Statistika Universitas Islam Bandung, Jalan Ranggagading No. 8, Bandung 40116, Indonesia

¹erwin2h@gmail.com; ²zharazaditya@gmail.com; ³hirjifarid@gmail.com; ⁴myusuffajar@gmail.com;

⁵agnia.bastia@gmail.com; ⁶syahruls.zein@gmail.com; ⁷abdul.kudus@unisba.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel

Diterima : 27 November 2021

Direvisi : 17 Februari 2022

Diterbitkan : 15 April 2022

Kata Kunci:

Transportasi

Pemodelan

Simulasi

Teori Antrian

SimEvents

MATLAB Simulink

ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan yang menghambat berbagai kegiatan masyarakat, khususnya di Kota Bandung. Terdapat banyak sekali kerugian yang dialami karena kemacetan, diantaranya adalah waktu, biaya, polusi udara, pemborosan bahan bakar, dan lain-lain. Penyebab umum kemacetan adalah karena arus kendaraan berkumpul pada satu jalur tertentu. Pada artikel ini diusulkan salah satu metode untuk menurunkan tingkat kemacetan lalu lintas di Kota Bandung, yaitu melalui pemerataan arus kendaraan. Titik awal objek penelitian ini adalah Jalan Jakarta, Kota Bandung, yang merupakan salah satu jalan terpadat dengan volume kendaraan terbanyak. Setiap jam dilewati oleh rata-rata 8.565 kendaraan sedangkan kapasitas jalan hanya menampung sebanyak 5.675 kendaraan. Pemerataan arus kendaraan ditunjukkan melalui simulasi menggunakan aplikasi SimEvents MATLAB. Model aplikasi simulator disusun berdasarkan pada prinsip-prinsip didalam Teori Antrian. Penerapan metode pemerataan arus kendaraan dapat menurunkan tingkat kepadatan lalu lintas hingga 80%, juga mengurangi panjang antrian, dan waktu menunggu kendaraan di dalam antrian.

2022 SAKTI – Sains, Aplikasi, Komputasi dan Teknologi Informasi.

Hak Cipta.

I. Pendahuluan

Kemacetan merupakan salah satu permasalahan umum di Kota Bandung serta dapat menghambat berbagai kegiatan masyarakat. Banyak kerugian yang akan dialami, salah satunya adalah kerugian waktu dan biaya. Total kerugian secara ekonomi akibat kemacetan lalu lintas di Kota Bandung mencapai Rp 4,36 Triliun per tahun [1]. Selain itu, transportasi di Kota Bandung juga telah menyebabkan dampak secara lingkungan maupun sosial. Sektor transportasi memberi kontribusi lebih dari 66,34 persen emisi gas buang Kota Bandung sementara jumlah kecelakaan lalu lintas terus meningkat hingga 22,37 persen per tahun. Biaya sosial akibat kemacetan di Kota Bandung mencapai Rp 1,2 Triliun atau Rp 1,8 miliar per hari pada tahun 2002 [1]. Berdasarkan data Dinas Perhubungan Kota Bandung tahun 2012, Jalan Jakarta merupakan jalan terpadat dengan volume kendaraan terbanyak. Jalan Jakarta dilewati oleh rata-rata 8.565 satuan mobil penumpang tiap jam, sedangkan kapasitas jalan hanya menampung sebanyak 5.675 satuan mobil penumpang per jam [2].

Berbagai macam solusi untuk mengurai kemacetan telah dilakukan pemerintah maupun instansi terkait, diantaranya adalah menaikan pajak kendaraan, membuat sistem transportasi umum yang terintegrasi, membangun jalan layang, memperlebar jalan, merelokasi pedagang kaki lima (PKL) di sekitar titik macet, merencanakan lalu lintas dengan jalan satu arah dan lainnya. Menaikan pajak kendaraan berkaitan dengan kebijakan pemerintah, kepentingan ekonomi, dan dampak sosial lainnya. Demikian pula halnya dengan membuat sistem transportasi yang terintegrasi dan merelokasi PKL, diperlukan kerja sama dengan lembaga terkait seperti Organisasi Angkutan Darat (Organda) dan koordinasi dengan pemerintah setempat.

Rekayasa lalu lintas merupakan solusi yang dapat dilakukan dengan cepat. Biaya yang diperlukan tidak sebesar membangun jalan layang atau memperlebar jalan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk rekayasa lalu lintas adalah metode pemerataan arus kendaraan (*load balancing*). *Load balancing* adalah sebuah teknik mendistribusikan beban traffic pada dua jalur atau lebih sehingga didapatkan beban yang

seimbang [3-4]. Load balancing biasa digunakan pada jaringan data komputer. Pada paper ini, diterapkan metode *load balancing* untuk rekayasa lalu lintas jalan raya. Simulasi lalu lintas dilakukan menggunakan toolbox SimEvents [5-13] pada perangkat lunak MATLAB Simulink [14]. Volume kendaraan dan kapasitas jalan digunakan sebagai input dalam model simulasi.

II. Material dan Metode

A. Kemacetan dan Rekayasa Lalu Lintas

Kemacetan lalu lintas adalah kondisi dimana arus lalu lintas yang melewati pada ruas jalan tertentu melebihi kapasitas dari rencana jalan tersebut. Kondisi ini mengakibatkan kecepatan bebas ruas jalan mendekati 0 km/jam sehingga menyebabkan terjadinya antrian [15]. Kemacetan dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah terbatasnya sarana prasarana lalu lintas, penambahan transportasi yang melebihi kapasitas, tingginya aktivitas ekonomi masyarakat, kurangnya penegakan disiplin lalu lintas, serta tata ruang kota yang belum dikelola dengan baik [16]. Berbagai macam solusi untuk mengurai kemacetan sudah dilakukan pemerintah maupun instansi terkait, diantaranya adalah menaikkan pajak kendaraan, membuat sistem transportasi umum yang terintegrasi, membangun jalan layang, memperlebar jalan, merelokasi pedagang kaki lima (PKL) di sekitar titik macet, merekayasa lalu lintas dengan jalan satu arah dan lainnya.

Lalu lintas didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di Ruang Lalu Lintas Jalan, sedang yang dimaksud dengan Ruang Lalu Lintas Jalan adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan atau barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung [17]. Arus lalu-lintas adalah sebuah proses stokastik, dengan variasi-variasi acak dalam hal karakteristik kendaraan dan karakteristik pengemudi serta interaksi diantara keduanya [18]. Tiga karakteristik primer dalam teori arus lalu lintas yang saling terkait yaitu volume, kecepatan, dan kepadatan [19]. Volume adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan pada periode waktu tertentu, diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu [18]. Terdapat tiga pendekatan utama untuk memahami dan menghitung arus lalu lintas. Pendekatan pertama adalah pendekatan makroskopis yang melihat arus lalu lintas secara keseluruhan. Didasarkan pada analogi fisik seperti arus panas dan arus fluida, pendekatan makroskopis adalah pendekatan yang paling tepat untuk mempelajari fenomena arus dalam keadaan stabil dan paling baik menjelaskan efisiensi operasional keseluruhan dari sistem. Pendekatan kedua adalah pendekatan mikroskopis yang melihat respon dari setiap kendaraan secara terpisah-pisah. Kombinasi pengemudi dan kendaraan individu dikaji, seperti dalam pergerakan kendaraan. Pendekatan ini digunakan secara luas dalam upaya pengamanan jalan raya. Pendekatan ketiga adalah pendekatan faktor manusia. Pendekatan ini mendefinisikan mekanisme seorang pengemudi menempatkan dirinya terhadap kendaraan lain dan jalan raya atau sistem pengarah lainnya. Penelitian pada skripsi ini dilakukan dengan pendekatan makroskopis [18].

Kinerja lalu lintas perlu dikaji untuk mengatur pola lalu lintas. Pada MKJI (1997) dinyatakan bahwa parameter yang menerangkan kondisi operasional dari fasilitas lalu lintas seperti yang dinilai oleh pembina jalan bisa dinyatakan dalam kapasitas (C), derajat kejenuhan (DS), kecepatan rata-rata (V), waktu tempuh (TT), tundaan (D), peluang antrian (QP), panjang antrian atau rasio kendaraan terhenti atau pula kombinasi dari syarat yang ada [20]. Untuk kinerja simpang tak bersinyal, parameter yang mempengaruhi adalah geometri, lingkungan dan lalu lintas yaitu Kapasitas (C), Derajat kejenuhan (DS), Tundaan (D), Peluang antrian (QP). Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Peluang antrian menurut MKJI (1997) adalah kemungkinan terjadinya antrian kendaraan pada suatu simpang, dinyatakan pada suatu interval nilai yang di dapat dari hubungan antara derajat kejenuhan dan peluang antrian. Panjang antrian adalah panjang antrian kendaraan yang antri dalam suatu pendekat. Pendekat adalah lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Satuan panjang antrian yang digunakan adalah satuan mobil penumpang [20].

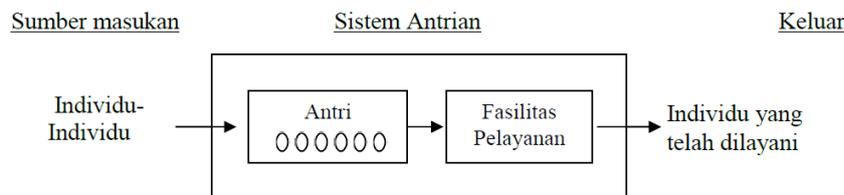
Manajemen lalu lintas adalah pengelolaan dan pengendalian arus lalu lintas dengan melakukan optimasi penggunaan prasarana yang ada melalui peredaman atau pengecilan tingkat pertumbuhan lalu lintas. Selain itu, juga memberikan kemudahan kepada angkutan yang efisien dalam penggunaan ruang jalan serta memperlancar sistem pergerakan. Manajemen lalu lintas merupakan salah satu strategi pengaturan lalu lintas yang memanfaatkan semaksimal mungkin prasarana dan sarana transportasi yang ada. Termasuk juga manajemen lalu lintas yaitu memaksimalkan sistem jaringan yang ada, menampung lalu lintas sebanyak mungkin, menampung penumpang sebanyak mungkin dengan memperhatikan keterbatasan lingkungan, dan memberikan prioritas untuk kelompok-kelompok yang sangat membutuhkan, melakukan penyesuaian kebutuhan terhadap pemakaian jalan lainnya [21]. Manajemen lalu lintas dilakukan untuk mendapatkan tingkat efisiensi dari pergerakan lalu lintas secara menyeluruh dengan tingkat aksesibilitas yang tinggi dengan menyeimbangkan permintaan dan sarana penunjang yang tersedia. Selain itu juga melindungi dan memperbaiki keadaan kondisi lingkungan dimana arus lalu lintas berada juga meningkatkan keselamatan dari pengguna sehingga energi yang digunakan efisien.

Rekayasa lalu lintas adalah suatu penanganan yang berkaitan dengan perencanaan, perancangan geometrik dan operasi lalu lintas jalan serta jaringannya, terminal, penggunaan lahan serta keterkaitan dengan moda transportasi lainnya [22]. Manajemen dan rekayasa lalu lintas adalah serangkaian usaha dan kegiatan yang

meliputi perencanaan, pengadaan, pemasangan, pengaturan, dan pemeliharaan fasilitas perlengkapan jalan dalam rangka mewujudkan, mendukung, dan memelihara keamanan, keselamatan, ketertiban dan kelancaran lalu lintas [23]. Elemen penting dari rekayasa lalu lintas adalah studi dan karakteristik lalu lintas, evaluasi kinerja, desain fasilitas, kontrol lalu lintas, operasi lalu lintas, manajemen sistem transportasi, dan integrasi teknologi sistem transportasi yang baik [24]. Studi dan karakteristik lalu lintas melibatkan pengukuran dan pengukuran berbagai aspek lalu lintas jalan raya seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

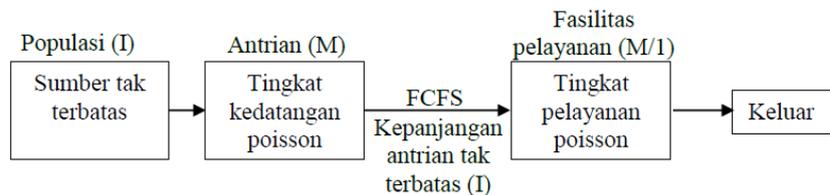
B. Teori Antrian

Antrian adalah suatu garis tunggu dari nasabah yang memerlukan layanan dari satu atau lebih fasilitas pelayanan. Elemen pokok dalam sistem antrian adalah sumber masukan [24], pola kedatangan, disiplin antrian dan tingkat pelayanan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Antrian

Sumber masukan atau kedatangan terdiri atas suatu populasi orang, barang, komponen atau kertas kerja yang datang pada sistem untuk dilayani. Pola kedatangan antrian adalah cara individu-individu dari populasi memasuki sistem. Individu-individu mungkin datang dengan tingkat kedatangan konstan ataupun acak (Poisson). Disiplin antrian adalah konsep membahas mengenai kebijakan yang mana para langganan dipilih dari antrian untuk dilayani berdasarkan urutan kedatangan pelanggan [26]. Pada rekayasa lalu lintas, disiplin antrian yang digunakan adalah First Come First Served (FCFS) di mana kendaraan yang pertama kali datang terlebih dahulu melewati lampu merah atau jalur yang tersedia. First Come First Served (FCFS) seringkali disebut juga First In First Out (FIFO). Tingkat pelayanan adalah waktu yang digunakan untuk melayani individu-individu dalam suatu sistem. Waktu dapat bernilai konstan atau acak. Setelah selesai dilayani, individu-individu tersebut akan keluar dari sistem dan mungkin bergabung dengan populasi lain. Model antrian yang digunakan dalam artikel ini adalah M/M/1/I ditunjukkan pada Gambar 2, dimana Tingkat kedatangan Poisson (M), tingkat pelayanan berdistribusi eksponensial (M), fasilitas pelayanan tunggal (1), sumber dan panjang antrian tak terbatas (infinite).



Gambar 2. Model Antrian M/M/1/I

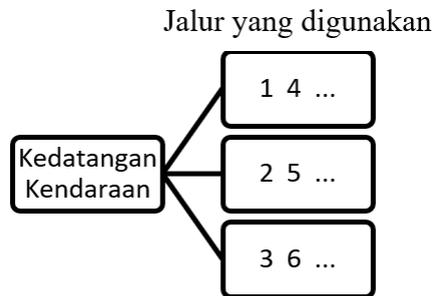
C. Model dan Simulasi Lalu Lintas

Simulasi dilakukan dengan toolbox SimEvents [5-13] dalam software MATLAB [14]. SimEvents adalah alat simulasi kejadian diskrit yang dikembangkan oleh MathWorks. Terdapat mesin simulasi kejadian diskrit dan komponen-komponen untuk menganalisis model-model sistem yang dijalankan oleh kejadian dan mengoptimalkan karakteristik kinerja. Antrian, server, switch, dan blok standar lainnya dapat digunakan untuk memodelkan rute, memproses penundaan, dan memprioritaskan penjadwalan dan komunikasi [5]. Guna mampu mensimulasikan aliran lalu lintas pada suatu wilayah, diperlukan platform SimEvents yang secara khusus dirancang untuk mensimulasikan suatu sistem dinamik hibrid yang merupakan gabungan antara sistem dinamik kontinu dengan *DES/Discrete Event System* [27]. Sistem kontinu menggambarkan aliran kendaraan dalam lalu lintas sedang DES menggambarkan suatu kejadian seperti perpindahan beban di persimpangan.

D. Pemerataan Arus Lalu Lintas

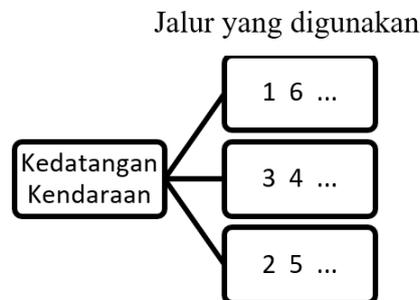
Pemerataan arus lalu lintas (*load balancing*) adalah sebuah konsep yang berguna untuk menyeimbangkan beban atau muatan dalam jaringan komputer, makin besar traffic data yang ada dalam jaringan komputer maka semakin berat pengaksesannya. Layanan *load balancing* memungkinkan pengaksesan sumber daya dalam jaringan didistribusikan ke beberapa host, agar tidak terpusat, sehingga kinerja jaringan komputer menjadi lebih stabil [28]. Secara umum, diketahui ada berbagai macam jenis *load balancing*, diantaranya *Round Robin*, *Random*, dan *Least Loaded*. Ketiga jenis metode *load balancing* ini banyak digunakan untuk manajemen transmisi data pada jaringan internet. Algoritma *Round Robin* merupakan algoritma yang paling sederhana dan

paling banyak digunakan oleh perangkat *load balancing*. *Round Robin* bekerja dengan cara membagi beban secara bergiliran dan berurutan dari satu server atau jalur ke jalur lainnya. Konsep dasar dari *Round Robin* adalah dengan menggunakan *time sharing*. Pada intinya algoritma ini memproses antrian secara bergiliran [3]. Ilustrasi algoritma *Round Robin* ditunjukkan pada Gambar 3.



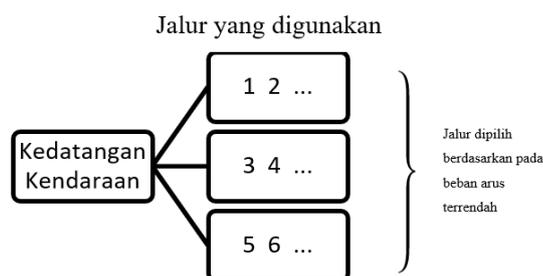
Gambar 3. Ilustrasi Algoritma Round Robin

Alokasi algoritma acak (*random*) tergantung pada fungsi *random* yang sesuai, server masing-masing anggota memiliki status yang sama, dan *request* yang datang pada *server-cluster* secara *random* memilih salah satu server dari *server-cluster* dalam antrian melalui fungsi *random* [29]. Implementasi algoritma *random* pada arus lalu lintas, volume kendaraan yang datang akan memilih jalur yang akan dilewatinya secara acak.



Gambar 4. Ilustrasi Algoritma Random

Pada penerapan algoritma *least loaded*, petugas operator memberikan permintaan berikutnya ke server yang memiliki beban kerja terendah, dimana beban kerja server didefinisikan sebagai jumlah waktu layanan dari semua permintaan yang menunggu di server [30]. Volume kendaraan yang datang dibagi ke jalur yang memiliki beban atau kepadatan yang rendah dalam lalu lintas kendaraan. Ilustrasi penerapan algoritma *least loaded* ditunjukkan pada Gambar 5.

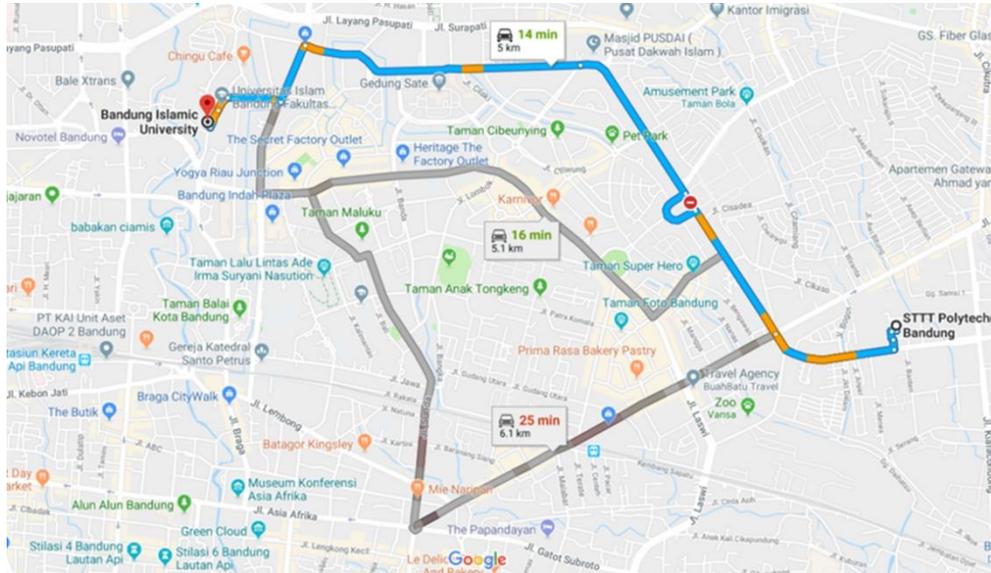


Gambar 5. Ilustrasi Algoritma Least-loaded

III. Hasil dan Pembahasan

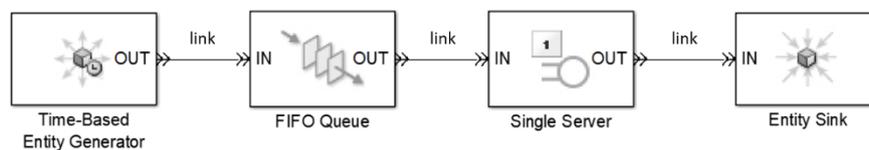
A. Lingkup Simulasi

Ruang lingkup wilayah yang termasuk pada model simulasi adalah jalur yang berawal dari Jalan Jakarta menuju Universitas Islam Bandung Jalan Tamansari No. 1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, yaitu melalui Jalan Jakarta - Jalan Supratman - Jalan Diponegoro - Jalan Ir. H. Juanda - Jalan Ranggagading - Jalan Tamansari.



Gambar 7. Ruang lingkup wilayah simulasi lalu lintas

Berdasarkan pada Gambar 7, terdapat beberapa jalur alternatif yang dapat digunakan sebagai antisipasi atau solusi apabila jalur utama mengalami kepadatan arus lalu lintas. Jalur alternatif yang dapat digunakan diantaranya adalah: Jalan Ahmad Yani, L.R.E Martadinata (Jalan Riau), Sukabumi, Laswi, Gatot Subroto, Jalan Sunda, dan beberapa jalan alternatif lainnya. Rancangan model simulasi disusun dengan menggunakan toolbox SimEvents dan dijalankan pada software MATLAB Simulink. Sistem simulator dirancang berdasarkan sistem LINTAS [11] dengan menggunakan beberapa blok modul sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8.

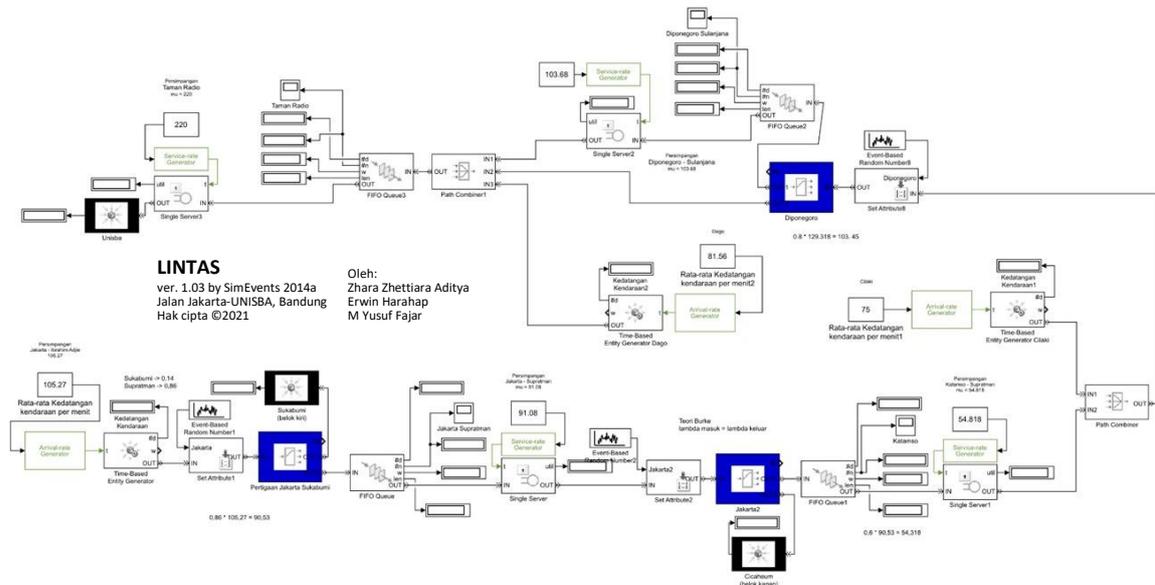


Gambar 8. Rancangan Sistem Dasar Simulator

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, simulator secara umum dibangun oleh lima buah blok utama yang disebut dengan modul entity, yaitu generator, link, queue, server, dan terminator. Generator berfungsi sebagai pembangkit paket data, titik awal munculnya kendaraan yang dihitung berdasarkan banyaknya kendaraan yang dibangkitkan per satu satuan waktu. Link berfungsi sebagai ruas jalan di mana paket data (kendaraan) bergerak. Kapasitas link dapat diatur sesuai dengan kondisi nyata lalu lintas, satu lajur, dua lajur atau lebih, tetapi hanya bisa digunakan sebagai arus jalan satu jalur. Untuk disusun arus lalu lintas dua jalur, harus dibuat melalui link masing-masing. Queue berfungsi sebagai penampung antrian kendaraan. Pada saat satu kendaraan mengalami proses, kendaraan lain akan mengantri dan ditampung di dalam modul queue. Server berfungsi sebagai modul pelaksana proses layanan paket data atau kendaraan. Proses layanan yang dimaksud adalah pada saat kendaraan berhenti karena suatu kendala di jalan selama satu satuan waktu. Terminator, berfungsi sebagai titik akhir kendaraan. Paket data atau kendaraan yang tiba pada modul terminator selanjutnya akan dihapus atau tidak dipergunakan kembali.

B. Simulasi Arus Lalu Lintas Kendaraan

Proses simulasi dijalankan menggunakan aplikasi LINTAS dimana model yang digunakan merupakan penerapan dari teori antrian dengan model M/M/1. Model simulasi LINTAS disusun dengan menggunakan toolbox SimEvents. Tampilan dari desain LINTAS ditunjukkan pada Gambar 9.



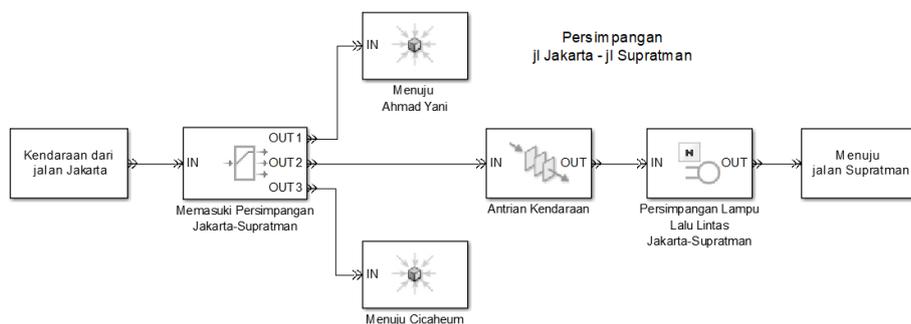
Gambar 9. Desain Model Simulasi Jalan Jakarta – UNISBA, Kota Bandung

Simulasi dijalankan dengan titik awal kendaraan di Jalan Jakarta menuju Kampus Unisba yang berlokasi di Jalan Tamansari No. 1 Bandung. Pada simulasi ini, ditunjukkan bagaimana situasi lalu lintas di sebagian Kota Bandung pada jam sibuk pagi hari, yaitu pukul 07.00 sampai dengan 10.00 WIB. Situasi yang dianalisis diantaranya adalah panjang antrian per satuan waktu pada beberapa titik persimpangan, tingkat kesibukan lalu lintas, rata-rata panjang antrian dan rata-rata waktu menunggu.

C. Panjang antrian

Pada bagian ini, akan diuraikan mengenai panjang antrian di beberapa lokasi persimpangan. Pada aplikasi LINTAS, lampu lalu lintas direpresentasikan sebagai perlambatan (*delay*) yang diimplementasikan pada modul pelayanan (*server*). *Delay* pada modul server ditunjukkan berdasarkan banyaknya kendaraan yang melewati modul *server* yang direpresentasikan dengan parameter *D*. Nilai *D* diperoleh berdasarkan informasi durasi waktu lampu lalu lintas dan formula waktu menunggu di dalam sistem (*sojourn time*) $T=1/(\mu-\lambda)$ untuk model antrian M/M/1. Nilai *D* diperoleh dengan menghitung perbandingan durasi waktu lampu merah dan lampu hijau. Misal durasi waktu lampu merah adalah *m* dan durasi waktu lampu hijau adalah *h* sedemikian sehingga dirumuskan $D = [1/(m-n)] + \lambda$.

Persimpangan lampu lalu lintas jalan Jakarta-Supratman, ditunjukkan pada Gambar 10. Arus kendaraan bergerak menuju modul antrian. Pada modul antrian, kendaraan menunggu untuk dapat melintas menuju Jalan Supratman. Proses menunggu ini disebabkan oleh adanya lampu lalu lintas. Lamanya durasi nyala lampu lalu lintas ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 10. Model Simulasi Persimpangan Lampu Lalu Lintas jalan Jakarta-Supratman

Tabel 1. Siklus Waktu Lampu Lalu Lintas dari jl Jakarta menuju jl Supratman

Waktu	Lampu Lalu Lintas (detik)		
	Merah	Kuning	Hijau
	108	4	59

Berdasarkan observasi lapangan dan literatur, diperoleh bahwa kedatangan kendaraan roda 4 atau lebih dari arah jalan Jakarta (λ) adalah sebesar 90,53 kendaraan/menit. Observasi secara literatur diperoleh berdasarkan pada sumber data Dinas Perhubungan bahwa rata-rata kedatangan kendaraan masuk ke Jalan Jakarta sebanyak 105,27 kendaraan/menit dikurangi sejumlah 14% kendaraan yang bergerak ke arah jalur lain (jl Sukabumi) [2]. Selanjutnya nilai μ diinputkan pada modul server sehingga saat simulasi dijalankan diperoleh data panjang antrian berdasarkan waktu simulasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Panjang Antrian Kendaraan pada Persimpangan Jalan Jakarta-Supratman

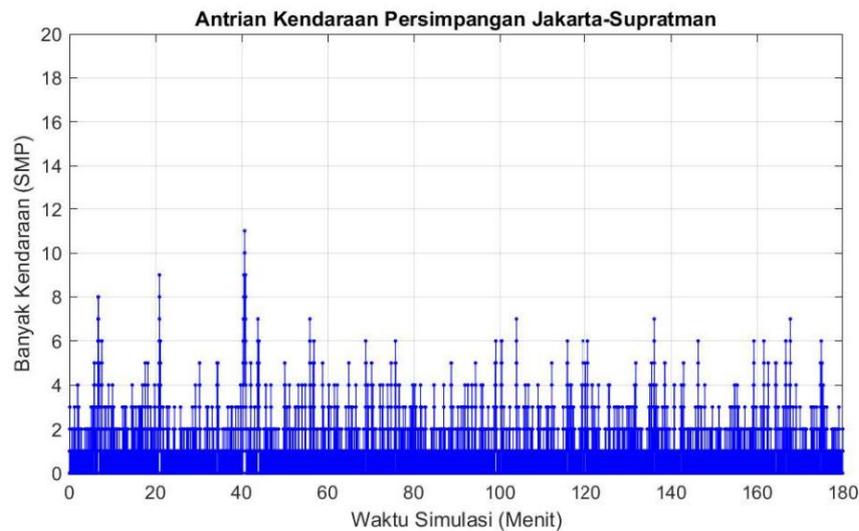
Hasil simulasi sesuai pada Gambar 11 diperoleh titik terendah antrian adalah 0 dan titik tertinggi antrian sebanyak 215 kendaraan dengan rata-rata panjang antrian sebanyak 35,88 kendaraan. Rata-rata waktu menunggu kendaraan di dalam antrian adalah selama 0,3947 menit atau 23,68 detik, dan rata-rata tingkat kepadatan lalu lintas adalah 0,9948. Cara yang sama dilakukan untuk persimpangan lainnya sepanjang jalur jalan Jakarta menuju jalan Tamansari UNISBA. Data hasil simulasi pada tiap persimpangan lampu lalu lintas dikumpulkan untuk dilakukan analisis lebih lanjut.

D. Implementasi Pemerataan Arus Lalu Lintas

Berdasarkan pada data tiap persimpangan ditemukan bahwa tingkat antrian kendaraan cukup tinggi. Hal ini tentunya berimplikasi pada timbulnya kemacetan dan tingginya waktu tempuh. Pemerataan arus lalu lintas merupakan salah satu metode yang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif solusi untuk mengurangi panjang antrian kendaraan sedemikian sehingga kemacetan lalu lintas dapat dikendalikan. Algoritma yang digunakan dalam metode pemerataan yaitu *round robin* dan *random*. Kedua algoritma ini diimplementasikan pada beberapa persimpangan dari jalur utama simulasi dari Jalan Jakarta menuju Unisba.

Berdasarkan data Dinas Perhubungan [2] dan pengamatan di lapangan, bahwa arah pergerakan kendaraan dari titik awal jalan Jakarta menuju jalan Sukabumi dan menuju persimpangan jalan Jakarta-Supratman berturut-turut adalah 14% dan 86%. Percabangan pergerakan kendaraan ini dapat direayasa dengan metode pemerataan arus sedemikian sehingga terdapat keseimbangan arah pergerakan kendaraan baik ke arah jalan Sukabumi maupun ke arah persimpangan. Metode ini diterapkan dengan asumsi bahwa efisiensi dan efektivitas perjalanan tiap kendaraan masih tetap diperhatikan. Sebagai contoh, dampak atau akibat dari pemerataan arus ini adalah bertambahnya jarak tempuh kendaraan karena harus melewati jalan berputar. Namun demikian, walaupun terjadi penambahan jarak tempuh, jika tidak terjadi antrian panjang maka total jarak tersebut bisa jadi dapat ditempuh dalam waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan jarak tempuh yang pendek namun terjadi kemacetan yang mana memerlukan waktu tempuh yang lebih lama. Efisiensi dan efektivitas pergerakan kendaraan menjadi prinsip dasar dalam penerapan metode pemerataan arus lalu lintas. Dengan demikian, penerapan metode pemerataan arus pada persimpangan jalan Jakarta menuju jalan Sukabumi dan jalan Jakarta menuju persimpangan jalan Jakarta-Supratman diharapkan dapat menurunkan tingkat antrian kendaraan pada berbagai persimpangan menuju Unisba tanpa mengurangi efisiensi dan efektivitas perjalanan setiap kendaraan.

Pada persimpangan jalan Jakarta-Sukabumi, dapat dilakukan implementasi pemerataan arus lalu lintas, yang mana secara teoritis, seharusnya dapat menurunkan panjang antrian pada persimpangan selanjutnya. Penerapan pemerataan arus dengan algoritma *Round Robin* dan *Random* menunjukkan hasil yang sangat signifikan dibandingkan dengan lalu lintas tanpa metode pemerataan arus, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Panjang Antrian Kendaraan pada Persimpangan jalan Jakarta-Supratman dengan Pemerataan Arus Kendaraan ke jalan Sukabumi menggunakan algoritma Round Robin

E. Efektifitas Pemerataan Arus

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa terjadi tingkat penurunan jumlah antrian kendaraan pada berbagai persimpangan. Selain itu, tingkat kepadatan lalu lintas terlihat menurun. Data selengkapnya mengenai hasil implementasi metode pemerataan arus ditunjukkan pada beberapa tabel berikut:

Tabel 2. Rata-Rata Panjang Antrian Kendaraan

Lokasi Persimpangan	Panjang antrian kendaraan (SMP)		
	Tanpa Pemerataan Arus	Round Robin	Random
Jakarta-Supratman	35,11	6.504	8.9604
Katamso	94,39	1.8756	4.6356
Diponegoro-Djuanda	66,54	3.2616	4.7232
Taman Radio	19,45	4.6692	4.878

Tabel 3. Rata-Rata Waktu Menunggu Dalam Antrian

Lokasi Persimpangan	Rata-rata waktu menunggu dalam antrian (menit)		
	Tanpa Pemerataan Arus	Round Robin	Random
Jakarta-Supratman	4.68	1.2	1.68
Katamso	8.832	0.708	1.8
Diponegoro-Djuanda	7.68	0.636	0.84
Taman Radio	5.88	2.52	2.64

Tabel 4. Rata-Rata Tingkat Kepadatan Lalu Lintas

Lokasi Persimpangan	Rata-Rata Tingkat Kepadatan Lalu Lintas		
	Tanpa Pemerataan Arus	Round Robin	Random
Jakarta-Supratman	0,9837	0,5853	0,5689
Katamso	0,9967	0,4926	0,4809
Diponegoro-Djuanda	0,9931	0,4937	0,4743
Taman Radio	0,9512	0,8329	0,8309

Rata-rata panjang antrian pada persimpangan (Tabel 2) adalah 54 kendaraan tanpa pemerataan arus. Dengan menerapkan metode pemerataan, diperoleh penurunan jumlah antrian menjadi rata-rata jumlah antrian

5 kendaraan atau penurunan sekitar 90% dengan metode pemerataan arus. Waktu tunggu kendaraan dalam antrian juga mengalami penurunan setelah diterapkannya metode pemerataan, dimana, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3, rata-rata waktu tunggu tanpa pemerataan adalah rata-rata sekitar 7 menit. Melalui penerapan metode pemerataan arus, terjadi penurunan rata-rata sekitar 77% dimana waktu tunggu kendaraan dalam antrian menjadi sekitar 1,5 menit. Pada Tabel 3, tentang kepadatan lalu lintas juga terjadi penurunan setelah diterapkan pemerataan arus, dimana sebelumnya kepadatan lalu lintas adalah rata-rata 0.98 menjadi 0.59 dengan skala kepadatan 0 hingga 1.

IV. Kesimpulan

Pada artikel ini disusun model dan desain simulasi lalu lintas dengan nama LINTAS. Model simulasi ini dibangun dengan menggunakan software MATLAB simulink, SimEvents toolbox, dengan penerapan ilmu teori antrian. LINTAS digunakan untuk mensimulasikan lalu lintas yang mencakup pengamatan dan analisis tingkat kepadatan lalu lintas, panjang antrian, rata-rata panjang antrian, dan rata-rata waktu menunggu dalam antrian. Berbagai metode rekayasa lalu lintas dapat diterapkan ke dalam sistem LINTAS untuk menjaga kelancaran atau menguraikan kemacetan lalu lintas. Salah satunya adalah metode rekayasa pemerataan arus.

Berdasarkan hasil simulasi, telah ditunjukkan bahwa penerapan metode pemerataan arus ke dalam sistem LINTAS dapat menurunkan tingkat kepadatan lalu lintas, mengurangi panjang antrian, dan waktu menunggu kendaraan di dalam antrian. Sebelumnya, tanpa menggunakan penerapan pemerataan arus, kepadatan lalu lintas terjadi cukup tinggi. Setelah dilakukan penerapan pemerataan arus, tingkat kepadatan lalu lintas serta pertumbuhan antrian relatif rendah, termasuk juga panjang antrian dan waktu menunggu dalam antrian. Metode yang diterapkan dalam artikel ini dapat menjadi solusi untuk menurunkan tingkat kemacetan di kota Bandung yang cukup tinggi setiap hari nya.

Pada penelitian lebih lanjut, dapat dilakukan pengembangan sebagai berikut: gunakan model antrian selain M/M/1, untuk hasil yang lebih mendekati kenyataan di lapangan, misalnya dengan model antrian M/D/c, M/M/c, M/G/1, G/G/1, dan lain-lain. Disarankan untuk menggunakan pola kedatangan yang berdistribusi selain Poisson/Ekspensial, misalnya compound Poisson, quasi Poisson, ekspensial erlang, dan sebagainya, yang lebih spesifik terkait dengan pola distribusi dan sistem layanan lalu lintas. Perlu dilakukan analisis lebih mendalam mengenai model simulasi lalu lintas di persimpangan jalan, misalnya dengan menerapkan modul gate pada toolbox SimEvents atau dengan membangun suatu model yang lebih realistis. Disarankan untuk dapat menggunakan data lalu lintas yang terbaru yang meliputi rata-rata kedatangan lalu lintas, durasi waktu lampu lalu lintas, rata-rata jumlah kendaraan keluar dari antrian, dan lain-lain. Pergerakan arus kendaraan pada model dan desain simulasi LINTAS perlu dikembangkan dan dilengkapi agar hasil simulasi lebih realistis.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah *Cost-Sharing* Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Islam Bandung. Nomor: 103/B.04/LPPM-CS/II/2021.

Daftar Pustaka

- [1] Republika, "Kerugian Akibat Macet di Bandung Capai Rp 4,36 triliun", <http://www.republika.co.id>, 2014. Diakses: 11 November 2021.
- [2] Dinas Perhubungan Kota Bandung, "Survey Lalu Lintas Kota Bandung", Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2012.
- [3] H. Nasser dan Timotius Witono, "Analisis Algoritma Round Robin, Least Connection, dan Ratio pada Load Balancing menggunakan Opnet Modeler", *Jurnal INFORMATIKA* Vol. 12, No. 1, April 2016.
- [4] E. Harahap, "Efektifitas Load Balancing Dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas", *Matematika* 16 (2), h.1-6, 2017.
- [5] Mathworks. "SimEvents, Model and Simulate Discrete-Event Systems", 2021. Link website: <https://www.mathworks.com/products/simevents.html>
- [6] D. Darmawan, F.H. Badruzzaman, "Simulation of Traffic T-Junction at Cibiru-Cileunyi Lane Using SimEvents MATLAB", *Journal of Physics: Conference Series*, 1613 (1), pp. 012074, 2020.
- [7] M.Y. Fajar, A. Kudus, "Traffic engineering simulation of campus area transportation using MATLAB SimEvents", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 830, pp. 022078, 2020.
- [8] P. Purnamasari, *et. al.*, "A design simulation of traffic light intersection using SimEvents MATLAB", *Journal of Physics: Conference Series* 1375 (1), pp. 012042, 2019.
- [9] D. Darmawan, "LINTAS-LC 1.1: Model dan Simulasi Jalur Lingkar Cileunyi Menggunakan SimEvents MATLAB, *Prosiding SISFOTEK* 3 (1), h.166-170, 2019.

- [10] F.H. Badruzzaman, *et. al.*, “LINTAS-BD 1.2: Modeling and simulation traffic of Bandung City using SimEvents MATLAB”, *Journal of Physics: Conference Series*, 1315 (1), pp. 012081, 2019.
- [11] A. Suryadi, D. Darmawan, R. Ceha, “LINTAS: Sistem simulasi lalu lintas menggunakan SimEvents MATLAB”, *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, 10 (1), h. 8-16, 2018.
- [12] E. Harahap, A. Nurrahman, D. Darmawan, “A Modeling Approach For Event-Based Networking Design Using MATLAB-SimEvents”, *Proceedings International Multidisciplinary Conference (IMC)*, 1 (1), pp. 327-332, 2016.
- [13] I. Sukarsih, G. Gunawan, M.Y. Fajar, D. Darmawan, H. Nishi, “A Model-Based Simulator for Content Delivery Network using SimEvents MATLAB-Simulink”, *INSIST Journal*, 1 (1), pp. 30-33, 2016.
- [14] Mathworks, “Simulink”, <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> accessed: 25 November, 2021.
- [15] Direktorat Bina Jalan Kota, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)”, Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia, 1997.
- [16] Sirajuddin., N. Ummi, dan P. Ferro Ferdinant, “Analisis Kebijakan Transportasi dengan Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP)”, *Jurnal Teknika Untirta*, Vol. 10, No. 1, 2014.
- [17] Undang-undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
- [18] C.J. Khisty, dan B. Kent Lall, “Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi”, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2005.
- [19] I. Basuki, dan Siswadi, “Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta”, *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 9 No. 1, h. 71-80, Oktober 2008.
- [20] Peraturan Menteri Perhubungan, KM Nomor 14 Tahun 2006 tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas.
- [21] I.D. Suhani, “Analisis Kinerja Lalu Lintas Akibat Perubahan Tata Guna Lahan”, Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2012.
- [22] W.S. Homburger, and J.H. Kell., “Fundamentals of Traffic Engineering”, 9th Edition, University of California, 1977.
- [23] T. Welas, “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan”, Yogyakarta: Galang Press, 2010.
- [24] R. Roess, S. Elena, R. William, “Traffic Engineering”, Pearson Higher Education Inc., 2011.
- [25] P. Siagian, “Penelitian Operasional”, Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia, 1987.
- [26] N. Lambok, “Analisis Antrian pada PT. Bank Rakyat Indonesia Cabang Pematang Siantar Unit Pasar Horas”, Skripsi Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara: Medan, 2008.
- [27] H. Sutarto, “Pemodelan dan Simulasi Antrian pada Persimpangan dengan Simulator Discrete Event System”, *Jurnal Telematika ITHB* Vol. 9 No. 2, 2014.
- [28] C. Koppurapu, “Load Balancing Servers, Firewalls, and Caches”, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [29] Slameta, “Simulasi dan Analisis Unjuk Kerja Load Balancer pada Server-Cluster Menggunakan OPNET IT Guru”, *Jurnal Elektron* Vol. 3 No. 2, Desember, 2013.
- [30] Y.M. Teo, R. Ayani, “Comparison of Load Balancing Strategies on Cluster-based Web Servers”, *SIMULATION* 77:5-6, 2001.