

**IMPLEMENTASI *TOPOLOGICAL SORT* DALAM
 PENGALIHAN ARUS KENDARAAN UNTUK MENGATASI PROBLEM
 KEMACETAN LALU LINTAS
 (Studi Kasus Jalan-jalan Besar di sekitar MAN 2 Malang sampai
 Mall Dinoyo City)**

Nur Fadilatul Ilmiyah¹, Nabilah Mukti Rifahmi², Rizka Fajriana Putri Ramadhani³

¹ Prodi Tadris Matematika IAIN Kediri, ¹ Email: nfadilah_067@yahoo.com

^{2,3} MAN 2 Malang, Jawa Timur, Indonesia

Abstract. *Traffic congestion is a frequent occurrence in Malang city, particularly happens in some crowded centres and educational areas such as Bandung Street and Veteran Street. Congestion interferes the community's activities and causes both social and economical impacts. The traffic congestion could be avoided by alternatively diverting the flow of crowded route to the other uncrowded route. Therefore, the need of an effective algorithm to measure the capacity of vehicle in one particular road must be fulfilled. The writing of this article purposes to analyze and explain how to apply the topological sort algorithm in order to redistribute vehicles from the origins to the destinations. The redistribution is expected to accommodate the accordant amount of vehicle to the capacity. After the theoretical analysis, topological sort algorithm can be applied to solve the problem of congestion in those street.*

Keywords: *traffic congestion, topological sort.*

Abstrak. Kemacetan lalu lintas merupakan hal yang sering terjadi di Kota Malang khususnya di pusat-pusat keramaian dan kawasan edukasi seperti di Jalan Bandung dan Jalan Veteran. Kemacetan dapat menghambat aktivitas masyarakat serta menimbulkan dampak di bidang sosial dan ekonomi. Salah satu alternatif untuk menghindari terjadinya kemacetan adalah dengan mengalihkan arus lalu lintas dari jalan yang padat kendaraan menuju jalan yang tidak padat kendaraan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu algoritma yang efektif sehingga jumlah kendaraan yang ada di suatu jalan sesuai dengan kapasitas jalan tersebut. Penulisan artikel ini memiliki titik fokus analisis dan penjelasan mengenai cara penerapan algoritma *topological sort* untuk mendistribusikan kembali kendaraan yang bergerak dari titik asal menuju titik tujuan sehingga setiap ruas jalan dapat menampung kendaraan sesuai dengan jumlah kapasitasnya. Setelah dianalisis secara teoritis, algoritma *topological sort* dapat diterapkan untuk mengurai kemacetan yang terjadi di jalan-jalan tersebut.

Kata kunci: kemacetan, *topological sort*.

PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas sering terjadi di kota-kota besar di Indonesia yang ditandai dengan meningkatnya jumlah kendaraan namun tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas jalan. Sebagai salah satu kota besar di Jawa Timur, beberapa wilayah edukasi di kota Malang kerap kali mengalami kemacetan seperti Jalan Bandung dan Jalan Veteran. Di sepanjang jalan tersebut, terdapat banyak lembaga sekolah seperti BA Restu, MIN 1 Malang, MTsN 1 Malang, MAN 2 Malang, SMKN 2 Malang, dan SMAN 8 Malang. Di kedua jalan tersebut juga terdapat dua universitas besar yaitu

Universitas Negeri Malang dan Universitas Brawijaya. Selain itu, terdapat pula Malang Town Square (MATOS) yang menjadi salah satu pusat perbelanjaan terbesar di Kota Malang.

Kemacetan lalu lintas dapat menghambat aktivitas masyarakat dan menimbulkan dampak sosial, salah satunya adalah stress yang dialami para pengemudi. Selain itu kemacetan juga menimbulkan dampak di bidang ekonomi karena kendaraan yang terjebak dalam kemacetan cenderung menghabiskan bahan bakar yang lebih banyak.

Salah satu alternatif untuk menghindari terjadinya kemacetan adalah dengan mengalihkan arus lalu lintas dari jalan yang padat kendaraan menuju jalan yang tidak padat kendaraan. Pengalihan arus lalu lintas ini harus dilakukan secara cermat agar tidak menyebabkan kemacetan di tempat yang lain. Oleh karena itu dibutuhkan suatu algoritma yang efektif sehingga jumlah kendaraan yang ada di suatu jalan sesuai dengan kapasitas jalan tersebut.

Artikel ini membahas tentang salah satu aplikasi dari teori graf yaitu algoritma *topological sort*. Algoritma ini dapat digunakan untuk mengalihkan arus lalu lintas secara efektif sehingga kemacetan dapat diminimalisir. Tujuan dari algoritma ini adalah untuk mendistribusikan kembali kendaraan yang bergerak dari titik asal menuju titik tujuan sehingga setiap ruas jalan dapat menampung kendaraan sesuai dengan jumlah kapasitasnya.

BATASAN MASALAH

Dalam artikel ini diberikan batasan masalah dan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- 1) Definisi kemacetan adalah kondisi ruas jalan yang tidak dapat menampung banyaknya kendaraan yang masuk. Adapun penyebab-penyebab kemacetan yang lain seperti kecelakaan atau perbaikan jalan dianggap tidak.
- 2) Ukuran sepeda motor dan kendaraan yang lain dianggap sama dengan ukuran mobil yaitu sebesar 1,5 meter.
- 3) Jalan-jalan yang digunakan sebagai tempat penelitian adalah jalan-jalan besar atau jalan alternatif yang sering dilalui kendaraan.
- 4) Banyaknya kendaraan yang keluar dari suatu titik asal harus sama dengan banyaknya kendaraan yang masuk ke dalam titik tujuan. Dengan kata lain, diasumsikan tidak ada penambahan kendaraan yang berasal dari jalan atau gang-gang kecil di luar daftar jalan yang digunakan sebagai lokasi penelitian.

- 5) Rambu-rambu lalu lintas dianggap tidak ada atau diabaikan.

KEMACETAN LALU LINTAS

Kemacetan adalah kondisi dimana terjadi penumpukan kendaraan di jalan. Penumpukan tersebut disebabkan oleh banyaknya jumlah kendaraan yang tidak mampu diimbangi oleh sarana dan prasana lalu lintas yang memadai. Akibatnya, arus kendaraan menjadi tersendat dan kecepatan berkendara pun menurun (Dennis, 2015).

Penyebab Kemacetan Lalu Lintas

Beberapa faktor umum yang menjadi pemicu terjadinya kemacetan lalu lintas adalah sebagai berikut (Utari, 2014):

- 1) Banyaknya pedagang kaki lima yang menjajakan dagangannya di pinggir jalan raya.
- 2) Terjadinya kecelakaan lalu lintas.
- 3) Parkir liar di pinggir jalan.
- 4) Beralihnya penggunaan alat transportasi umum kepada alat transportasi pribadi.

Terdapat banyak faktor penyebab kemacetan yang lain selain dari kelima faktor di atas seperti penerapan yang salah terhadap kebijakan dan undang-undang lalu lintas angkutan jalan, kurangnya jumlah petugas pengatur lalu lintas, adanya demonstrasi, dan cuaca buruk seperti hujan deras dan banjir.

Dampak Negatif Kemacetan

Adapun dampak negatif dari kemacetan lalu lintas diantaranya sebagai berikut (Gunawan, 2011):

- 1) Kerugian waktu.
- 2) Kerugian ekonomi (boros bahan bakar).
- 3) Terganggunya jadwal bisnis dan kegiatan keluarga.
- 4) Stress dan kelelahan dengan segala akibatnya.
- 5) Penurunan kualitas kebersihan udara.

Upaya Pemerintah Kota Malang dalam Mengatasi Kemacetan

Salah satu upaya yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Malang dalam rangka mengatasi kemacetan adalah dengan mem-

berikan layanan bus sekolah gratis yang kemudian diberi nama Bus Halokes. Moda transportasi umum yang diperuntukkan khusus bagi pelajar di Kota Malang ini menjadi bentuk *support* Pemerintah Kota Malang dalam menyediakan layanan transportasi yang memadai guna menunjang pergerakan pelajar (Rachmadani, 2016). Bus Halokes adalah salah satu program kerja Walikota Malang yang bertujuan untuk mengurangi kemacetan, terutama di pagi hari saat pelajar berangkat sekolah dan para pekerja berangkat menuju tempat kerja masing-masing (Azizah, 2016).

Bus Halokes sampai saat ini diperkirakan berjumlah 6 buah dan tersebar di kota Malang dengan jangkauan sekolah-sekolah sebagai berikut (Azizah, 2016):

- 1) Bus Halokes Poll A melewati SMPN 18, SMAN 9, MAN 2, MTsN 1, SMAN 8, SMPN 4, SMKN 2, SMPN 1, SMPN 8 (turun di Bundaran Bromo Semeru), SMPN 6 (turun di Bundaran Bromo Semeru), SMAN 1, SMAN 3 dan SMAN 4.
- 2) Bus Halokes Poll B melewati SMKN 3, MAN 2, MTsN 1, SMAN 8, SMPN 4, SMKN 2, SMPN 1, SMPN 8 (turun di Bundaran Bromo Semeru), SMPN 6 (turun di Bundaran Bromo Semeru), SMAN 1, SMAN 3 dan SMAN 4.
- 3) Bus Halokes Poll C melewati SMPN 5, SMPN 3, SMAN 1, SMAN 3 dan SMAN 4.
- 4) Bus Halokes Poll D melewati SMAN 6, SMAN 10, SMPN 10, SMKN 10 dan SMPN 23.
- 5) Bus Halokes Poll E melewati SMAN 2, SMAN 5, SMKN 4, SMAN 1, SMAN 3 dan SMAN 4.
- 6) Bus Halokes Poll F melewati SMAN 5, SMKN 4, SMAN 2, SMAN 1, SMAN 4, SMAN 3, SMKN 1 dan SMPN 19.

Waktu pelayanan Bus Halokes Kota Malang terdiri dari dua waktu yakni pagi dan siang hari. Waktu paling pagi dimulai

pada pukul 05.30 WIB dan berakhir paling lambat pukul 06.45 WIB. Sedangkan waktu siang dimulai pada pukul 14.05 WIB dan berakhir pada pukul 14.55. Rata-rata waktu tunggu penumpang di halte adalah 5-10 menit. Kecepatan rata-rata Bus Halokes Kota Malang adalah 40 km/jam. Waktu tempuh Bus Halokes relatif sama pada siang hari, yaitu 40 sampai 45 menit. Namun untuk pagi hari, waktu tempuh Bus Halokes Poll A memiliki nilai yang paling tinggi karena bus ini memiliki jumlah sekolah yang paling banyak untuk dikunjungi (Prasetyo, dkk., 2015).

Kelebihan yang dimiliki Bus Halokes antara lain adalah menyediakan sarana prasarana pendukung seperti AC dan wifi, jam berangkat dan waktu tempuh yang cepat sehingga mengurangi keterlambatan siswa, serta memudahkan pelajar dalam berangkat dan pulang sekolah. Namun Bus Halokes juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah rute yang pendek dan sedikit, hanya beroperasi pada jam-jam tertentu, waktu bus untuk berhenti di halte hanya sebentar, bus tidak parkir tepat di depan sekolah, dan kapasitas tempat duduk yang sedikit menyebabkan banyak pelajar yang harus berdiri saat bus dalam kondisi ramai (Prasetyo, dkk., 2015).

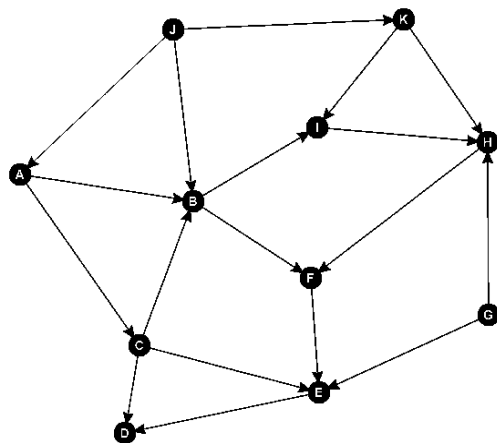
GRAF

Graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan berurutan (V, E) dengan definisi V dan E sebagai berikut (Astuti, 2017):

- 1) Himpunan V adalah himpunan *simpul* atau *titik*.
- 2) Himpunan E adalah himpunan *sisi*, atau *edge*.

Graf Berarah Asiklik

Graf berarah adalah graf yang setiap sisinya memiliki orientasi arah (Astuti, 2017). Sedangkan graf asiklik adalah graf yang tidak memiliki *cycle*. Berikut adalah contoh graf berarah asiklik.



Gambar 1. Graf Berarah Asiklik
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Topological Sort

Topological sort adalah suatu algoritma yang digunakan untuk mengurutkan simpul-simpul pada graf berarah asiklik berdasarkan prioritasnya, yang mana untuk setiap sisi dari a ke b maka a berada sebelum b pada urutannya (Utama, 2014). Definisi persoalan *topological sort* adalah sebagai berikut: diberikan urutan parsial dari elemen suatu himpunan, menentukan barisan elemen sehingga elemen tersebut memiliki keterurutan linier. Langkah-langkah dalam algoritma *topological sort* adalah sebagai berikut (Yafi, 2013):

- 1) Mula-mula definisikan S sebagai himpunan seluruh simpul yang ada di dalam graf.
- 2) Cari sebuah simpul X yang mana simpul tersebut tidak memiliki *predecessor*. Minimal terdapat satu simpul dengan jenis seperti ini di dalam graf. Jika tidak, maka akan terjadi *cycle* dan grafnya bukan asiklik sehingga algoritma *topological sort* tidak bisa diterapkan.
- 3) Hapus X dari S dan keterhubungan antara X dengan item lainnya.
- 4) Insert X sebagai elemen paling belakang di dalam L .
- 5) Jika S tidak kosong, maka ulangi ke langkah 2.
- 6) Cetak L .

Hasil yang diperoleh dari penerapan algoritma *topological sort* tidaklah tunggal. Sebagai contoh, salah satu alternatif penyelesaian dari penerapan algoritma *topological sort* pada graf berarah asiklik di Gambar 1 adalah sebagai berikut:

Table 1. Hasil Penerapan Algoritma *Topological Sort*

No	Simpul	Sisi yang dihapus	L
1	J	{(J, A), (J, B), (J, K)}	{J}
2	A	{(A, B), (A, C)}	{J, A}
3	C	{(C, D), (C, B), (C, E)}	{J, A, C}
4	B	{(B, I), (B, F)}	{J, A, C, B}
5	K	{(K, I), (K, H)}	{J, A, C, B, K}
6	I	{(I, H)}	{J, A, C, B, K, I}
7	G	{(G, H), (G, E)}	{J, A, C, B, K, I, G}
8	H	{(H, F)}	{J, A, C, B, K, I, G, H}
9	F	{(F, E)}	{J, A, C, B, K, I, G, H, F}
10	E	{(E, D)}	{J, A, C, B, K, I, G, H, F, E}
11	D	{}	{J, A, C, B, K, I, G, H, F, E, D}

Diperoleh *topological sort*-nya sebagai berikut {J, A, C, B, K, I, G, H, F, E, D}.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki titik fokus analisis dan penjelasan mengenai cara penerapan *topological sort* sebagai salah satu alternatif dalam upaya mengatasi kemacetan di Kota Malang. Untuk mendukung penelitian ini, maka dilakukan kegiatan observasi dan studi literatur dengan menggunakan metode deskriptif.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui metode observasi (*observation methods*). Metode observasi dilakukan dengan menggunakan teknik observasi langsung (*direct observation*). Kegiatan observasi langsung ini bertujuan untuk memperoleh data-data dokumentasi seputar kondisi jalan-jalan besar di sekitar MAN 2 Malang hingga Mall Dinoyo city serta data mengenai panjang, ruas dan lajur setiap jalan.

Data sekunder dalam penelitian ini dikumpulkan melalui metode studi kepustakaan. Studi kepustakaan dilakukan dengan

jalan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan materi penelitian. Literatur yang dimaksud dapat berupa pustaka cetak yakni buku dan jurnal atau media elektronik yakni artikel, e-jurnal, dan berita yang diambil dari website-website internet.

Kegiatan pengamatan lapangan dalam penelitian ini dilakukan di jalan-jalan besar sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City meliputi Jalan Bandung, Jalan Besar Ijen, Jalan Jakarta, Jalan Bogor, Jalan Mayjend. Panjaitan, Jalan M. T. Haryono, Jalan Gajayana, Jalan Raya Sumber Sari, Jalan Simpang Gajayana, Jalan Mertojoyo, Jalan Bendungan Sigura-gura Barat, Jalan Sunan Kali Jaga dan Jalan Veteran. Sedangkan kegiatan penggalian teori dan kajian pustaka dilaksanakan di ruang Research Command Center MAN 2 Malang yang terletak di Jalan Bandung No.07, Kelurahan Penanggungan, Kecamatan Klojen, Kota Malang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas tahap demi tahap implementasi *topological sort* untuk mengalihkan arus kendaraan secara efektif sehingga kemacetan dapat diminimalkan. Di bagian akhir diberikan ilustrasi penerapan algoritma untuk mempermudah pemahaman.

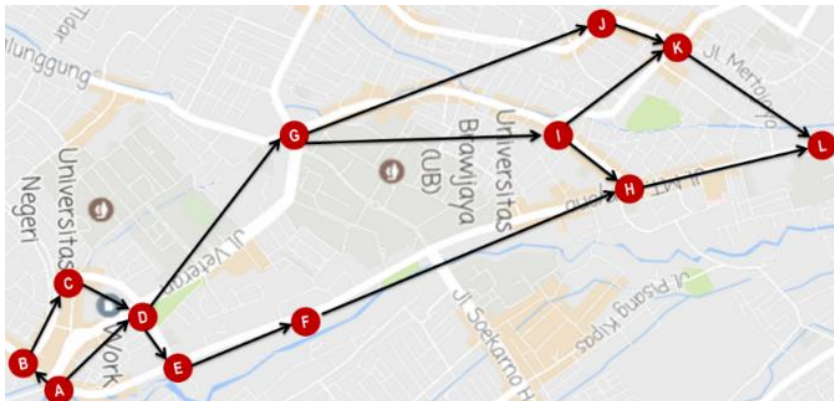
Penentuan Lokasi Asal dan Lokasi Tujuan

Penentuan lokasi asal dan lokasi tujuan dalam rangka pengalihan arus lalu lintas tidak bisa lepas dari tingkat kemacetan yang

terjadi di dalamnya, sehingga lokasi yang dipilih adalah lokasi yang memiliki tingkat rawan kemacetan yang tinggi. Pada penelitian ini dipilih Tugu UKS sebagai lokasi asal dan Mall Dinoyo City sebagai lokasi tujuan. Tugu UKS terletak di tengah-tengah perempatan Jalan Bandung, Jalan Mayjend. Panjaitan, Jalan Besar Ijen dan Jalan Brigjend. Slamet Riadi, Kelurahan Penanggungan, Kecamatan Klojen, Kota Malang. Sedangkan Mall Dinoyo City terletak di Jalan M. T. Haryono No. 195-197, Kelurahan Dinoyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang.

Pemilihan Tugu UKS sebagai lokasi asal karena tugu ini terletak dekat dengan jalan Bandung yang menjadi sentral kemacetan paling parah. Hal lain yang membuat Tugu UKS dipilih sebagai lokasi asal adalah karena dari Tugu UKS dapat ditemukan dua jalan alternatif untuk menuju Mall Dinoyo City.

Pemilihan Mall Dinoyo City sebagai lokasi tujuan dikarenakan Mall Dinoyo City merupakan salah satu pusat keramaian di kota Malang yang rawan macet. Di sekitar lokasi tersebut terdapat fasilitas umum seperti Rumah Sakit Islam UNISMA Malang, Polsekta Lowokwaru, dan Gereja Kristen Jawi Wetan Jemaat Dinoyo yang sering dikunjungi oleh banyak orang. Jalan di depan Mall Dinoyo City merupakan satu-satunya jalan besar yang harus ditempuh oleh mahasiswa-mahasiswi UNISMA dan UMM untuk sampai ke kampus mereka.



Gambar 2. Peta Lokasi dalam Bentuk Graf (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Keterangan:

- A : Tugu UKS
- B : STIE INDOCAKTI
- C : Kampus Wearness
- D : Masjid Al-Falah MAN 3 Malang
- E : Kampus Magistra Utama
- F : Perempatan Jembatan Soekarno Hatta
- G : Perempatan ITN
- H : Pertigaan M. T. Haryono
- I : Sardo Swalayan
- J : Gedung IBI Cabang Kota Malang
- K : Perempatan Mertojoyo
- L : Mall Dinoyo City

Graf dalam peta di atas memenuhi kondisi “berarah” karena setiap sisinya

memiliki arah. Sisi dari graf mewakili ruas jalan yang ada. Graf di atas juga memenuhi kondisi “asiklik” karena graf ini tidak memuat gelang dan sisi ganda. Karena sifat “berarah” dan “asiklik” terpenuhi, maka *topological sort* dapat diterapkan di dalam graf ini.

Penghitungan Panjang Jalan-jalan Besar di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City

Dengan melakukan serangkaian pengamatan lapang dan penggunaan aplikasi *Google Map*, diperoleh panjang jalan-jalan besar di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City sebagaimana yang digambarkan oleh graf berikut:



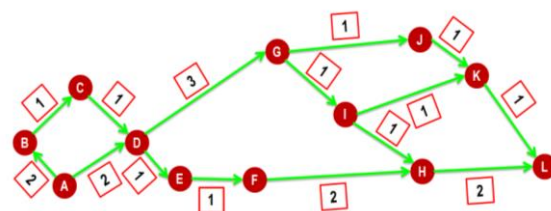
Gambar 3. Graf dengan Bobot Panjang Jalan beserta Namanya (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Penghitungan Kapasitas Jalan-jalan Besar di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City

Kapasitas setiap jalan dapat berbeda dari satu penelitian dengan penelitian yang lainnya. Besarnya kapasitas jalan dapat ditentukan dari lebar jalan, struktur jalan atau kondisi medan. Kapasitas yang ditentukan pada setiap jalan harus memungkinkan pendistribusian ulang sedemikian hingga setiap jalan memiliki banyak kendaraan yang tidak melebihi kapasitasnya. Untuk itu, penentuan kapasitas jalan tidak boleh *underestimate* atau terlalu kecil (Yafi, 2013).

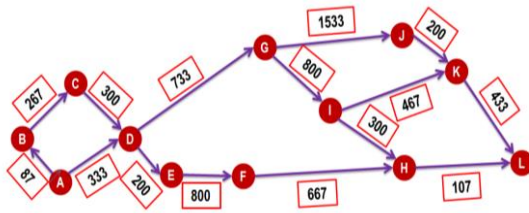
Dalam penelitian ini, kapasitas jalan didefinisikan sebagai panjang jalan yang kemudian dibagi dengan 1,5 meter dan dikalikan dengan banyaknya lajur setiap jalan. Banyaknya lajur di setiap jalan mulai

dari tugu UKS sampai Mall Dinoyo City dijelaskan dalam graf berikut:



Gambar 4. Graf dengan Bobot Jumlah Lajur Setiap Jalan (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Jalan Bandung yang terhitung dari BA Restu sampai dengan Masjid Al-Falah MAN 2 Malang sebenarnya memiliki 3 buah lajur kendaraan, namun 1 lajur sampai saat ini digunakan sebagai tempat parkir mobil orang tua murid sehingga jumlah lajur yang tersisa hanya 2 buah.

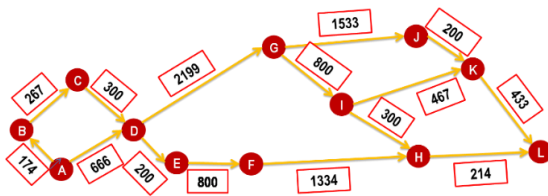


Gambar 5. Graf dengan Bobot Jumlah Ruas Setiap Jalan

(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Selanjutnya, ruas jalan yang dalam hal ini didefinisikan sebagai panjang jalan dibagi 1,5 meter untuk jalan-jalan di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City dijelaskan melalui graf di atas.

Dari dua graf di atas diperoleh graf kapasitas jalan-jalan di sekitar MAN 2 Malang sampai dengan Mall Dinoyo City sebagai berikut:

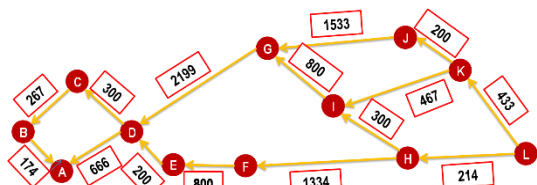


Gambar 6. Graf dengan Bobot Jumlah Ruas Setiap Jalan

(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan-jalan Besar di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City

Selain kapasitas jalan, terdapat kapasitas sebenarnya dari sisi jalan yang kemudian disebut dengan kapasitas efektif. Dalam bagian ini akan dijelaskan tahapan-tahapan untuk memperoleh kapasitas efektif jalan-jalan besar di sekitar MAN 2 Malang sampai Mall Dinoyo City. Untuk mengubah kapasitas jalan menjadi kapasitas efektif, pertama, balik arah graf pada gambar 6 terlebih dahulu.



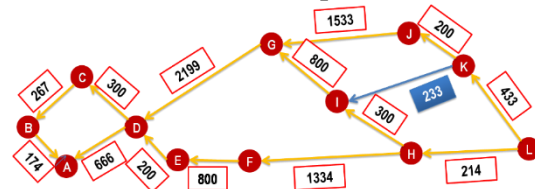
Gambar 7. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 1

(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ambil simpul L. Jumlah kendaraan yang keluar dari simpul L melalui sisi LK adalah sebanyak 433 buah kendaraan dan melalui sisi LH sebanyak 214 kendaraan. Ambil simpul K. Jumlah kendaraan yang masuk ke dalam simpul K adalah sebanyak 433 buah. Keseluruhan dari jumlah ini bisa saja dialihkan ke sisi KI, namun tindakan ini akan berakibat sisi KJ bernilai 0. Oleh karena itu jumlah kendaraan harus di bagi ke dalam dua sisi. Karena kapasitas dari sisi KJ adalah 200, maka alihkan sebanyak 200 buah kendaraan dari K ke sisi KJ, sehingga jumlah kendaraan di simpul K bersisa 233 buah. Selanjutnya perhatikan bahwa:

Bobot dari sisi KI = $\min(467, 233) = 233$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 233 buah kendaraan dari simpul K ke sisi KI.

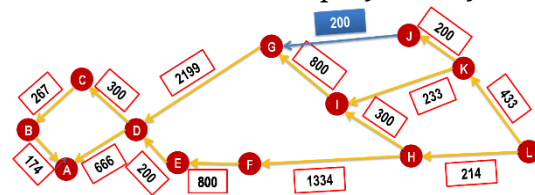


Gambar 8. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 2

(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ambil simpul J. Jumlah kendaraan yang ada di simpul J adalah sebanyak 200 buah. Selanjutnya perhatikan bahwa: Bobot sisi JG = $\min(200, 200) = 200$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 200 buah kendaraan dari simpul J ke sisi JG.



Gambar 9. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 3

(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

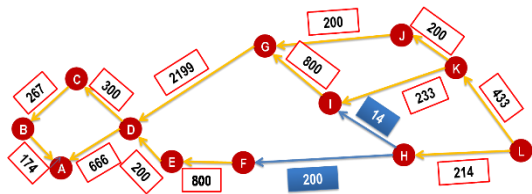
Ambil simpul H. Jumlah kendaraan yang masuk ke dalam simpul H adalah sebanyak 214 buah. Keseluruhan dari jumlah ini bisa saja dialihkan ke sisi HI, namun tindakan ini akan berakibat sisi HF bernilai 0, atau bisa saja dialihkan ke sisi HF,

namun tindakan ini akan berakibat sisi HI bernilai 0. Perhatikan bahwa:

Bobot sisi $HF = \min(1334, 200) = 200$.

Bobot sisi $HI = \min(300, 14) = 14$.

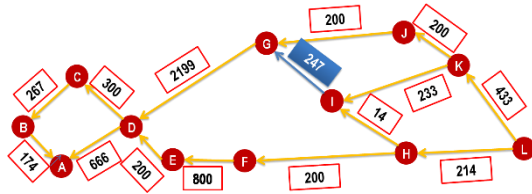
Oleh karena itu jumlah kendaraan harus di bagi ke dalam dua sisi. Alihkan 14 kendaraan ke sisi HI dan 200 kendaraan ke sisi HF .



Gambar 10. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 4
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

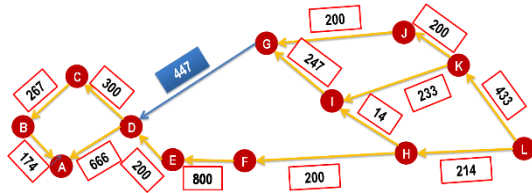
Ambil simpul I . Jumlah kendaraan yang ada di simpul I adalah sebanyak 247 buah yang diperoleh dari sisi KI sebanyak 233 buah kendaraan dan dari sisi HI sebanyak 14 buah kendaraan. Selanjutnya perhatikan bahwa: Bobot dari sisi $IG = \min(800, 247) = 247$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 247 buah kendaraan dari simpul I ke sisi IG .



Gambar 11. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 5
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ambil simpul G . Jumlah kendaraan yang ada di simpul G adalah sebanyak 447 buah kendaraan yang diperoleh dari sisi GJ sebanyak 200 buah kendaraan dan dari sisi GI sebanyak 247 buah kendaraan.



Gambar 12. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 6
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Selanjutnya perhatikan bahwa:

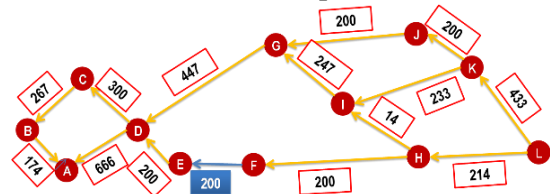
Bobot sisi $GD = \min(2199, 447) = 447$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 447 buah kendaraan dari simpul G ke sisi GD .

Ambil simpul F . Jumlah kendaraan yang ada di simpul F adalah sebanyak 200 buah kendaraan. Selanjutnya perhatikan bahwa:

Bobot dari sisi $FE = \min(800, 200) = 200$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 200 buah kendaraan dari simpul F ke sisi FE .

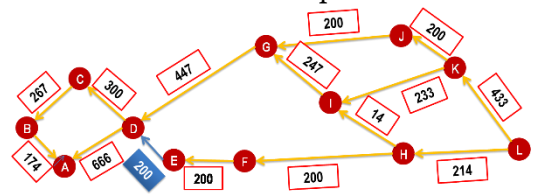


Gambar 13. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 7
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ambil simpul E . Jumlah kendaraan yang ada di simpul E adalah sebanyak 200 buah. Selanjutnya perhatikan bahwa:

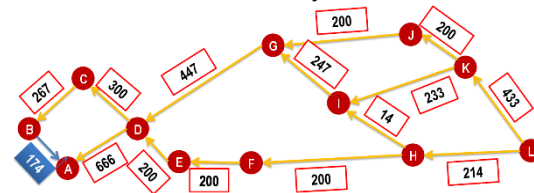
Bobot dari sisi $ED = \min(200, 200) = 200$.

Oleh karena itu, alihkan sebanyak 200 buah kendaraan dari simpul E ke sisi ED .



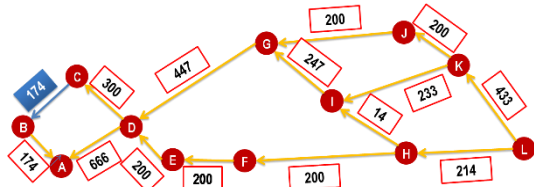
Gambar 14. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 8
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Untuk tahapan selanjutnya, dapat digunakan berbagai alternatif penyelesaian. Salah satu alternatif penyelesaian yang paling efektif adalah dengan meninjau sisi terakhir terlebih dahulu yaitu sisi AB .

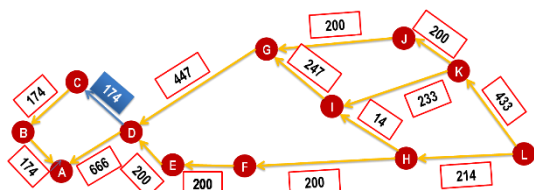


Gambar 15. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 9a
 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Hal ini dikarenakan sisi AB , sisi BC dan sisi CD akan membentuk garis lurus. Kapasitas kendaraan di sisi AB adalah 174 buah sehingga kapasitas sisi BC dan sisi CD juga 174 buah.

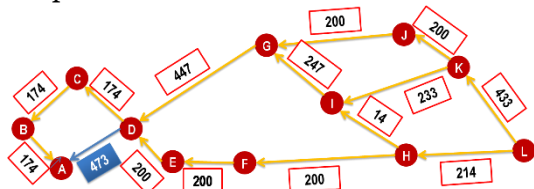


Gambar 16. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 9b
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)



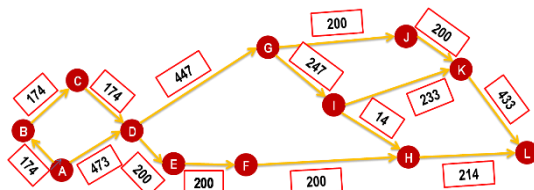
Gambar 17. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 9c
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ambil simpul D . Jumlah sisa kendaraan yang ada di simpul D adalah sebanyak 473 kendaraan. Selanjutnya perhatikan bahwa: Bobot dari sisi $DA = \min(666, 473) = 473$. Oleh karena itu, alihkan sebanyak 473 buah kendaraan dari simpul D ke sisi DA .



Gambar 18. Penghitungan Kapasitas Efektif Jalan Tahap 10
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

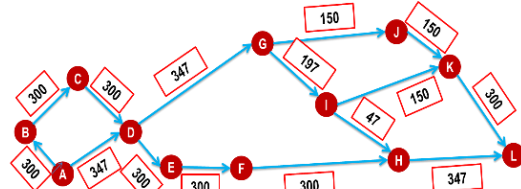
Setelah menemukan kapasitas efektif bagi setiap jalan, balik seluruh arah sisi graf ke arah semula.



Gambar 19. Kapasitas Efektif Jalan
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort*

Misal-kan dalam waktu satu menit, sebanyak 647 buah kendaraan memasuki simpul A menuju simpul L dengan distribusi kendaraan sebagaimana yang digambarkan oleh graf berikut:

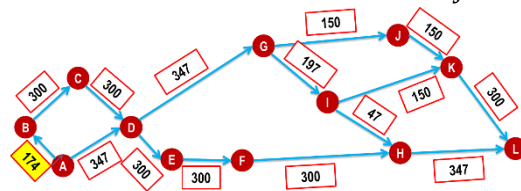


Gambar 20. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort*
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Dengan membandingkan Gambar 19 dan Gambar 20 dapat diketahui bahwa terjadi kemacetan di beberapa ruas jalan yaitu, sisi AB (Jalan Besar Ijen), sisi BC (Jalan Jakarta), sisi CD dan DE (Jalan Bogor), sisi EF (Jalan Mayjend. Panjaitan), sisi FH dan HL (Jalan M. T. Haryono), sisi HI (Jalan Gajayana). Selanjutnya, dihitung distribusi kendaraan sehingga jumlah kendaraan tidak melebihi kapasitas jalan.

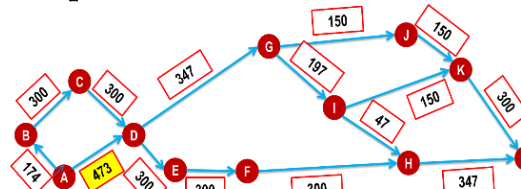
Tahapan 1

Tinjau garis AB , terdapat 300 kendaraan padahal kapasitas yang tersedia adalah 174 kendaraan. Ubah bobot AB menjadi 174.



Gambar 21. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 1
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 2

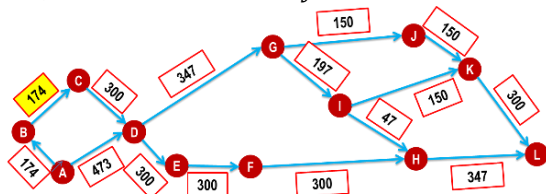


Gambar 22. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 2
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tinjau garis *AD* terdapat 347 kendaraan dan kapasitas yang tersedia adalah 473 kendaraan. Tambahkan sisa kendaraan di garis *AB* ke garis *AD*, sehingga jumlah kendaraan di garis *AD* sebanyak 473 buah dan bersesuaian dengan kapasitas *AD*. Ubah bobot *AD* menjadi 473.

Tahapan 3

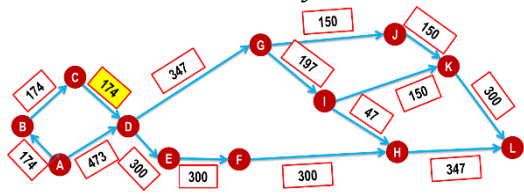
Tinjau garis *BC* yang akan menampung 174 buah kendaraan yang berasal dari garis *AB*, ubah bobot *BC* menjadi 174.



Gambar 23. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 3 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 4

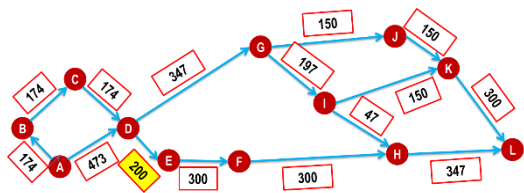
Tinjau garis *CD* yang akan menampung 174 buah kendaraan yang berasal dari garis *BC*, ubah bobot *CD* menjadi 174.



Gambar 24. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 4 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 5

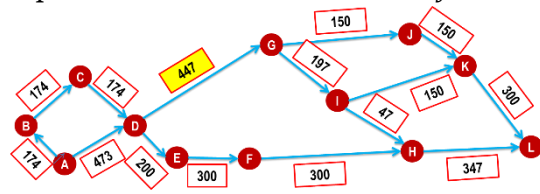
Tinjau garis *DE*, terdapat 300 kendaraan padahal kapasitas yang tersedia adalah 200 kendaraan. Ubah bobot *DE* menjadi 200.



Gambar 25. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 5 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 6

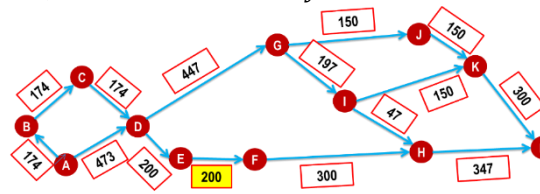
Tinjau garis *DG* terdapat 347 kendaraan dan kapasitas yang tersedia adalah 447 kendaraan. Tambahkan sisa kendaraan di garis *DE* ke garis *DG*, sehingga jumlah kendaraan di garis *DG* sebanyak 447 buah kendaraan dan bersesuaian dengan kapasitas *DG*. Ubah bobot *DG* menjadi 447.



Gambar 26. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 6 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 7

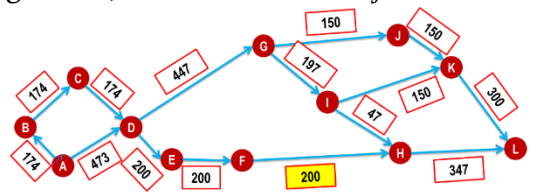
Tinjau garis *EF* yang akan menampung 200 buah kendaraan yang berasal dari garis *DE*, ubah bobot *EF* menjadi 200.



Gambar 27. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 7 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 8

Tinjau garis *FH* yang akan menampung 200 buah kendaraan yang berasal dari garis *EF*, ubah bobot *FH* menjadi 200.

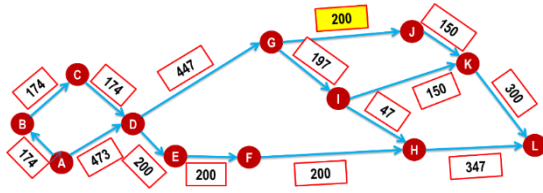


Gambar 28. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 8 (Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

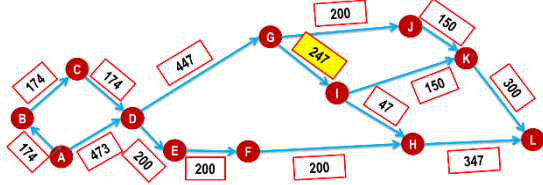
Tahapan 9

Tinjau simpul *G*, terdapat 447 buah kendaraan yang diperoleh dari sisi *DG*. Kemudian tinjau kapasitas sisi *GJ* dan *GI*. Jika 447 kendaraan di alihkan ke sisi *GJ* saja maka akan terjadi kemacetan. Hal yang sama juga akan terjadi jika 447 kendaraan dialihkan ke *GI* saja. Sehingga kendaraan harus dialihkan ke dua jalur sekaligus.

Kapasitas GJ adalah 200, maka alihkan 200 buah kendaraan dari DG ke GJ . Kapasitas GI adalah 247, maka alihkan 247 buah kendaraan dari DG ke GI .



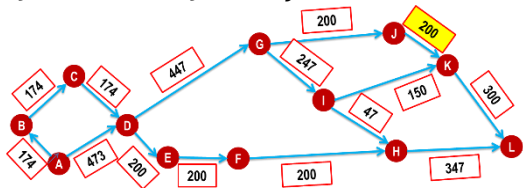
Gambar 29. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 9a
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)



Gambar 30. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 9b
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 10

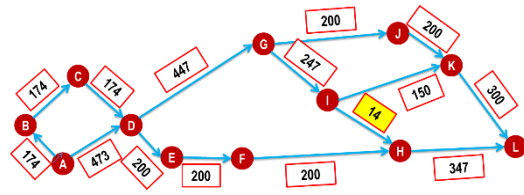
Tinjau garis JK yang akan menampung 200 buah kendaraan yang berasal dari garis GJ , ubah bobot JK menjadi 200.



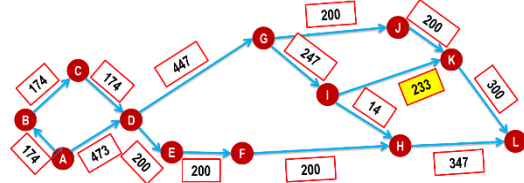
Gambar 31. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 10
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 11

Tinjau simpul I , terdapat 247 buah kendaraan yang diperoleh dari sisi GI . Kemudian tinjau kapasitas sisi IH dan IK . Jika 247 buah kendaraan di alihkan ke sisi IH saja maka akan terjadi kemacetan. Hal yang sama juga akan terjadi jika 247 kendaraan dialihkan ke sisi IK saja. Sehingga kendaraan harus dialihkan ke dua jalur sekaligus. Kapasitas IH adalah 14, maka alihkan 14 buah kendaraan dari GI ke IH . Kapasitas IK adalah 223, maka alihkan 223 buah kendaraan dari GI ke IK .



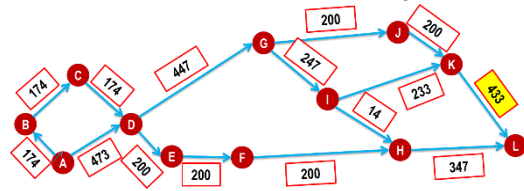
Gambar 32. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 11a
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)



Gambar 33. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 11b
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 12

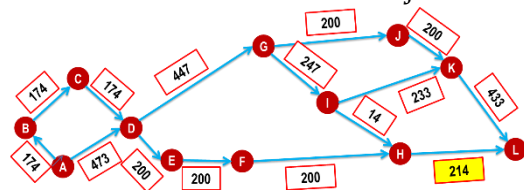
Tinjau simpul K , terdapat 200 kendaraan dari simpul JK dan 233 kendaraan dari simpul IK , sehingga kapasitas K sebesar 433 kendaraan. Ubah bobot KL menjadi 433.



Gambar 34. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 12
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

Tahapan 13

Tinjau simpul H , terdapat 200 kendaraan dari simpul FH dan 14 kendaraan dari simpul IH , sehingga kapasitas H sebesar 214 kendaraan. Ubah bobot HL menjadi 214.



Gambar 35. Ilustrasi Penerapan Algoritma *Topological Sort* Tahap 13
(Sumber: Dokumen Penulis, 2017)

KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun tahapan implementasi *topological sort* untuk mengatasi kemacetan lalu lin-tas adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan lokasi asal dan lokasi tujuan
- 2) Menghitung panjang jalan-jalan besar
- 3) Menghitung lajur setiap jalan
- 4) Menghitung ruas setiap jalan
- 5) Menghitung kapasitas setiap jalan
- 6) Menghitung kapasitas efektif jalan dengan menggunakan algoritma *topological sort*.

Algoritma *topological sort* secara teori terbukti dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif dalam menyelesaikan problem kemacetan lalu lintas. Dalam bentuk riil-nya dibutuhkan penelitian lebih lanjut agar manfaatnya dapat diakses oleh setiap pengguna jalan.

Penulis merekomendasikan kepada Pemerintah Kota Malang untuk senantiasa memantau arus lalu lintas yang ada. Selain itu penulis juga merekomendasikan agar Pemerintah Kota Malang dapat menambah jumlah Bus Halokes, memperpanjang jam kerjanya serta memperluas rute dan jangkauannya. Perluasan rute dan jangkauan Bus Halokes hendaknya dilakukan secara merata di wilayah Kota Malang sehingga seluruh sekolah di Kota Malang dapat dijangkau oleh bus tersebut.

Dengan adanya penambahan jumlah Bus Halokes serta perluasan rute dan jangkauannya, penulis merekomendasikan kepada orang tua siswa agar tidak lagi mengantarkan anaknya ke sekolah dengan menggunakan kendaraan pribadi. Hendaknya orang tua siswa dapat mendukung program Pemerintah Kota Malang dengan memanfaatkan fasilitas gratis berupa Bus Halokes ini dengan baik dan bijak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada bapak Dr. Sobri Abusini, M.T., selaku dosen Riset Operasi dari Program Studi Matematika Universitas Brawijaya yang telah memberikan koreksi, arahan dan masukan kepada penulis.

REFERENSI

- Astuti, Y. D. (2017). Logika dan Algoritma - Dasar Teori Graf. Retrieved January 17, 2017, from http://rifki_kosasih.staff.gunadarma.ac.id.
- Azizah. (2016). Review Bus Halokes, Antar Jemput Gratis Pelajar Ngalam. Retrieved February 20, 2017, from <https://iamsleepynow.wordpress.com>.
- Dennis. (2015). Kemacetan Lalu Lintas DKI Jakarta. Retrieved January 17, 2017, from <http://www.kompasiana.com>.
- Gunawan, I. (2011). Dampak Kemacetan Lalu Lintas. Retrieved January 18, 2017, from <http://ikhsangunawan.blog-detik.com>.
- Prasetyo, T., Djakfar, L., & Abusini, S. (2015). Evaluasi dan Potensi Pengoperasian Bus Sekolah. *Media Teknik Sipil*, Volume 13, Nomor 2, Hal 185-192.
- Rachmadani, J. F. (2016). *Identifikasi Kesesuaian Penerapan Kebijakan Bus Sekolah Gratis Terhadap Kebutuhan Moda Transportasi Pelajar di Kota Malang*. Skripsi Prodi PWK SAPPK Institut Teknologi Bandung.
- Utama, K. Y. (2014). *Aplikasi Topological Sort pada Kompilasi Makefile*. Artikel Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.
- Utari, N. D. (2014). Kemacetan Lalu Lintas. Makalah Bahasa Indonesia Universitas Islam Sultan Agung.
- Yafi, M. (2013). *Aplikasi Teori Graf dalam Algoritma Pengalihan Arus Lalu Lintas*. Artikel Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.