

SIMULASI OPTIMASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DI KOTA DEPOK DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN GREEDY BERBASIS GRAF

riwinoto¹, r. yugo kartono isal²

Politeknik Batam, Jurusan Teknik Informatika, Batam¹⁾, Universitas Indonesia, Fakultas Ilmu Komputer, Jakarta²⁾
riwi@polibatam.ac.id¹⁾, yugo@cs.ui.ac.id²⁾

ABSTRAK

Optimized traffic light control can reduce the level of congestion on the road. There has been much research done in the optimization of traffic control. One is the use of algorithms (old) with a micro approach, in which it's greedy aspect lies in the determination of the traffic light that has the highest density. This paper proposes using a macro approach (new), another greedy method based on open graph. In this method, the road is considered as an graph arc and its nodes are traffic lights. Greedy aspects of the proposed method is to get the node that has the greatest density of all existing nodes and then finding previous and next greatest node based on neighboring nodes recurrently until start and end node is found. Finally, best path as optimal solution found by new greedy. Based on Depok City Centre traffic light control Experiments proved that the new greedy (proposed method) have the same performance with old greedy but still better than the static control method.

Kata Kunci: Optimization of traffic light control, greedy, micro approach, macro approach, graph

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas menjadi salah satu masalah masyarakat perkotaan yang berimplikasi luas terhadap aspek kehidupan seperti kesehatan, produktivitas, ekonomi dan sebagainya. Salah satu penyebab adanya kemacetan adalah lampu lalu lintas pada setiap jalan yang selalu tetap (statis) untuk setting waktu lampu baik menyala merah, kuning dan hijau. Padahal pada kondisi nyata, sering terjadi kondisi yang tidak produktif dan menjadi penyebab kemacetan seperti lampu merah tapi jalan raya penuh kendaraan, di sisi jalan yang lain lampu hijau tapi jalan sepi kendaraan.

Kota Depok merupakan kota yang berkembang pesat sejak tahun 1990-an seiring dengan pembangunan kampus UI baru sejak tahun 1980-an. Perkembangan pesat terlihat dari munculnya perumahan-perumahan baru di kota Depok, pusat perbelanjaan, sekolah dan fasilitas umum lainnya. Akibatnya kepadatan lalu lintas di kota Depok meningkat dengan tajam dalam beberapa tahun terakhir. Dengan lokasinya yang strategis sebagai titik tengah antara Bogor dan Jakarta. Lalu lintas di kota Depok semakin sibuk seiring dengan peningkatan arus kendaraan dari Depok ke Jakarta serta sebaliknya. Oleh karena itu, dengan menghilangkan kemacetan di Depok akan berdampak positif terhadap kelancaran lalu lintas dari Depok ke Jakarta dan sebaliknya.

Paper untuk optimasi lampu lintas telah banyak dilakukan (Al Khateb, Yohari, Al Khateb 2008) mengusulkan penggunaan sensor RFID sebanyak 3 buah untuk setiap jalur dalam monitoring terhadap kepadatan kendaraan dalam jalur. Model tersebut dapat digunakan untuk *deployment* sistem real time dengan skala yang lebih kompleks dan seluruh kondisi model jalan seperti pertigaan atau perempatan. Jalur yang mempunyai kepadatan tinggi akan mempunyai delay waktu lampu hijau yang lebih tinggi dibandingkan delay lampu yang lain. (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) mengusulkan optimasi pengaturan lampu lintas sederhana menggunakan algoritma greedy menggunakan 2 sensor.

Penelitian (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) menggunakan algoritma greedy dalam optimasi pengaturan lampu lintas dengan menggunakan *micro approach* dimana pengaturan dilakukan secara lokal di setiap percabangan misalnya perempatan atau pertigaan. Dengan menggunakan sensor pada setiap jalur dapat diketahui jumlah kendaraan yang melewati jalur tersebut. Jalur yang mempunyai jumlah kendaraan terbesar akan memiliki *delay time* lampu hijau yang terbesar. Aspek greedy dalam cara tersebut adalah jika setiap lampu yang memiliki jumlah kendaraan terbesar memiliki *delay time* lampu hijau terbesar maka secara akumulatif lalu lintas akan memiliki jumlah kendaraan terkecil karena adanya pembebasan pergerakan kendaraan dari jalur-jalur yang memiliki jumlah kendaraan terbesar. Penelitian (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) hanya membahas mengenai pengaturan di percabangan jalan (*micro approaching*). Algoritma yang digunakan (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) disebut sebagai *old greedy*.

Dari paparan diatas, penulis mengusulkan paper dengan topik optimasi lampu lalu lintas di pusat kota Depok dengan algoritma greedy. Aspek yang akan dibahas adalah kasus lampu lintas di pusat kota Depok yang akan dipilih adalah

penggunaan graf, algoritma greedy beserta asumsi-asumsi yang digunakan. Jika penelitian (Al khateb, Yohari, Al khateb 2008) dan (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) menitik beratkan pada optimasi untuk satu lampu (*micro approach*) maka paper akan membahas pada optimasi N lampu (*macro approach*) dengan bantuan teori graf. Teknik Greedy berbasis graf pada penelitian ini kemudian disebut sebagai *new greedy*.

1.2. Tujuan

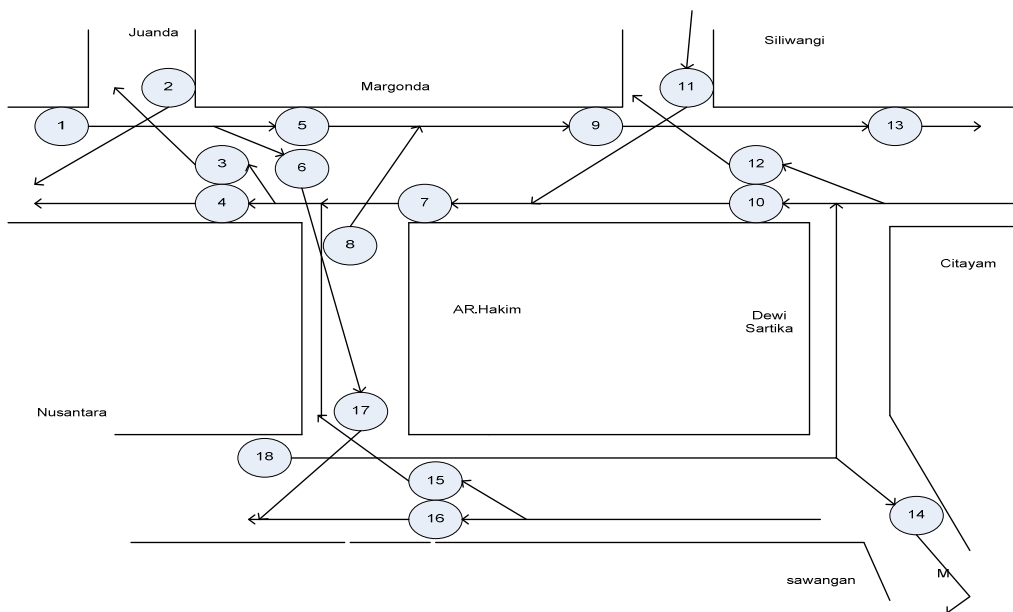
Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mengetahui dan memahami aspek-aspek graf pada teknik greedy untuk optimasi pengaturan lampu lalu lintas
- 2) Untuk mengetahui apakah pendekatan makro pada sistem pengaturan lampu menggunakan teknik greedy lebih baik daripada penggunaan waktu lampu lintas yang statis
- 3) Untuk mengetahui apakah pendekatan makro pada sistem pengaturan lampu menggunakan teknik greedy lebih baik dari pada pendekatan mikro

1.3. Definisi Masalah

Masalah yang diobservasi pada penelitian ini adalah:

1. Struktur graf meliputi node, busur dan konstrain yang digunakan dalam optimasi lampu lalu lintas dipelajari dan dianalisa
2. Penggunaan teknik greedy berbasis graf untuk mendapatkan lintasan jalan-jalan terpadat dipelajari dan dianalisa
3. Domain masalah adalah optimasi lampu lalu lintas pada pusat kota Depok dan terbatas pada beberapa jalan utama yaitu jalan margonda, juanda, dewi sartika, nusantara, A.R Hakim, siliwangi, citayam dan sawangan. Berikut adalah sketsa dari wilayah yang diobservasi.



Gambar 1: Denah Pusat Kota Depok

Jalan di Depok mempunyai jenis yaitu jalan 2 lajur, jalan 1 arah. Lampu lalu lintas dipasang sesuai dengan jenis jalan yang ada. Tanda lingkaran menyatakan lampu lalu lintas. Garis panah menyatakan arah jalan yang diberikan. Misalkan dari lingkaran 18 ke lingkaran 10 berarti kendaraan melewati lampu ke 18 dan lampu 10 tidak boleh sebaliknya. Asumsi yang diberikan adalah:

1. Kendaraan dalam sebuah persimpangan baik pertigaan atau perempatan diperbolehkan melewati lampu yang berwarna merah jika berbelok ke kiri. Sehingga dalam kasus ini lampu merah tidak digunakan untuk mengatur belok kiri tapi untuk mengatur belok kanan. Contoh dalam gambar terlihat ada garis panah yang menghubungkan antara lingkaran 6 ke lingkaran 17.
2. Jika jalan yang mempunyai 2 lampu maka jalan tersebut mengatur lajur kiri yang lurus dan lajur tengah yang berbelok ke kanan sedangkan Lajur kanan tidak beri lampu

Lampu mempunyai sensor yang akan menghitung densitas dari lajur yang dikontrol oleh lampu tersebut Al khateb, Yohari, Al khateb 2008) dan (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) .

Lampu kuning tidak ditangani karena hanya merupakan tanda peringatan dari hijau ke merah (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006) .

2. Teori Dasar

2.1 Algoritma Greedy

Algoritma greedy adalah mekanisme penyelesaian optimasi dengan mencari solusi secepatnya berdasarkan keadaan sekarang. Dalam greedy, solusi yang ditemukan bisa jadi bukan solusi global namun hanya solusi lokal (Matuszek, 2007). Untuk memecahkan persoalan dengan algoritma greedy, diperlukan elemen-elemen sebagai berikut: (Hartono, Saputra, Hutasoit, 2006)

- a. Himpunan kandidat, C
- b. Himpunan solusi, S
- c. Fungsi seleksi
- d. Fungsi kelayakan (feasible)
- e. Fungsi obyektif

Skema umum algoritma Greedy adalah:

- (i) Inisialisasi S dengan kosong
- (ii) Pilih sebuah kandidat C dengan fungsi seleksi
- (iii) Kurangi C dengan kandidat yang sudah dipilih dari langkah (ii) di atas.
- (iv) Periksa apakah kandidat yang dipilih tersebut bersama-sama dengan himpunan solusi membentuk solusi yang layak atau *feasible* (dengan fungsi kelayakan).
- (v) Periksa apakah himpunan solusi sudah memberikan solusi yang lengkap serta optimal (dengan fungsi obyektif)

2.2 Graf

Definisi dari suatu graf adalah himpunan benda-benda yang disebut verteks (atau node) yang terhubung oleh sisi (atau edge atau arc). Biasanya graf digambarkan sebagai kumpulan titik-titik (melambangkan verteks) yang dihubungkan oleh garis-garis atau busur (Anggara, 2008).

Suatu Graf G terdiri dari dua himpunan yaitu himpunan V dan himpunan E.

- a. Verteks (simpul) :V = himpunan simpul yang terbatas dan tidak kosong
- b. Edge (sisi/busur):E = himpunan busur yang menghubungkan sepasang simpul.

Node graf dapat merupakan objek seperti seperti kota, lampu lalu lintas, rumah, dan sebagainya. Busur dapat menunjukkan hubungan (relasi) sembarang seperti jalan raya, sambungan telepon, dan lain-lain. Notasi graf: G(V,E) artinya graf G memiliki V simpul dan E busur.

Graf yang digunakan dalam paper ini adalah graf berarah sebagaimana diterangkan oleh (Romelta,2003). Sebuah struktur graf bisa dikembangkan dengan memberi bobot pada tiap *edge*. Graf berbobot dapat digunakan untuk melambangkan banyak konsep berbeda. Sebagai contoh jika suatu graf melambangkan jaringan jalan maka bobotnya bisa berarti panjang jalan maupun batas kecepatan tertinggi pada jalan tertentu (Romelta,2003).

3. Metode Penelitian

3.1 Pembangunan Model graf

3.1.1 Implementasi Node

Node adalah simbol dari lampu lalu lintas. Dalam node terdapat beberapa informasi yaitu:

- a. Nomor node
- b. Jumlah densitas yang termonitor
- c. Status lampu (green,red)
- d. *Time delay*

Dari kasus diatas, terdapat 18 node yang merepresentasikan lampu lalu lintas.

3.1.2 Implementasi Busur

Busur adalah relasi dua buah node. Jika terdapat node A dan node B, maka busur (A,B) adalah vektor jalan dimulai dari lampu lalu lintas A dan berakhir di lampu lalu lintas B. Jika elemen pertamabusur adalah start maka start adalah sebuah daerah tempat kendaraan masuk ke dalam daerah jangkauan sistem optimalisasi. Contoh untuk kasus tersebut adalah busur (start,1). Jika elemen kedua adalah end maka end adalah sebuah daerah tempat tujuan kendaraan terakhir. Contoh untuk kasus tersebut adalah busur(2,end)

Dari problem yang ada berikut adalah daftar busur yang bisa diidentifikasi:

Tabel 1: daftar busur

Daftar Busur		
BUSUR(start1,1)	BUSUR(5,9)	BUSUR(1,end1)
BUSUR(start2,2)	BUSUR(6,17)	BUSUR(2,end2)

BUSUR(start2,10)	BUSUR(7,4)	BUSUR(3,end2)
BUSUR(start3,11)	BUSUR(8,9)	BUSUR(4,end2)
BUSUR(start2,12)	BUSUR(9,13)	BUSUR(9,end3)
BUSUR(start4,15)	BUSUR(10,7)	BUSUR(13,end4)
BUSUR(start4,16)	BUSUR(11,7)	BUSUR(12,end3)
BUSUR(start5,18)	BUSUR(15,4)	BUSUR(14,end5)
BUSUR(1,5)	BUSUR(18,10)	BUSUR(16,end6)
BUSUR(1,6)	BUSUR(18,12)	BUSUR(17,end6)

Dari tabel terlihat terdapat 8 cara masuk ke daerah problem dan 10 cara keluar daerah problem dengan daerah dengan 5 titik masuk dan 6 titik keluar.

3.2 Constraint

Constraint adalah aturan lokal untuk lampu lalu lintas dalam penyalaan lampu dengan melihat nyala lampu tetangga yang lain. Constraint muncul karena lampu-lampu tersebut berada pada percabangan jalan seperti perempatan atau pertigaan.

Daftar constraint yang merepresentasikan persoalan diatas adalah:

Constraint(A,B) yang berarti Node A mempunyai constrain B dan sebaliknya Node B mempunyai constrain A.

Daftar format constraint adalah sebagai berikut:

Tabel 2:Daftar Constraint

Daftar Constraint	
Constraint(1,2)	Constraint(9,11)
Constraint(1,3)	Constraint(9,12)
Constraint(2,3)	Constraint(11,12)
Constraint(6,7)	Constraint(15,17)
Constraint(6,8)	Constraint(15,18)
Constraint(7,8)	Constraint(17,18)

3.3 Implementasi algoritma umum (new) greedy berbasis graf

Mengacu pada pembahasan algoritma greedy, maka

Fungsi seleksi adalah fungsi mencari nilai densitas terbesar dari seluruh node atau dari seluruh node tetangga sebuah node.

Fungsi kelayakan adalah fungsi untuk mengeset lampu menjadi H dengan memperhatikan constraint node tersebut.

Fungsi obyektif

Fungsi objektif adalah fungsi penghitung total densitas.

Dari paparan diatas dapat dibuat algoritma umum dalam penyelesaian pencarian solusi optimal reduksi kepadatan lalu lintas

1. Inisialisasi

-Input node

-Input busur

-Input constraint

2.start loop

Start loop merupakan penanda sistem mulai bekerja.pada sistem real time, start loop dimulai ketika seluruh peralatan telah mulai dijalankan. Pada kasus di atas start loop dimulai dengan waktu 0 detik.

3. Accept Node Information density

Proses ini terus menerus mengupdate informasi kepadatan jalan dari sensor pada jalur dimana lampu lintas berada dalam periode waktu tertentu misalkan setiap 1 menit.

4.GetNodeTerpadat

Proses ini adalah permulaan algoritma greedy. Setiap lampu lalu lintas mengirimkan secara real time ke pusat pengatur lalu lintas. Pusat pengatur akan melakukan pencarian node tertinggi densitynya.

5. GetGraphOptimal

Proses ini mendapatkan graf terbuka yang menghubungkan node start sampai ke node end melewati node-node antara dimana salah satu dari anggota node antara tersebut adalah node terpadat global dan node sebelum dan sesudahnya merupakan node terpadat dari seluruh node tetangga sebelum dan sesudah node terpadat global dan seterusnya secara rekurens sampai ke node start dan end.

Dengan proses `getGraphOptimal` secara greedy, graf yang harus dicari cukup satu buah. Jika menggunakan pendekatan *dynamic programming* menjadi pekerjaan yang sangat memerlukan waktu sangat besar mengingat jumlah graph yang ada pada sistem lampu lalu lintas jumlahnya kombinatorial dan merupakan Non Polinomial (NP) Problem. Pencarian graf yang ada merupakan NP problem karena ketika jumlah node semakin banyak maka peningkatan jumlah graf menjadi lebih besar dibandingkan dengan peningkatan jumlah node.

6. Update Node Information

Setelah mendapatkan graf optimal maka dilakukan update informasi node yaitu set warna nyala lampu dan set waktu nyala. Proses update ini dilakukan oleh pusat pengaturan lalu lintas secara real time.

Sub proses dari update ini adalah sebagai berikut:

a. Update node dengan waktu nyala lampu merah = 120 detik

Dengan sistem pengaturan lampu secara dinamis menyebabkan ada node yang memiliki low priority terus mendapatkan sinyal lampu merah. Akibatnya akumulasi waktu nyala lampu merah pada node tersebut bisa melebihi waktu maksimum nyala lampu merah.

b. Update seluruh node anggota graf Optimal

Seluruh node anggota graf optimal diset nyala lampunya menjadi hijau sepanjang seluruh constraint dari anggota graf tersebut bukan merupakan node dengan nyala lampu merah =120 detik. Jika sebelum update, nyala node hijau maka waktu nyala hijau ditambah 1 menit. Jika sebelum nyala update nyala node merah maka waktu nyala hijau diset 30 detik.

c. Update seluruh node sisa

Seluruh node anggota sisa diupdate sesuai dengan jadwal reguler yaitu jika nyala lampu telah 30 detik maka diupdate ke nyala lampu yang berlawanan.

7. End loop

End loop digunakan sebagai sinyal berhentinya sistem. Dalam kasus diatas, end loop didefinisikan ketika waktu mencapai 150 detik.

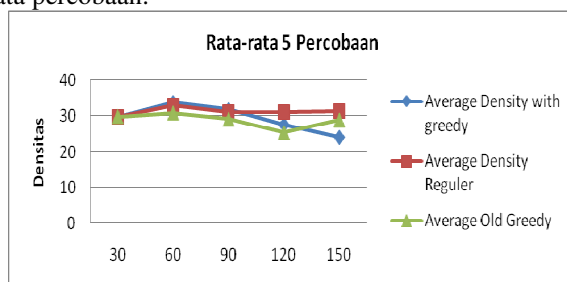
4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Perbandingan Kinerja

Simulasi yang dilakukan menggunakan tool Microsoft Excel. Berikut ini hasil perbandingan rata-rata densitas lampu dengan greedy dan dengan reguler dari 5 kali percobaan. Periode waktu yang digunakan adalah 150 detik untuk melihat efek secara total penggunaan algoritma setelah satu siklus lampu perempatan (120 detik). Percobaan dengan menggunakan nilai random untuk :

1. Inisialisasi densitas awal dari seluruh lampu
2. Pengisian nilai input dari setiap node titik masuk yaitu node 1,2,10,11,12,15,16 dan 18 dalam setiap setengah menit
3. Siklus perubahan nyala lampu dari merah-hijau dan sebaliknya secara reguler adalah 30 detik, untuk kasus pertigaan maka setiap lampu mendapatkan kuota 30 detik menyala hijau dalam 120 detik.

Berikut adalah gambar rata-rata percobaan:



Gambar 2: rata-rata 5 percobaan

4.2 Analisa hasil

4.2.1 Perbandingan tingkat densitas new greedy dengan reguler

Dari tabel perbandingan rata-rata 5 kali hasil percobaan menunjukkan pada detik ke 60 dan 90 tingkat densitas dengan greedy masih lebih besar dibandingkan dengan reguler. Namun pada detik ke 120 dan 150 tingkat densitas dengan greedy lebih kecil dibandingkan dengan reguler.

Dari perbandingan tiap percobaan, ternyata pola rata-rata tidak sama dengan pola tiap percobaan. Contohnya pada percobaan kedua sejak detik ke 30 tingkat densitas dengan greedy lebih kecil dibandingkan tingkat densitas dengan reguler. Kondisi pada suatu detik tertentu tingkat densitas algoritma greedy lebih besar dibandingkan dengan tingkat densitas dengan reguler disebabkan graf terbuka optimal yang dihasilkan bukanlah solusi global optimum tapi hanya solusi lokal. Artinya adalah graf terbuka optimal yang dihasilkan masih lebih kecil total densitasnya dibandingkan

dengan graf terbuka terbesar hasil dari cara reguler. Hal-hal tersebut disebabkan:

1. Graf terbuka optimal relatif pendek dibandingkan dengan graf terbuka yang lain. Misalnya detik ke 0 node 12 mempunyai densitas terbesar maka graf optimal yang dihasilkan adalah start-12-end. Dengan hanya 1 node, total densitas digraf tersebut dapat lebih kecil dari total densitas di graf yang lain.
2. Graf terbuka optimal mempunyai anggota-anggota node yang total densitasnya lebih rendah daripada graf terbuka yang lain. Misalnya pada suatu detik tertentu graf optimal start-1-5-9-13-end mempunyai nilai densitas 80-10-0-20, totalnya adalah 110. Terdapat graf lain misalkan start-15-4-end dengan tingkat densitas 75-70, totalnya adalah 145. Jadi terlihat bahwa graf optimal yang dihasilkan adalah graf global optimal karena masih ada graf lain yang nilai densitasnya lebih besar dari graf optimal tersebut.

Meskipun demikian dari hasil rata-rata menunjukkan bahwa didetik ke 120, graf terbuka artinya total densitas graf optimal greedy selalu lebih besar dibandingkan dengan total densitas graf hasil sistem reguler.

4.2.2 Perbandingan New greedy dengan Old Greedy.

Dari tabel terlihat secara umum dari detik 60-120, nilai densitas new greedy lebih besar dibandingkan dengan old greedy namun setelah itu dengan tajam nilai densitas old greedy naik sedangkan nilai densitas new greedy menurun. Secara total rata-rata densitas dalam 0-150 detik, nilai densitas new greedy relatif sama dengan old greedy dengan perbandingan 28,62578 : 28,78444.

Fenomena yang menarik dari old greedy adalah pada awal siklus lampu percabangan menunjukkan hasil yang baik namun di akhir siklus menunjukkan hasil buruk. Hal ini disebabkan delay waktu hijau pada awal siklus membuat terjadinya penumpukan densitas di akhir siklus. Langkah greedy di akhir siklus terhambat karena adanya pembatasan waktu toleransi nyala lampu merah dimana lampu yang menunjukkan densitas tertinggi tidak dapat dihidupkan dengan segera karena harus menunggu lampu lain yang waktu delay merahnya sudah melebihi ambang batas (120 detik). Dari perbandingan dimana old greedy dan new greedy mempunyai hasil yang relatif sama menunjukkan greedy di kedua algoritma tersebut memang bukan solusi global optima.

5. Kesimpulan

1. Konsep node, busur, dan konstrain pada graf diperlukan pada optimasi pengaturan lampu lalu lintas menggunakan greedy berbasis graf
2. Hasil ujicoba menunjukkan solusi optimal yang ditemukan dengan algoritma greedy bukanlah selalu solusi global optimal karena graf solusi optimal relatif pendek dan atau terdapat graf lain yang total densitasnya lebih besar dari total densitas graf optimal tersebut.
3. Hasil ujicoba new greedy yang diusulkan menghasilkan performansi yang sama dengan old greedy dari paper yang lain meskipun kedua algoritma mempunyai karakteristik yang berbeda.
4. Penggunaan algoritma greedy baik old greedy maupun new greedy yang menghasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan penjadwalan lampu lalu lintas yang statis.

6. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan:

1. Cakupan wilayah yang sempit, hanya jalan besar disekitar pusat kota Depok
2. Teknologi sensor pemantau kepadatan jalan raya belum dimiliki
3. Sistem kontrol lampu dari pusat monitor belum dimiliki

Daftar Referensi

- [1] Khalid A. S. Al-Khateeb, Jaiz A.Y. Johari and Wajdi F. Al-Khateeb, Dynamic Traffic Light Sequence Algorithm Using RFID, Journal of Computer Science 4 (7): 517-524, 2008 ISSN 1549-3636 © 2008 Science Publications
- [2] Rocky Hartono, Devis Wawan Saputra, Joel THP Hutasoit, Penerapan Algoritma Greedy pada Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Sederhana, Makalah STMIK 2006-48
- [3] Matuszek, Greedy Algorithm, www.cis.upenn.edu/~matuszek/cit594-2007/Lectures/39-greedy.ppt, diakses terakhir 10 mei 2009
- [4] Fajar Dwi Anggara, Studi dan Implementasi Struktur Data Graf, <http://webmail.informatika.org/~rinaldi/Matdis/2008-2009/Makalah2008/Makalah0809-097.pdf> diakses terakhir 1 februari 2010
- [5] Edwin Romelta, Metode Pencarian Lintasan Terpendek Dalam Graf, JURNAL ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI, VOL III NO.2, OKTOBER 2003