

Penerapan Algoritma *Branch and Bound* dalam Lampu Lalu Lintas Pintar

Studi Kasus : Perempatan Simpang Dago

Steffi Indrayani - 13514063

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

13514063@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—*Smart city* atau kota pintar menjadi salah satu ukuran berkembangnya suatu zaman, terutama dalam bidang teknologi, informasi, dan komunikasi. Kota pintar merupakan visi untuk mengintegrasikan teknologi, informasi, dan komunikasi tersebut untuk meningkatkan kualitas hidup penduduk kota dan meningkatkan kesanggupan pelayanan kepada penduduk kota. Salah satu sektor yang sedang dikembangkan dalam mewujudkan kota pintar tersebut adalah sektor manajemen lalu lintas. Dalam sektor manajemen lalu lintas, hal vital yang memanfaatkan teknologi, informasi, dan komunikasi adalah lampu lalu lintas. Oleh karena itu, perlu diciptakan suatu lampu lalu lintas pintar yang tidak bergantung pada waktu perubahan warna lampu, namun melihat kondisi lalu lintas sehingga perubahan warna lampu disesuaikan dengan kepadatan lalu lintas. Pada makalah ini, penulis menggunakan algoritma *Branch and Bound* dalam memecahkan masalah lampu lalu lintas pintar. Penulis juga mengambil perempatan Simpang Dago dalam mengamati, menganalisis, dan memecahkan masalah lampu lalu lintas pintar.

Kata kunci—*Branch and Bound, kota pintar, lampu lalu lintas, pohon*

I. PENDAHULUAN

Dalam acara *Indosat ICT Conference 2.0* pada dua tahun silam, Walikota Bandung, Ridwan Kamil menyatakan tekadnya dalam membangun kota pintar atau *smart city* Bandung. Menurutnya, *smart city* dapat menciptakan kota yang seluruh penduduknya bisa saling terhubung dan pemerintah dapat mengatur, membantu, dan mengendalikan kehidupan penduduknya ke arah yang lebih baik dengan bantuan teknologi, informasi, dan komunikasi. Selain itu, pemerintahan menjadi lebih transparan, yakni dengan membuat akun di media sosial untuk masing-masing dinas dan instansi sehingga warganya dapat menilai kinerja pemerintah. Ridwan Kamil juga ingin menciptakan Bandung *Digital Valley* yang merupakan pusat inkubasi bisnis *startup*, dan juga sebuah tempat yang menjadi pusat pemantauan dan pemecahan masalah di Bandung dengan bantuan teknologi.[1] Oleh karena

tekad Ridwan Kamil, Bandung akhirnya masuk menjadi finalis *World Smart City Awards* pada tahun 2015. Walaupun demikian, masih ada satu masalah yang belum terpecahkan yang ada di kota Bandung.

Lalu lintas di Bandung seringkali menjadi sorotan karena begitu dipadati oleh kendaraan bermotor. Kota Bandung yang luas wilayahnya tidak mencapai 17 ribu hektar ini setiap harinya dikunjungi oleh lebih dari 250 ribu kendaraan bermotor dari luar kota Bandung, belum lagi Angkot di Bandung yang jumlahnya lebih 12 juta unit dan kendaraan pribadi milik penghuni kota Bandung. Banyak sekali orang yang mengeluh mengenai macetnya kota Bandung. Ridwan Kamil sendiri ingin mengembangkan sistem transportasi pintar, yakni sistem parkir pintar dan Trans Metro Bandung. Penulis sendiri mengajukan solusi lain untuk mengatasi kemacetan di kota Bandung, yakni dengan menerapkan lampu lalu lintas pintar.

Lampu lalu lintas biasanya beroperasi berdasarkan waktu (dalam menit atau detik) yang telah ditentukan oleh petugas lalu lintas. Lampu merah dinyalakan dalam waktu yang ditentukan agar kendaraan berhenti dan membiarkan kendaraan lain dalam sisi jalan lainnya berjalan, selanjutnya lampu hijau dinyalakan agar kendaraan tersebut dapat berjalan melewati persimpangan jalan tersebut. Akan tetapi, dalam praktiknya, seringkali kendaraan dibuat berhenti, padahal di sisi jalan lain tidak ada kendaraan sama sekali sehingga kendaraan tersebut menunggu untuk waktu yang sia-sia. Berhentinya kendaraan dalam waktu yang sia-sia tersebut juga dapat menyebabkan kemacetan yang tidak berarti. Selain menyebabkan kemacetan yang tidak berarti, kendaraan menunggu secara sia-sia tersebut juga menyebabkan konsumsi bahan bakar yang tidak berarti dan membuang waktu.

Penulis mengamati salah satu perempatan terpadat di Bandung, yakni perempatan Simpang Dago. Seringkali terjadi kemacetan di perempatan tersebut, bukan hanya karena padatnya kendaraan di sana, melainkan juga pada waktu-waktu tertentu juga disebabkan oleh kendaraan-kendaraan yang dibiarkan menunggu sia-sia. Oleh karena itu, penulis mengajukan pembuatan lampu lalu lintas pintar pada

persimpangan tersebut. Perempatan Simpang Dago sendiri penulis pilih sebagai objek pengamatan karena perempatan tersebut cocok untuk diamati dan dekat dengan tempat kuliah penulis¹ dan banyak universitas lainnya².



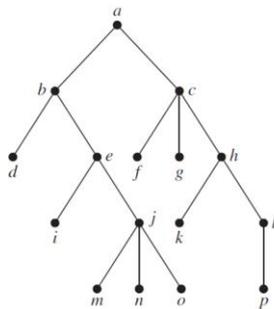
Gambar 1. Perempatan Simpang Dago

Sumber : <http://www.inilahkoran.com/berita/bandung>

Lampu lalu lintas pintar yang diterapkan tidak akan beroperasi berdasarkan waktu saja, tetapi juga berdasarkan kondisi jalanan sehingga kendaraan tidak dibiarkan menunggu sia-sia. Hal ini akan mengurangi kemacetan dan juga konsumsi bahan bakar secara signifikan. Dalam menerapkan lampu lalu lintas pintar, pengguna memanfaatkan algoritma *Branch dan Bound*. Algoritma ini akan menentukan lampu lalu lintas mana yang akan menyalakan lampu hijau dan lampu lalu lintas mana yang akan menyalakan lampu merah dengan mengembangkan suatu pohon ruang status dan berdasarkan fungsi pembatas tertentu.

II. LANDASAN TEORI

A. Pohon



Gambar 2. Pohon Berakar

Sumber : <http://mymathangels.com/>

Pohon merupakan graf terhubung yang tidak membentuk sirkuit. Pohon berakar adalah pohon yang memperlakukan sebuah simpulnya sebagai akar dan sisi-sisinya diberi arah. Pada pohon berakar, terdapat beberapa terminologi, yakni anak (simpul yang terhubung dan satu level lebih bawah), orangtua

(simpul yang terhubung dan satu level lebih atas), lintasan (simpul-simpul yang menghubungkan simpul satu ke simpul tujuan), saudara kandung (simpul yang memiliki simpul orangtua yang sama), daun (simpul yang tidak memiliki anak), aras (level suatu simpul), dan kedalaman (aras maksimum pohon).[2]

Pada algoritma *Branch and Bound*, pohon dimanfaatkan untuk pembangunan ruang status, disebut juga pohon ruang status. Pohon ruang status merupakan pohon dinamis yang dikembangkan untuk mencapai suatu solusi dalam permasalahan. Simpul menggambarkan status permasalahan, akar menggambarkan status inisiasi dan daun menggambarkan status solusi. Setiap simpul diberikan bobot berdasarkan fungsi pembatas dari algoritma *Branch and Bound*. Cabang menggambarkan langkah-langkah dalam persoalan. Solusi yang dihasilkan merupakan lintasan dari akar ke status solusi.

B. Algoritma Branch and Bound

Algoritma *Branch and Bound* merupakan algoritma yang digunakan dalam mengoptimasi suatu persoalan tanpa melanggar batasan persoalan tersebut. Cara kerja algoritma *Branch and Bound* adalah dengan membangun suatu pohon ruang status. Setiap simpul pada pohon diberi nilai *cost* yang merupakan taksiran lintasan termurah ke simpul status solusi. Tujuannya adalah agar tidak semua simpul dibangkitkan, tetapi hanya simpul dengan nilai *cost* paling optimal. Pembangkitan simpul umumnya menggunakan aturan *best-first rule*.

Cara penentuan *cost* masing-masing simpul menerapkan fungsi pembatas atau fungsi obyektif. Jika nilai fungsi obyektif tidak lebih baik dari nilai terbaik, tidak merepresentasikan solusi yang *feasible*, dan melanggar batasan, maka simpul tersebut dimatikan. Solusi yang *feasible* adalah solusi terbaik dari simpul lainnya. Algoritma tersebut dapat digambarkan dengan daftar antrian *priority queue* atau dengan pohon ruang status.

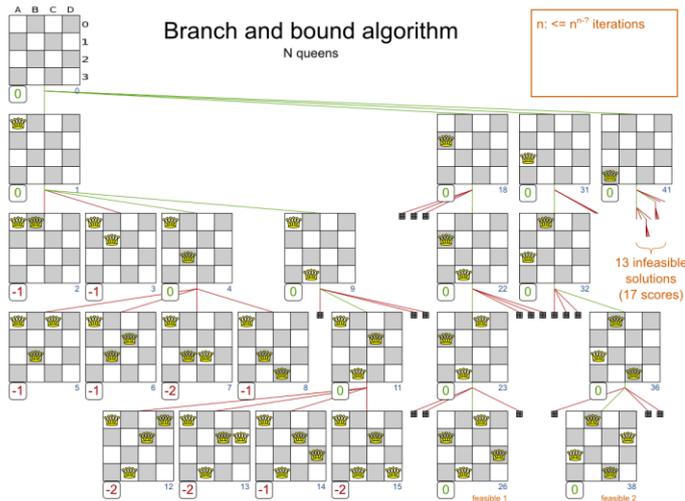
Berikut algoritma Branch and Bound secara umum:

1. Masukkan simpul akar ke dalam antrian Q . Jika simpul akar adalah simpul solusi, maka solusi telah ditemukan. Berhenti.
2. Jika Q kosong, tidak ada solusi. Berhenti.
3. Jika Q tidak kosong, pilih antrian Q simpul ke i yang mempunyai nilai *cost* $\hat{c}(i)$ paling optimal. Jika terdapat beberapa simpul i yang memenuhi, ikuti aturan *best-first rule* atau pilih secara sembarang.
4. Jika simpul i adalah simpul solusi, berarti solusi sudah ditemukan, berhenti. Jika simpul i bukan simpul solusi, maka bangkitkan semua anak-anaknya. Jika i tidak mempunyai anak, kembali ke langkah 2.
5. Untuk setiap anak j dari simpul i , hitung $\hat{c}(j)$, dan masukkan semua anak-anak tersebut ke dalam Q .
6. Kembali ke langkah 2. [3]

¹ Institut Teknologi Bandung

² Unpad, Unpar, Unikom, ITHB, dan Unisba.

Algoritma *Branch and Bound* diterapkan pada beberapa persoalan, yakni persoalan N-Ratu, persoalan *Travelling Salesman Problem*, *15-Puzzle*, *Knapsack Problem*, dan persoalan-persoalan lainnya.



Gambar 3. Pemecahan Persoalan N-Ratu dengan Algoritma *Branch and Bound*.

Sumber : <https://docs.jboss.org/>

C. Smart Traffic Light “Lampu Lalu Lintas Pintar”



Gambar 4. Lampu Lalu Lintas Pintar

Sumber : <http://smartcity.bcn.cat/en/smart-traffic-lights.html>

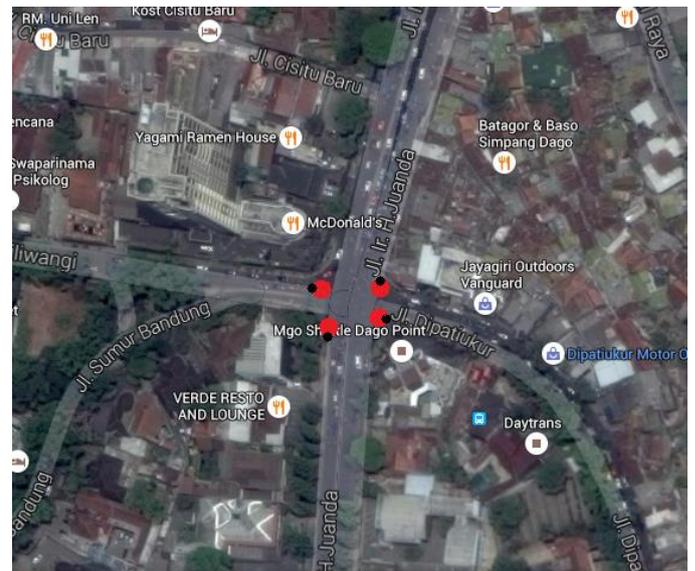
Lampu lalu lintas pintar adalah sebuah sistem lampu lalu lintas yang memanfaatkan teknologi dan intelegensi buatan agar lampu lalu lintas dapat “berpikir” sendiri apa yang harus dilakukan berdasarkan lalu lintas saat itu. Sistem ini menggunakan proses pengiriman sinyal dan perekaman keadaan lalu lintas saat itu.

Misalkan pada sebuah perempatan, terdapat empat buah lampu lalu lintas. Masing-masing lampu memiliki sebuah kamera untuk merekam keadaan lalu lintas. Beberapa sistem tidak menggunakan kamera dalam menangkap keadaan lalu lintas, tetapi menggunakan sensor penangkap sinyal kendaraan atau menggunakan perangkat nirkabel pendeteksi kendaraan

Sistem kemudian menganalisis keadaan lalu lintas, berapa banyak mobil yang bergerak ke arah masing-masing lampu. Sistem kemudian merancang sebuah jadwal pergantian lampu hijau ke lampu merah atau lampu merah ke lampu hijau untuk masing-masing lampu dan mengomunikasikannya ke semua lampu. Setiap lampu harus “mengetahui” jadwal semua lampu dan keadaan lalu lintas semua jalur. Masing-masing lampu lalu lintas bekerja sesuai dengan jadwal tersebut. Proses penjadwalan dilakukan pada setiap satuan waktu tertentu mengikuti keadaan lalu lintas.[4]

Proses penjadwalan tersebut bergantung pada dua hal, yakni kepadatan masing-masing jalur, dan waktu maksimal bergerak atau berhenti.

III. ANALISIS KEADAAN LALU LINTAS SIMPANG DAGO



Gambar 5. Perempatan Simpang Dago

Sumber : <https://www.google.co.id/maps>

Perempatan Simpang Dago membatasi empat ruas jalan, yakni Jalan Ir. H. Juanda bagian lebih Utara ke arah , Jalan Ir. H. Juanda bagian lebih Selatan, Jalan Dipati Ukur, dan Jalan Siliwangi. Keempat Jalan tersebut merupakan jalan besar yang hampir setiap saat dipadati oleh kendaraan.

Perempatan Simpang Dago sendiri memiliki empat buah lampu lalu lintas aktif. Letak lampu lalu lintas dapat dilihat pada gambar di atas. Titik merah menggambarkan letak lampu lalu lintas dan titik hitam menggambarkan arah lampu lalu lintas tersebut.

Penulis mengamati kondisi lalu lintas perempatan Simpang Dago berdasarkan kepadatan jalan pada saat lampu sedang menyala berwarna merah. Kepadatan jalan diukur dari banyaknya mobil per satuan luas wilayah jalan tersebut. Adapun luas wilayah jalanan dapat dilihat pada tabel di bawah ini,

No.	Nama Jalan	Luas Wilayah
1	Ir. H. Juanda Utara	2932.3973 m ²
2	Ir. H. Juanda Selatan	4021.7750 m ²
3	Dipati Ukur	1255.9564 m ²
4	Siliwangi	815,6416 m ²

Tabel 1. Luas Wilayah Jalan

Sumber : Dokumen Pribadi

Adapun pengukuran luas wilayah masing-masing jalan ini dilakukan berdasarkan lebar dikali panjang jalan. Penulis mengukur panjang dan lebar jalan dengan aplikasi *measure distance* pada *Google Maps*. Panjang jalan yang dimaksud adalah jarak dari perempatan simpang dago sampai ke persimpangan selanjutnya. Untuk Jalan Ir. H. Juanda Utara, panjang jalan diukur dari perempatan simpang dago sampai tempat putar balik depan Jalan Tubagus Ismail, sedangkan panjang Jalan Ir. H Juanda bagian Selatan diukur dari perempatan Simpang Dago sampai ke pertigaan Jalan Dayang Sumbi. Untuk Jalan Dipati Ukur, panjang jalan diukur dari perempatan Simpang Dago sampai pertigaan Raden Patah, sedangkan panjang Jalan Siliwangi diukur dari perempatan Simpang Dago sampai ke pertigaan jalan ke arah Jalan Sangkuriang. Pengukuran panjang jalan tersebut dilakukan dengan pemikiran bahwa kendaraan bisa saja dialihkan ke jalan-jalan tersebut tanpa harus ke arah perempatan Simpang Dago.

Keadaan perempatan Simpang Dago dengan luas wilayah yang telah disebutkan tersebut tidaklah menentu juga. Terkadang satu ruas jalan lebih ramai dari ruas jalan lainnya, dan terkadang juga semua ruas jalan sama ramainya. Akan tetapi, penulis melihat waktu yang telah diatur pada masing-masing lampu lalu lintas berbeda-beda dan terkadang tidak sesuai dengan keadaan jalan, contohnya saja lampu lalu lintas pada Jalan Dipati Ukur menuju ke Jalan Siliwangi diatur agar lampu merah menyala selama tiga menit dan lampu hijau menyala hanya untuk 30 detik saja, sedangkan lampu lalu lintas di jalan Ir. H. Juanda Utara menuju Jalan Ir. H. Juanda Selatan diatur agar lampu merah menyala selama 100 detik saja dan lampu hijau menyala selama satu menit. Untuk beberapa keadaan, pengaturan waktu lampu tersebut mungkin cukup mangkus mengingat Jalan Ir. H. Juanda cukup banyak dilewati kendaraan dibandingkan dengan jalan lainnya, namun tidak setiap saat keadaan tersebut mangkus. Penulis mengamati bahwa mobil cenderung lebih banyak berhenti menunggu lampu merah di Jalan Dipati Ukur ketimbang di Jalan Ir. H. Juanda. Selain itu, dapat dilihat bahwa Jalan Ir. H. Juanda lebih luas dibandingkan dengan jalan lainnya. Oleh karena itu, pengaturan waktu lampu lalu lintas yang tepat dalam setiap kondisi apapun sangat dibutuhkan pada perempatan Simpang Dago

IV. PENERAPAN ALGORITMA BRANCH AND BOUND PADA LAMPU LALU LINTAS PINTAR

Setelah menganalisis kondisi jalan perempatan Simpang Dago, penulis mengajukan suatu metode penjadwalan lampu lalu lintas pintar dengan menggunakan algoritma *Branch and Bound*. Penjadwalan ini penulis lakukan dengan pemikiran bahwa suatu lampu lalu lintas pintar telah dipasang di perempatan Simpang Dago dengan sistem sensor yang lengkap. Adapun penjadwalan dilakukan setelah sistem menerima berapa banyak kendaraan yang ada pada jalan.

Penulis memberikan spesifikasi bahwa setiap kendaraan pada masing-masing ruas jalan hanya boleh menunggu paling lama 135 detik. Jadi, *default* lama lampu merah masing-masing jalan adalah 135 detik dan lampu hijau adalah 45 detik. Total waktu yang ada pada masing-masing jalan adalah 180 detik, dengan asumsi pergantian lampu hijau ke lampu kuning ke lampu merah dan sebaliknya sudah ada di dalamnya. Waktu *default* ini diberlakukan jika masing-masing ruas jalan dalam kepadatan yang sama.

Selanjutnya, penulis akan melakukan penjadwalan jika keadaan yang bukan merupakan keadaan *default*. Setiap penjadwalan dilakukan dalam waktu tiga menit dan untuk tiga menit ke depan. Jika analisis sistem menyatakan bahwa keadaan jalan masih sama dengan keadaan jalan sebelumnya, maka penjadwalan tidak perlu dilakukan, tetapi menggunakan jadwal sebelumnya. Proses penjadwalan dilakukan secara terus menerus.

Proses penjadwalan dimulai dengan mencatat kepadatan jalan masing-masing ruas dengan cara menghitung berapa banyak kendaraan pada masing-masing ruas pada saat lampu merah (berhenti) karena lebih memungkinkan untuk dihitung ketimbang saat bergerak. Sistem mengasumsikan setiap kendaraan berukuran sama. Berikut contoh perhitungan kepadatan jalan.

No.	Jalan	Luas Wilayah	Banyak Kendaraan	Kepadatan (kendaraan/m ²)
1	Ir. H. Juanda Utara	2932.3973 m ²	60	0,0205
2	Ir. H. Juanda Selatan	4021.7750 m ²	100	0,0249
3	Dipati Ukur	1255.9564 m ²	40	0,0318
4	Siliwangi	815,6416 m ²	25	0,0307
Total			225	0,108

Tabel 2. Perhitungan Kepadatan Jalan

Sumber : Dokumen Pribadi

Setelah perhitungan kepadatan dilakukan, dilakukan penjadwalan. Penjadwalan dilakukan dengan membangkitkan simpul-simpul pada pohon. Suatu simpul menggambarkan pada jalan mana lampu hijau dinyalakan. Kemudian, setiap simpul diberikan bobot, yakni waktu berapa lama lampu hijau menyala. Fungsi obyektif bobot simpul adalah sebagai berikut:

$$c(i) = \frac{\text{kepadatan}(\text{jalan}[j])}{\text{kepadatan total}} \times 180 \text{ detik}, \quad 1 \leq j \leq \text{banyak kota} \quad (1)$$

Bobot tersebut tidak hanya digunakan untuk perhitungan lama lampu hijau menyala pada masing-masing jalan, tetapi juga untuk menghitung total waktu lampu merah menyala di jalan lainnya. Persamaan lampu merah menyala adalah sebagai berikut.

$$\hat{g}(j) = \hat{c}(i) + \hat{h}(j) \quad (2)$$

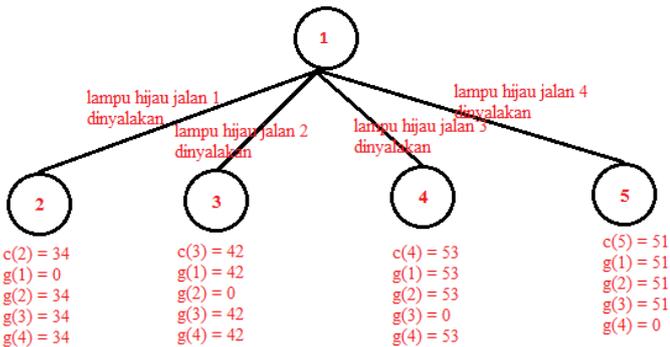
dengan $\hat{g}(j)$ adalah lama lampu merah pada jalan ke- j , $\hat{c}(i)$ adalah bobot simpul, dan $\hat{h}(j)$ lama lampu merah dari lampu hijau sebelumnya. Sebagai batasan, nilai $\hat{g}(j)$ tidak boleh lebih dari 135 detik. Nilai $\hat{g}(j) = 0$ jika lampu lalu lintas jalan ke- j sedang dalam keadaan hijau.

Selanjutnya, penulis akan membangkitkan pohon penjadwalan lampu lalu lintas dengan algoritma *Branch and Bound*. Penulis memisalkan Jalan Ir. H. Juanda bagian Utara adalah jalan ke-1, Jalan Ir. H. Juanda bagian Utara adalah jalan ke-2, Jalan Ir. H. Juanda bagian Utara adalah jalan ke-3, dan Jalan Ir. H. Juanda bagian Utara adalah jalan ke-4. Sebagai contoh, karena proses penjadwalan lampu lalu lintas yang pertama, maka nilai bobot akar adalah nol.

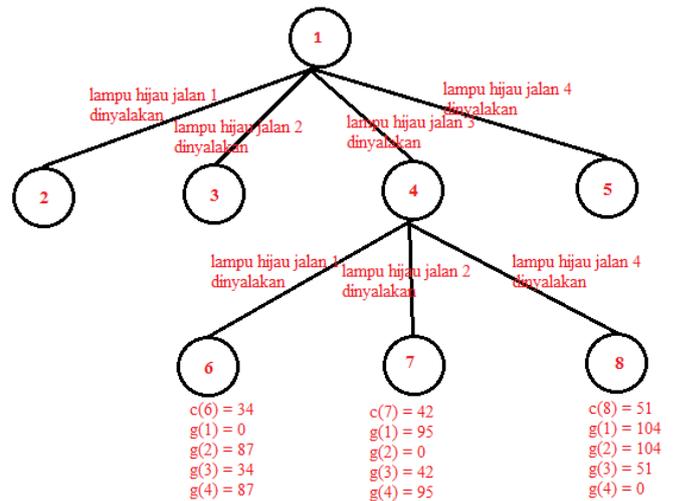


$c(1) = 0$
 $g(1) = 0$
 $g(2) = 0$
 $g(3) = 0$
 $g(4) = 0$

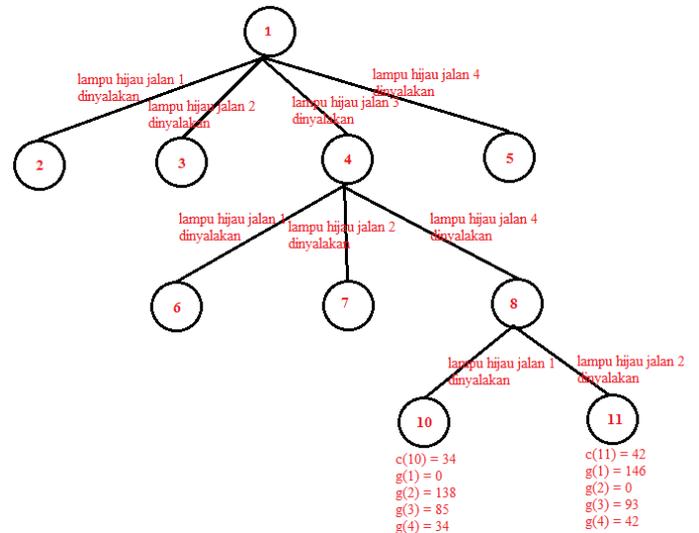
Kemudian, simpul kedua, ketiga, keempat, dan kelima dibangkitkan dengan kondisi lampu hijau pertama dinyalakan. Perhitungan bobot $c(i)$ sesuai dengan persamaan (1) dan perhitungan bobot $g(j)$ sesuai dengan persamaan (2).



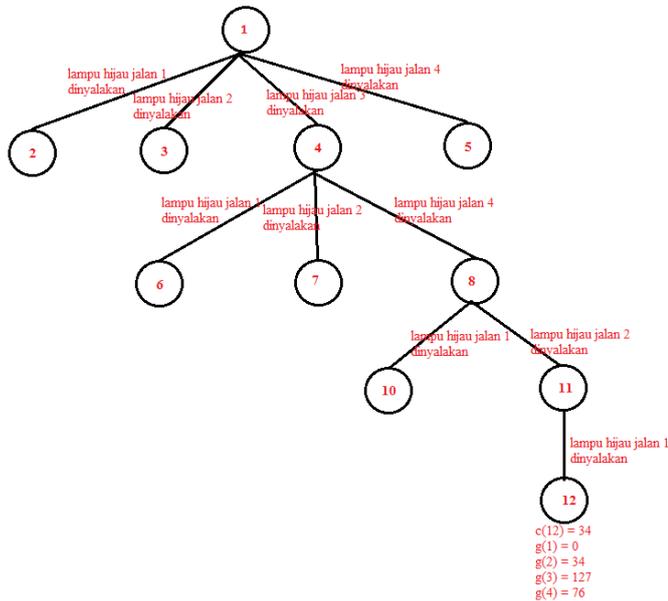
Prioritas penjadwalan dimulai dari kepadatan terbesar agar jalan tidak terlalu padat. Oleh karena kepadatan berbanding lurus dengan bobot, maka jalan yang lebih dahulu dipilih adalah jalan dengan bobot terbesar, yakni simpul keempat. Simpul keempat kemudian dikembangkan.



Dapat dilihat bahwa simpul kedelapan memiliki bobot terbesar dan tidak melanggar fungsi pembatas. Simpul keenam dikembangkan selanjutnya.



Oleh karena simpul 11 memiliki nilai yang lebih besar, maka simpul 11 dikembangkan dan menghasilkan simpul dua belas.



Lampu hijau pada setiap jalan telah dijadwalkan untuk dinyalakan. Penjadwalan di atas tidak melanggar aturan, tidak lampu merah yang dibiarkan menyala lebih dari 150 menit. Lampu hijau pada jalan ketiga dinyalakan pertama, kemudian selanjutnya lampu hijau pada jalan keempat, dilanjutkan dengan lampu hijau pada jalan kedua, dan terakhir lampu hijau pada jalan pertama dinyalakan. Jika dirangkumkan pada suatu tabel, maka tabel jadwal lampu lalu lintas pintar di atas adalah sebagai berikut.

Detik ke-	Warna Lampu pada Jalan			
	Ir. H. Juanda Utara	Ir. H. Juanda Selatan	Dipati Ukur	Siliwangi
1 s.d. 53	Red	Red	Green	Red
54 s.d. 104	Red	Red	Red	Green
105 s.d. 146	Red	Green	Red	Red
147 s.d. 180	Green	Red	Red	Red

Tabel 3. Penjadwalan Warna Lampu Lalu Lintas Pintar pada Setiap Jalan di Perempatan Simpang Dago

Sumber : Dokumen Pribadi

Di atas merupakan contoh penjadwalan dengan satu kondisi jalanan. Untuk melakukan penjadwalan selanjutnya, proses analisis kepadatan jalan seperti biasa dilakukan terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan proses penjadwalan dengan menggunakan algoritma *Branch and Bound*. Karena penjadwalan pertama telah dilakukan, maka simpul akar yang digunakan bukan lagi simpul dengan bobot nol, melainkan simpul solusi pada proses penjadwalan terakhir. Pada contoh ini, nilai-nilai pada simpul solusi nomor 12 menjadi simpul akar pada proses penjadwalan selanjutnya. Meskipun proses penjadwalan dilakukan terpisah-pisah, namun pada

kenyataannya, proses dalam lalu lintas itu sendiri adalah hal yang berkesinambungan, sehingga proses penjadwalan yang satu akan memengaruhi proses penjadwalan yang lainnya.

Jika terdapat jalan yang tidak memiliki kendaraan atau kepadatan sama dengan nol, maka alokasi waktu yang diberikan pastinya akan berbeda. Cara perhitungan masih sama, namun akan ada bobot simpul yang bernilai nol. Simpul tersebut dapat diabaikan saja atau tidak perlu dimasukkan pada saat pembangkitan pohon (tidak perlu digambarkan pada pohon). Jika terdapat kepadatan jalan yang sama dengan nol, otomatis jalan lain memiliki waktu lampu hijau yang lebih lama dari biasanya.

Jika diperhatikan dengan seksama pula, aras maksimal atau kedalaman yang dimiliki suatu pohon dalam algoritma *Branch and Bound* adalah banyaknya lampu lalu lintas pada persimpangan itu sendiri. Apabila tidak ingin menggambarkan bagian jalan yang memiliki kepadatan sama dengan nol, maka cukup mengurangi lampu lalu lintas pada jalan tersebut dan kedalaman pohon otomatis berkurang.

Mengenai aturan total waktu 180 menit dan batas waktu 150 menit, waktu tersebut dapat ditentukan tergantung oleh aturan yang berlaku pada persimpangan. Waktu yang penulis berikan hanyalah contoh dan menurut penulis, waktu tersebut merupakan waktu yang paling sangkil pada perempatan jalan seperti Simpang Dago. Total waktu disesuaikan dengan jalan yang ada. Semakin cepat durasi lampu merah dan semakin lama durasi lampu hijau, maka waktu bergerak kendaraan akan lebih baik.

V. KESIMPULAN

Semakin berkembangnya zaman, semakin dinamisnya pergerakan zaman, kebutuhan akan suatu kota yang pintar semakin tinggi. Kota yang pintar dapat dibangun oleh kemajuan teknologi, informasi, dan komunikasi yang baik. Kota pintar dibangun dengan tujuan meningkatkan fasilitas yang baik bagi penduduk kota dan menyelesaikan masalah yang kerap kali muncul dan mengganggu bagi kehidupan penduduk kota. Salah satu masalah yang sering timbul dan menjadi kegelisahan penduduk kota pintar Bandung adalah kemacetan. Kemacetan, yang dapat menimbulkan konsumsi bahan bakar berlebihan yang sia-sia dan membuang-buang waktu dengan percuma, disebabkan oleh padatnya kendaraan yang melintasi jalanan kota Bandung dan ketidaksesuaian lampu lalu lintas dengan keadaan di jalanan.

Penulis mengajukan suatu solusi untuk mengatasi masalah kemacetan ini, yakni membangun suatu lampu lalu lintas pintar yang tidak hanya beroperasi berdasarkan satuan waktu tertentu, tetapi juga dengan melihat keadaan jalan yang ada. Lampu hijau akan lebih diprioritaskan kepada jalan yang memiliki kepadatan jalan lebih besar dibandingkan dengan jalan lainnya. Dengan menggunakan sistem penjadwalan yang baik dengan implementasi algoritma *Branch and Bound* dan mencantumkan batas waktu kendaraan menunggu lampu merah sebagai fungsi pembatas pada algoritma tersebut, penulis berharap sistem penjadwalan tersebut dapat menciptakan lampu lalu lintas yang pintar dan membantu mengurangi kemacetan.

Penulis mengambil sampel perempatan Simpang Dago sebagai objek pengamatan karena lokasinya cukup dekat dengan kampus penulis dan kondisinya yang termasuk padat. Penulis berharap lampu lalu lintas pintar ini tidak hanya bekerja di perempatan Simpang Dago saja, tetapi juga di persimpangan-persimpangan lainnya, contohnya perempatan Jalan Soekarno Hatta yang merupakan persimpangan terpadat di Bandung.

Penulis menyadari bahwa sistem penjadwalan ini masih jauh dari sempurna dan mungkin saja tidak berhasil dalam keadaan jalan tertentu. Butuh waktu yang cukup lama dan tidak sederhana ini untuk menganalisis menyelesaikan masalah kemacetan di persimpangan dengan menggunakan lampu lalu lintas pintar ini. Lampu lalu lintas pintar tidak dapat menjadi solusi dalam memecahkan masalah kemacetan di persimpangan jika tidak di-*barengi* dengan berkurangnya kepadatan kendaraan. Penulis memohon maaf atas kekurangan penulis dalam mengajukan solusi lampu lalu lintas pintar ini dan berharap agar penggunaan kendaraan dapat dikurangi. Akhir kata, penulis berharap agar ke depannya, solusi yang lebih baik dengan penggunaan lampu lalu lintas pintar ini dapat berguna untuk kota Bandung yang lebih pintar ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan sebaik-baiknya. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Dosen mata kuliah IF2211 Strategi Algoritma, Dr. Rinaldi Munir, S.T., M.T. dan Dr. Nur Ulfa Maulidevi S.T., M.Sc.. yang telah membimbing penulis selama satu semester dalam mata kuliah tersebut. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kota Bandung tempat penulis belajar, terutama Simpang Dago yang menjadi sumber inspirasi pembuatan makalah ini, semoga menjadi kota yang lebih baik lagi. Selain itu, penulis juga ingin

mengucapkan terima kasih kepada pembaca, semoga makalah ini bermanfaat bagi pembaca.

REFERENSI

- [1] FP, Erry. 2014. *Langkah Ridwan Kamil Membangun Bandung sebagai Smart City*. <http://www.infokomputer.com/2014/10/berita/berita-reguler/langkah-ridwan-kamil-membangun-bandung-sebagai-smart-city/>. Diakses pada tanggal 5 Mei 2016.
- [2] Munir, Rinaldi. 2015. *Pohon*. [http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2013-2014/Pohon%20\(2013\).ppt](http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2013-2014/Pohon%20(2013).ppt). Diakses pada tanggal 5 Mei 2016.
- [3] Munir, Rinaldi. 2016. *Algoritma Branch & Bound*. [http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2015-2016/Algoritma-Branch-&-Bound-\(2016\).pptx](http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2015-2016/Algoritma-Branch-&-Bound-(2016).pptx). Diakses pada tanggal 3 Mei 2016.
- [4] Walters, Ken. 2012. *Smart Signals*. <http://www.cmu.edu/piper/stories/2012/october/smart-signals.html>. Diakses pada tanggal 5 Mei 2016.
- [5] Munir, Rinaldi. 2009. *Diktat Strategi Algoritma*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 10 Desember 2015



Steffi Indrayani/13514063