1. Pendahuluan

Kemacetan merupakan salah satu masalah yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia, termasuk Jakarta. Hal ini disebabkan banyaknya masyarakat yang menggunakan kendaraan pribadi. Berdasarkan [1], lebih dari 18 juta unit kendaraan bermotor masuk ke Jakarta, sehingga tidak heran bila di kota ini sering terjadi kemacetan.

Untuk mengurangi hal itu, Pemerintah Kota Jakarta membuat sistem *Bus Rapid Transit* atau yang biasa dikenal sebagai *busway* bagi Bus TransJakarta [2]. Pada BRT, kendaraan selain Bus TransJakarta dilarang untuk melewati jalur tersebut, sehingga jalur Bus TransJakarta diharapkan tetap lancar walaupun terjadi kemacetan. Dengan demikian, diharapkan masyarakat Jakarta akan lebih memilih menggunakan TransJakarta dibanding kendaraan pribadi.

Namun, saat ini masih banyak kendaraan lain yang melewati jalur BRT. Akibatnya, lalu lintas TransJakarta terhambat dan menyebabkan kemacetan. Hal ini terjadi tidak hanya di jalur kendaraan biasa (non-BRT), tetapi juga di jalur BRT. Untuk mengurangi hal tersebut, pemerintah berencana membangun jalur lawan arus (*contraflow*) untuk BRT. Pada tahun 2016, jalur *contraflow* diberlakukan bagi TransJakarta dari arah Pulogadung menuju Dukuh Atas [3]. Pemberlakuan jalur tersebut dinilai efektif, hal ini dibuktikan oleh bertambahnya penumpang sekitar 4.000 orang per hari [3].

Di persimpangan jalan raya khususnya perempatan, dibutuhkan lampu lalu lintas untuk mengatur arus lalu lintas bagi TransJakarta dan kendaraan selain TransJakarta. Sebelumnya, S. A. Atmawardhana telah membuat model formal untuk perempatan jalan dengan jalur lawan arus untuk BRT menggunakan model Logika Temporal Linier (LTL) [2]. Model formal yang dibuat pada [2] menjelaskan transisi warna lampu dari setiap set lampu lalu lintas. Pada model perempatan diajukan 24 *state* yang menjelaskan proses perpindahan warna lampu dari setiap set lampu lalu lintas [2]. Model tersebut selanjutnya diperbaiki oleh A. K. Kusnadi karena terdapat *state* yang tidak memiliki lampu hijau yang menyala serta tidak memaksimalkan jumlah lampu hijau dari setiap *state* [4]. Setelah diperbaiki, diperoleh delapan *state* yang memaksimalkan jumlah lampu hijau pada setiap *state*-nya. Pada [4] juga diberikan tambahan kendala (*constraint*) waktu pada durasi nyala lampu yang ada pada setiap set lampu lalu lintas.

Meskipun sistem yang dibangun [4] sudah memaksimalkan jumlah lampu hijau yang menyala serta meminimalkan jumlah transisi lampu, model ini kurang sesuai bila diterapkan di kehidupan nyata karena masih ada potensi terjadinya kecelakaan. Misalnya kendaraan non-bus dari arah timur yang belok kanan berjalan bersamaan dengan bus yang belok kiri dari arah selatan. Apabila dua tipe kendaraan tersebut berjalan bersamaan, maka kecelakaan masih mungkin terjadi. Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan perbaikan pada sistem tersebut agar sesuai bila diterapkan di kehidupan nyata. Selain itu, ditentukan pula waktu yang sesuai bagi setiap lampu lalu lintas untuk menyala.

Sistem lampu lalu lintas yang sudah diperbaiki kemudian dikembangkan dengan model *timed automata* agar dapat menangani aspek durasi pada nyala lampu. Model LTL yang telah dibuat dikonstruksi dalam *timed automata* yang sesuai dengan *model-checker* UPPAAL. Bahasa spesifikasi yang digunakan adalah *Timed Computation Tree Logic* (TCTL). Hasil pemodelan yang telah dibuat kemudian diverifikasi berdasarkan spesifikasi keselamatan, keadilan, dan ketercapaian untuk model LTL. Sedangkan untuk *timed automata* yang bahasa spesifikasinya dideskripsikan dengan TCTL, verifikasi hanya dilakukan pada aspek keselamatan dan ketercapaian saja.

Fokus dari penelitian ini adalah perbaikan model sistem perempatan jalan pengatur lampu lalu lintas yang telah diajukan [4] dan [5], bukan pada sistem model pengatur lampu lalu lintas dengan durasi waktu yang optimal. Durasi lampu lalu lintas yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) yang dijelaskan di [6]. Aspek eksternal seperti kepadatan kendaraan dan luas jalan tidak akan dipertimbangkan. Kendaraan yang melintas diklasifikasikan sebagai kendaraan bus atau non-bus.