

BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini, penulis akan menjelaskan sekilas tentang landasan sinkronisasi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Sinkronisasi Kuramoto. Selain itu, penulis juga akan memasukkan Peraturan Pemerintah mengenai sistem lalu lintas sebagai landasan aturan mengenai lalu lintas di Indonesia.

II.1 SINKRONISASI KURAMOTO

Sinkronisasi bisa terjadi dalam bentuk apapun. Semua hal yang terjadi di dunia ini, cepat atau lambat pasti menemukan cara untuk saling bersinkronisasi dengan yang lainnya. Sebuah orkestra yang dimainkan tanpa sinkronisasi tidak akan berjalan dengan baik. Sebuah jantung yang berdenyut tanpa sinkronisasi dengan anggota tubuh lainnya tidak akan bertahan lama.

Ada yang membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai sinkronisasi, ada yang langsung dapat bersinkronisasi pada saat itu juga. Semua itu tergantung kepada tingkat kecepatan sinkronisasi yang berbeda antara satu benda dengan benda lainnya.

Para ilmuwan telah banyak meneliti tentang fenomena sinkronisasi dan berusaha memodelkan hal tersebut. Pendekatan yang paling sukses sampai saat ini adalah Model Kuramoto [10]. Pendekatan ini menganalisa sebuah model dari fase *oscillator* yang berjalan dengan frekuensi sembarang dan dilakukan proses *coupling*³ melewati fungsi *sinus* dari perbedaan fasenya.

³ disatukan atau berbagi variabel

Model Kuramoto cukup sederhana untuk dianalisa secara matematika tetapi juga bisa menjadi cukup kompleks untuk dianalisa menjadi model yang bersifat *non trivial*. Pemodelan tersebut cukup baik untuk menampilkan berbagai pola sinkronisasi dan juga fleksibel untuk diterapkan ke permasalahan lainnya.

$$\dot{\theta}_i(t) = \omega_i + \sum_{j=1}^N K_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i) \quad (2.1)$$

Rumus tersebut merupakan persamaan dasar yang digunakan dalam pemodelan sinkronisasi. Setiap *oscillator* pada sistem ini akan di-*phase lock* dengan setiap *oscillator* lain menggunakan fungsi *sinus* dari selisih fase *oscillator*.

K menyatakan konstanta *coupling* yang menunjukkan seberapa kuat *coupling* antara kedua *oscillator*. Sementara ω_i menyatakan frekuensi alamiah dari *oscillator* yang merupakan frekuensi dasar sebelum dipengaruhi oleh *coupling* antar *oscillator*.

Untuk lebih jelasnya, pada lampiran penulis membuat sebuah simulasi yang menjelaskan perbedaan antara *oscillator* yang menggunakan algoritma sinkronisasi Kuramoto dengan *oscillator* yang menggunakan algoritma tersebut.

II.2 NON LINEAR COUPLED OSCILLATOR

Nonlinear coupled oscillator adalah kumpulan *oscillator* yang dipasangkan satu sama lain sehingga memiliki variabel yang bersifat *shared*. Dengan variabel ini, *oscillator* yang berada pada kumpulan atau *coupled* yang sama dapat mempengaruhi satu sama lain. Sebagai contoh, model Kuramoto merupakan suatu *coupled oscillator* yang bersifat *nonlinear* karena bentuk dari persamaannya menggunakan fungsi sinus. Fungsi sinus ini yang membuat model Kuramoto bernilai *nonlinear*.

Contoh *coupled oscillator* yang lainnya:

$$\dot{x} = \sin(x - y) \quad (2.2)$$

$$\dot{y} = \sin(y - x) \quad (2.3)$$

Kecepatan sudut dari x tidak hanya ditentukan dari dirinya sendiri, melainkan juga dari fase yang dimiliki oleh y , begitu juga sebaliknya. Hal inilah yang dinamakan *coupled oscillator*.

II.3 KONDISI LALU LINTAS DI INDONESIA

Menurut Dinas Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Raya (DLLAJR), kondisi lalu lintas di kota-kota besar seperti Jakarta sudah mencapai tahap kritis di mana perbandingan perkembangan jumlah kendaraan dan penyediaan fasilitas jalan sudah tidak sehat lagi.

Tabel 1. Perbandingan Perkembangan Jumlah Kendaraan dan Penyediaan Fasilitas Jalan di Jakarta

Tahun	Perkembangan Jumlah	Perkembangan Penyediaan
	Kendaraan	Fasilitas Jalan
1985	300.000	305 km
1990	500.000	442.5 km
1995	850.000	429 km
2000	1.100.000	585 km

Sumber: Kajian Staf: Ir. Ruchyat Deni, M.Eng. 2003

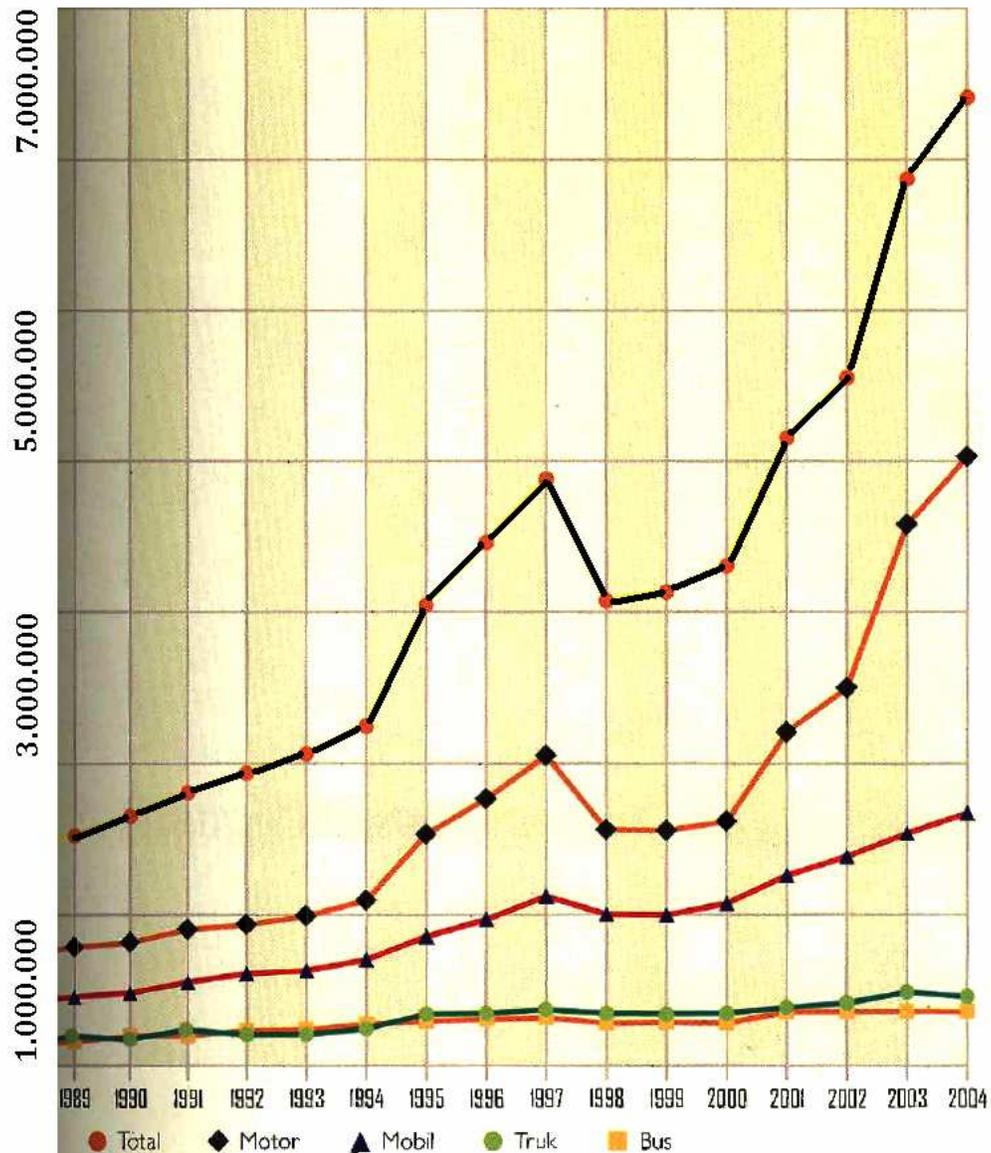
Jika melihat data statistik perbandingan pertumbuhan kendaraan dibandingkan luas jalan, pada tahun 1995 masih sangat leluasa. Namun jika rasio penambahan jumlah kendaraan dan penambahan luas masih seperti ini, maka diperkirakan tahun 2014 akan terjadi kelumpuhan total [11].

Tabel 2. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor

Jenis Kendaraan	1998	1999	2000	2001	2002
Mobil Penumpang	2.772.531	2.897.803	3.038.913	3.261.807	3.862.579
Mobil Beban	1.592.572	1.628.561	1.707.134	1.759.747	2.5.347
Mobil Bus	627.696	644.667	662.280	687.570	731.990
Sepeda Motor	12.651.813	13.053.148	13.563.7	15.492.148	18.061.414
TOTAL	17.644.612	18.224.179	18.975.344	21.2.272	24.671.330

Sumber: Ditjen Perhubungan Darat

Pertumbuhan Kendaraan



Gambar 1. Kondisi Pertumbuhan Kendaraan Dibandingkan Dengan Luas Jalan di Jakarta

Sementara jumlah kendaraan semakin bertambah banyak, peningkatan infrastruktur lalu lintas dilakukan dengan langkah yang minim. Jika perkembangan kondisi lalu lintas akan selalu seperti ini setiap tahunnya, kemacetan merupakan hal yang sudah tidak bisa terhindari lagi.

Penggunaan jalan raya menjadi hal yang sangat dominan bagi masyarakat yang berada di kota besar. Ketersediaan infrastruktur lalu lintas yang baik menjadi hal yang sangat menentukan kelancaran mobilitas masyarakat.

Perkembangan jumlah kendaraan yang meningkat sangat pesat ini menyebabkan kemacetan lalu lintas hampir terjadi di sepanjang jalan. Kemacetan semakin parah pada jam-jam sibuk, yaitu pada pagi hari saat berangkat kantor, siang hari pada saat jam makan siang, dan sore hari pada saat jam pulang kantor. Kemacetan ini membawa akibat yang buruk, yaitu waktu tempuh dari suatu tempat ke tempat lain menjadi semakin lama.

II.4 SISTEM LALU LINTAS DI INDONESIA

Lampu lalu lintas merupakan alat pemberi sinyal yang ditempatkan di persimpangan. Sinyal yang digunakan adalah merah untuk berhenti, kuning untuk hati-hati, dan hijau untuk melaju. Sinyal ini sudah digunakan untuk semua lampu lalu lintas secara universal.

Ada beberapa lampu lalu lintas yang hanya menggunakan 2 sinyal saja, yaitu sinyal merah dan hijau. Biasanya, pada lampu merah ditambah sedikit warna oranye dan warna hijau ditambah sedikit warna biru supaya tidak menyulitkan pengguna jalan yang mempunyai permasalahan buta warna.

Lampu lalu lintas yang digunakan di jalanan saat ini merupakan peninggalan jaman dahulu di mana kepadatan lalu lintas belum seperti sekarang. Pengaturan lampu lalu lintas tersebut masih belum menggunakan alat kontrol yang baik. Hal ini yang menyebabkan masih seringnya terjadi kemacetan di ruas-ruas jalan kota besar di Indonesia.

Sistem lampu lalu lintas di Indonesia mempunyai 2 tipe, yaitu *networking* dan *stand-alone*. Tipe *networking* ini memungkinkan petugas lalu lintas untuk mengatur dari jarak jauh, sedangkan tipe *stand-alone* merupakan tipe yang mengharuskan petugasnya untuk datang ke lokasi lampu lalu lintas tersebut.

II.5 KONTROL DAN KOORDINASI LAMPU LALU LINTAS

Saat ini, Indonesia menerapkan 3 metode untuk melakukan koordinasi pada lampu lalu lintasnya. Ketiga metode berikut adalah:

1. *Fixed Time Control*

Kontrol seperti ini biasanya digunakan pada lalu lintas yang hanya memiliki satu jalur saja. Cara seperti ini merupakan cara yang paling banyak digunakan pada lampu lalu lintas di Indonesia karena merupakan cara yang paling mudah dan tidak perlu tambahan koordinasi dalam penggunaannya. Warna lampu akan berubah dalam jangka waktu tertentu dan dilakukan berulang-ulang. Kontrol seperti ini akan membawa masalah jika diterapkan pada jalan dengan 2 jalur atau pada lalu lintas yang rawan kepadatan.

2. *Dynamic Control*

Kontrol ini menggunakan semacam sensor yang ditaruh dibawah jalan untuk mendeteksi jumlah kendaraan yang berada pada jalur tersebut untuk mencegah pemberian lampu hijau pada jalanan yang kosong. Selain sensor tersebut, kontrol ini juga memakai sebuah *timer* untuk mencegah terjadinya kemacetan jika sensor yang dipakai ternyata rusak.

Sensor kendaraan umumnya terdiri dari:

1) *Loop Detector*

Sensor ini berupa kawat atau kabel yang ditanam di jalanan. Sensor ini menggunakan prinsip induksi magnetik yang mendeteksi keberadaan kendaraan yang terbuat dari bahan logam.

2) *Overhead Detector*

Sensor ini biasanya dipasang di atas jalanan. Sensor ini mengeluarkan suara ultrasonik atau inframerah yang akan dipantulkan jika terkena kendaraan yang menunggu di persimpangan.

3. *Coordinated Control*

Kontrol seperti ini dapat dibagi menjadi 2 macam, tergantung kepada cara koordinasi yang digunakan.

- 1) Menggunakan sensor seperti video kamera atau untuk diperiksa secara *centralized* oleh dinas lalu lintas. Cara seperti ini sulit digunakan jika lampu lalu lintas yang ditangani sangat banyak. Butuh *bandwith* yang sangat tinggi untuk dapat menangani sistem yang tersentralisasi seperti ini.
- 2) Menggunakan Algoritma Sinkronisasi untuk mendapatkan *timing* yang akurat supaya dapat terjadi *green wave* pada setiap persimpangan. Cara kontrol seperti ini yang akan dibahas lebih lanjut pada penelitian penulis.

