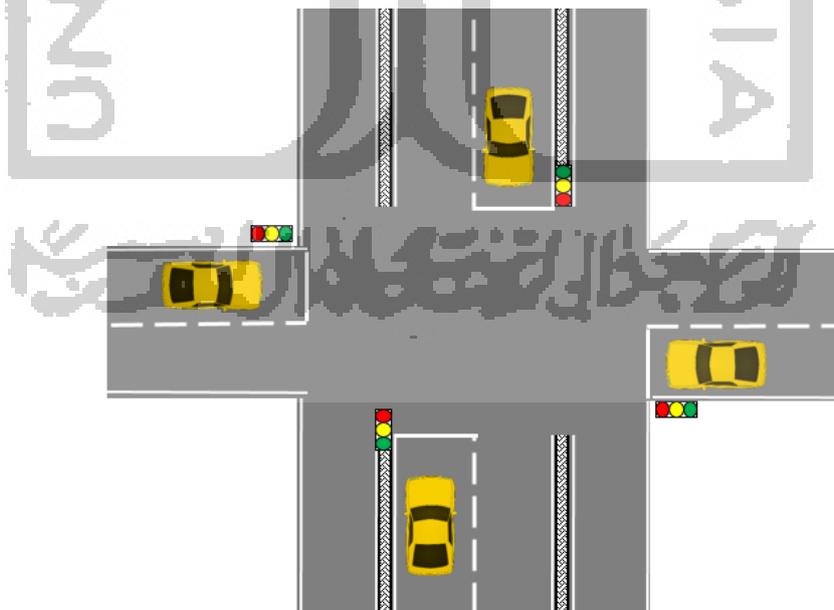


BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Simpang

Persimpangan jalan adalah simpul pada jaringan jalan dimana ruas jalan bertemu dan lintasan arus kendaraan berpotongan. Lalu lintas pada masing-masing lengan persimpangan menggunakan ruang jalan persimpangan secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya. Persimpangan jalan juga dapat didefinisikan sebagai daerah umum dimana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya (AASHTO, 2001). Suatu pendekatan dapat diartikan sebagai daerah dari suatu lengan persimpangan untuk mengantri sebelum keluar melewati garis henti (Bina Marga, 1997). Berdasarkan definisi-definisi tersebut dapat dikatakan bahwa persimpangan dapat menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan kapasitas dan waktu perjalanan pada suatu jaringan jalan terutama untuk kawasan perkotaan. Berikut ini adalah salah satu contoh persimpangan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Persimpangan Jalan

3.2 Sinyal Dan Pengaturan Lalu Lintas

Lalu lintas di dalam Undang-undang No 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, sedang yang dimaksud dengan Ruang Lalu Lintas Jalan adalah prasarana yang diperuntukkan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan atau barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung.

Di dalam Dofianto (2006), dinyatakan bahwa pentingnya lalu lintas pada persimpangan jalan sangat diperlukan karena ada beberapa alasan, pada umumnya berhubungan dengan keselamatan dan efektifitas pergerakan dari arus kendaraan dan pejalan kaki yang saling bertemu pada saat melintasi persimpangan.

Menurut Bina Marga (1997), pada umumnya sinyal lalu lintas dipergunakan untuk beberapa alasan seperti di bawah ini.

1. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi jam puncak.
2. Memberikan mekanisme pengaturan lalu lintas yang lebih efektif dan murah dibandingkan pengaturan dengan cara manual.
3. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan atau pejalan kaki dari jalan minor memotong jalan mayor
4. Dengan dipasangnya lampu lalu lintas maka kecelakaan yang timbul diharapkan akan berkurang, karena konflik yang timbul antar lalu lintas dapat dikurangi.

Sistem pengontrolan lalu lintas pada persimpangan jalan meliputi beberapa hal sebagai berikut ini (Munawar, 2004).

1. Optimalisasi lampu lalu lintas, berupa pengaturan *cycle tyme* (waktu siklus), waktu hijau merah / merah dari lampu lalu lintas serta jumlah fase.
2. Pemasangan / pemindahan lampu lalu lintas, dengan memasang lampu lalu lintas di tempat-tempat dengan arus lalu lintas yang tinggi.
3. Prioritas kepada bus kota pada persimpangan dengan lampu lalu lintas, yakni berupa pemasangan antena pemancar pada bus kota, sehingga jika bus kota tersebut mendekati lampu lalu lintas, lampu akan selalu hijau.

4. Koordinasi lampu lalu lintas, berupa koordinasi antara lampu-lampu lalu lintas, sehingga sebagian kendaraan akan dapat melewati beberapa lampu lalu lintas tanpa berhenti.

Upaya yang sering dilakukan dalam menangani belok kanan adalah dengan menggunakan fasilitas *early cut-off*, *late-start*, dan kombinasi keduanya.

1. *Early cut-off*: waktu hijau dari kaki simpang pada arah berlawanan diberhentikan beberapa saat lebih cepat untuk memberi kesempatan kendaraan belok kanan (Webster, 1996). Fasilitas ini diberikan kepada kaki persimpangan yang jumlah kendaraan belok kanan cukup besar. Adanya fasilitas *early cut-off* mengakibatkan sinyal untuk pergerakan kedua arah berlawanan tidak sama.
2. *Late start (late release)*: menunda beberapa detik waktu hijau dari arah berlawanan untuk memberikan kesempatan kendaraan belok kanan. Adanya fasilitas ini mengakibatkan sinyal hijau untuk pergerakan kedua simpang tidak sama.
3. Kombinasi *early cut-off* dengan *late start*: biasanya digunakan apabila pada kedua arah jumlah kendaraan yang belok kanan cukup besar. Biasanya *early cut-off* digunakan pada kaki simpang yang memiliki jumlah belok kanan yang lebih besar dari arah berlawanan, sedangkan untuk kendaraan belok kanan yang jumlahnya lebih sedikit digunakan fasilitas *late start*.

3.3 Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal (*signalized intersection*) adalah persimpangan jalan yang pergerakan atau arus kendaraan yang melintas pada setiap lengan pendekatnya diatur oleh lampu fasilitas persinyalan (APILL). Kendaraan yang melintasi simpang

bersinyal berjalan secara bergilir sesuai dengan waktu siklus yang direncanakan pada setiap lampu APILL.

Indikator penilaian kinerja simpang bersinyal dapat ditentukan berdasarkan hubungan antara volume (V) dan kapasitas (C) atau biasanya disebut sebagai derajat kejenuhan (DS). Rasio antara volume dan kapasitas pada simpang bersinyal nilainya tidak lebih dari 0,85. Strategi dalam manajemen lalu lintas

perkotaan dalam menurunkan nilai DS yaitu dengan cara pengaturan dan koordinasi antar simpang lalu lintas sehingga kendaraan yang melintas pada simpang masih dapat berjalan lancar.

Pengaturan lampu lalu lintas berupa pengaturan ulang waktu hijau (g), waktu hilang/waktu antar hijau (IG), waktu *all red* dan waktu siklus (c).

Beberapa definisi umum yang perlu diketahui dalam kaitannya dengan permasalahan simpang bersinyal menurut Bina Marga (1997), diantaranya adalah:

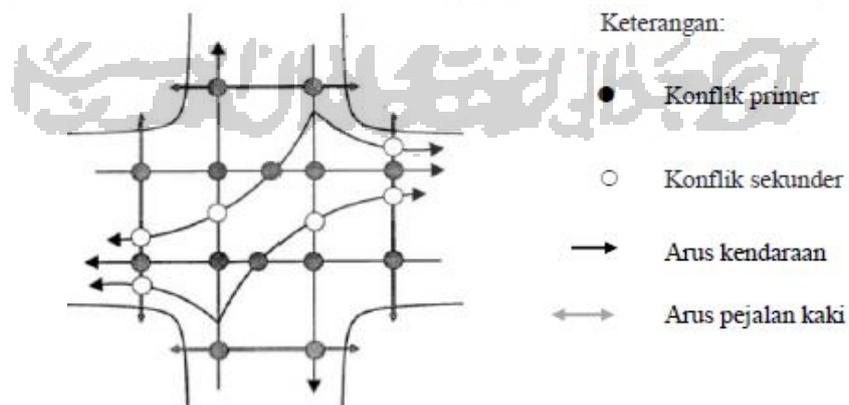
1. kapasitas (*capacity*) adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu (kendaraan/jam atau smp/jam).
2. tundaan (*delay*) adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan dengan lintasan tanpa melalui simpang (detik).
3. panjang antrian (*queue length*) adalah panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat (meter).
4. antrian (*queue*) adalah jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat (kendaraan/smp).
5. waktu siklus (*cycle time*) adalah waktu urutan lengkap dari indikasi sinyal (detik).
6. waktu hijau (*green time*) adalah waktu nyala lampu hijau dalam suatu pendekat (detik).
7. rasio hijau (*green ratio*) adalah perbandingan waktu hijau dengan waktu siklus dalam suatu pendekat.
8. waktu merah semua (*all red*) adalah waktu sinyal merah menyala secara bersamaan pada semua pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal yang beruntun (detik).
9. waktu antar hijau (*inter green time*) adalah jumlah antara periode kuning dengan waktu merah antara dua fase sinyal yang beruntun (detik).
10. waktu hilang (*lost time*) adalah jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap atau beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang beruntun (detik).

11. derajat kejenuhan (*degree of saturation*) adalah rasio dari arus lalu lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat.
12. arus jenuh (*saturation flow*) adalah besarnya keberangkatan antrian di dalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan (smp/hijau).
13. *oversaturated* adalah suatu kondisi pada saat volume kendaraan yang melewati suatu pendekat melebihi kapasitasnya.
14. iringan (*platoon*) adalah kondisi lalu lintas bila kendaraan bergerak dalam antrian atau peleton dengan kecepatan yang sama karena tertahan oleh kendaraan yang didepan (pemimpin peleton).

3.3.1 Konflik

Persimpangan jalan adalah sumber konflik lalu lintas. Masing-masing titik pada simpang berpotensi menjadi tempat pertemuan kendaraan yang menyebabkan rawan terjadinya kecelakaan. Pertemuan dua kendaraan atau pengguna jalan lainnya yang arah lintasannya saling berpotongan tegak lurus disebut konflik primer. Konflik yang sering terjadi pada simpang bersinyal adalah konflik sekunder. Konflik sekunder adalah suatu pertemuan antar kendaraan atau pengguna jalan yang lintasannya berasal dari dua arah berlainan yang menjadi satu lintasan yang sama.

Gambar titik konflik yang terjadi pada simpang empat lengan dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Konflik Lalu Lintas Simpang Empat

(Sumber : Bina Marga)

3.3.2 Kinerja simpang bersinyal

Kinerja simpang bersinyal merupakan suatu penilaian kinerja simpang dalam melayani pergerakan kendaraan yang melintas. Berdasarkan Bina Marga (1997), parameter-parameter yang digunakan dalam menentukan kinerja suatu simpang bersinyal antara lain sebagai berikut:

1. arus lalu lintas dan arus jenuh

arus lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik pada ruas

jalan dalam selang waktu tertentu. arus lalu lintas bisa juga disebut sebagai volume lalu lintas dengan satuan jumlah kendaraan per satuan waktu. arus jenuh (s) adalah banyaknya kendaraan yang melintasi suatu simpang selama waktu hijau pada kondisi yang ideal. arus jenuh diperoleh dari arus jenuh dasar yang disesuaikan dengan faktor-faktor penyesuaian disekitar kawasan simpang.

2. kapasitas

kapasitas adalah arus lalu-lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu (bina marga, 1997). faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas beragam, yaitu nilai tergantung pada geometrik jalan, jenis kendaraan, dan kondisi lingkungan di sekitar simpang.

3. derajat kejenuhan

derajat kejenuhan simpang bersinyal merupakan nilai perbandingan antara volume lalu lintas dengan kapasitas simpang. nilai derajat kejenuhan (ds) yang disyaratkan oleh bina marga (1997) adalah 0,85. jika nilai ds sangat besar maka harus dilakukan upaya untuk meningkatkan kinerja dari simpang agar tidak terjadi tundaan yang besar.

4. panjang antrian

panjang antrian adalah panjangnya antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan antrian dalam jumlah kendaraan dalam suatu pendekat (kendaraan, smp). dalam menentukan panjang antrian dapat dilakukan pengukuran langsung di lengan simpang dengan cara menghitung jarak kendaraan terakhir yang berhenti pada awal fase hijau.

5. tundaan

tundaan bina marga (1997) adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang dibandingkan terhadap situasi tanpa simpang. dengan adanya tundaan pada simpang, berpengaruh terhadap lamanya waktu kendaraan

pada saat melewati simpang. tundaan dibagi kedalam 2 bentuk yaitu tundaan lalu lintas rata-rata setiap pendekat (dt) dan tundaan geometri rata-rata masing-masing pendekat

a. tundaan lalu lintas

tundaan lalu lintas rata-rata setiap pendekat merupakan tundaan rata-rata adalah tundaan yang terjadi akibat pengaruh timbal balik dengan gerakan-gerakan lainnya pada simpang.

b. tundaan geometri

tundaan geometri rata-rata masing-masing pendekat adalah tundaan yang terjadi akibat perlambatan dan percepatan pada saat kendaraan berhenti atau bergerak pada simpang yang terkena lampu apill.

3.4 Tingkat Pelayanan (*Level Of Service*) Kinerja Ruas Jalan

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan (Permenhub) Nomor 96 Tahun 2015 tentang Pedoman Pelaksanaan Kegiatan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan, tingkat pelayanan adalah ukuran kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan kondisi operasional lalu lintas. Tingkat pelayanan mencakup :

1. rasio antara volume dan kapasitas jalan,
2. kecepatan yang merupakan kecepatan batas atas dan kecepatan batas bawah yang ditetapkan berdasarkan kondisi daerah,
3. waktu perjalanan,
4. kebebasan bergerak,
5. keamanan,
6. keselamatan,
7. ketertiban,
8. kelancaran, dan

9. penilaian pengemudi terhadap kondisi arus lalu lintas.

Penetapan tingkat pelayanan yang diinginkan merupakan kegiatan penentuan tingkat pelayanan ruas jalan berdasarkan indikator tingkat pelayanan. Tingkat pelayanan yang diinginkan pada ruas jalan pada sistem jaringan jalan sekunder sesuai fungsinya menurut Permenhub Nomor 96 Tahun 2015 adalah :

1. jalan arteri primer, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya B,
2. jalan arteri sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C,
3. jalan kolektor sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya C, dan
4. jalan lokal sekunder, tingkat pelayanan sekurang-kurangnya D.

Tingkatan pelayanan pada jenis jalan arteri sekunder dan kolektor sekunder dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Tingkat Pelayanan Jalan Arteri Sekunder Dan Kolektor Sekunder

Tingkat Pelayanan	Karakteristik Operasi Terkait
A	1. Arus bebas 2. Kecepatan Perjalanan rata-rata ≥ 80 km/jam
B	1. Arus stabil 2. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 70 km/jam
C	1. Arus Stabil 2. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 60 km/jam
D	1. Arus mendekati tidak stabil 2. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 50 km/jam
E	1. Arus mendekati tidak stabil 2. Kecepatan perjalanan rata-rata turun s/d ≥ 30 km/jam pada jalan antar kota dan ≥ 10 km/jam pada jalan perkotaan.
F	1. Arus tertahan 2. Kecepatan maupun volume turun s/d 0 km/jam.

(Sumber : Menteri Perhubungan)

Uraian dari Permenhub Nomor 96 Tahun 2015 tingkat pelayanan pada ruas jalan diklasifikasikan atas:

- 1) tingkat pelayanan A, dengan kondisi:
 - a. arus bebas dengan volume lalu lintas rendah dan kecepatan sekurang-kurangnya 80 kilometer/jam,
 - b. kepadatan lalu lintas sangat rendah, dan

- c. pengemudi dapat mempertahankan kecepatan yang diinginkan tanpa atau dengan sedikit tundaan.
- 2) tingkat pelayanan B, dengan kondisi:
- arus stabil dengan volume lalu lintas sedang dan kecepatan sekurang-kurangnya 70 kilometer/jam,
 - kepadatan lalu lintas rendah hambatan internal lalu lintas belum mempengaruhi kecepatan, dan
 - pengemudi masih punya cukup kebebasan untuk memilih kecepatannya dan lajur jalan yang digunakan.
- 3) tingkat pelayanan C, dengan kondisi:
- arus stabil tetapi pergerakan kendaraan dikendalikan oleh volume lalu lintas yang lebih tinggi dengan kecepatan sekurang-kurangnya 60 kilometer/jam,
 - kepadatan lalu lintas sedang karena hambatan internal lalu lintas meningkat, dan p.
 - pengemudi memiliki keterbatasan untuk memilih kecepatan, pindah lajur atau mendahului.
- 4) tingkat pelayanan D, dengan kondisi:
- arus mendekati tidak stabil dengan volume lalu lintas tinggi dan kecepatan sekurang-kurangnya 50 kilometer/jam,
 - masih ditolerir namun sangat terpengaruh oleh perubahan kondisi arus,
 - kepadatan lalu lintas sedang namun fluktuasi volume lalu lintas dan hambatan temporer dapat menyebabkan penurunan kecepatan yang besar, dan
 - pengemudi memiliki kebebasan yang sangat terbatas dalam menjalankan kendaraan, kenyamanan rendah, tetapi kondisi ini masih dapat ditolerir untuk waktu yang singkat.
- 5) tingkat pelayanan E, dengan kondisi:
- arus lebih rendah daripada tingkat pelayanan D dengan volume lalu lintas mendekati kapasitas jalan dan kecepatan sekurang-kurangnya 30 kilometer/jam pada jalan antar kota dan sekurang-kurangnya 10 kilometer/jam pada jalan perkotaan,

- b. kepadatan lalu lintas tinggi karena hambatan internal lalu lintas tinggi, dan
 - c. pengemudi mulai merasakan kemacetan-kemacetan durasi pendek.
- 6) tingkat pelayanan F, dengan kondisi:
- a. arus tertahan dan terjadi antrian kendaraan yang panjang dengan kecepatan kurang dari 30 kilometer/jam,
 - b. kepadatan lalu lintas sangat tinggi dan volume rendah serta terjadi kemacetan untuk durasi yang cukup lama, dan
 - c. dalam keadaan antrian, kecepatan maupun volume turun sampai 0.

3.5 Koordinasi Simpang Bersinyal

3.5.1 Koordinasi Sinyal Pada Jalan Satu Arah

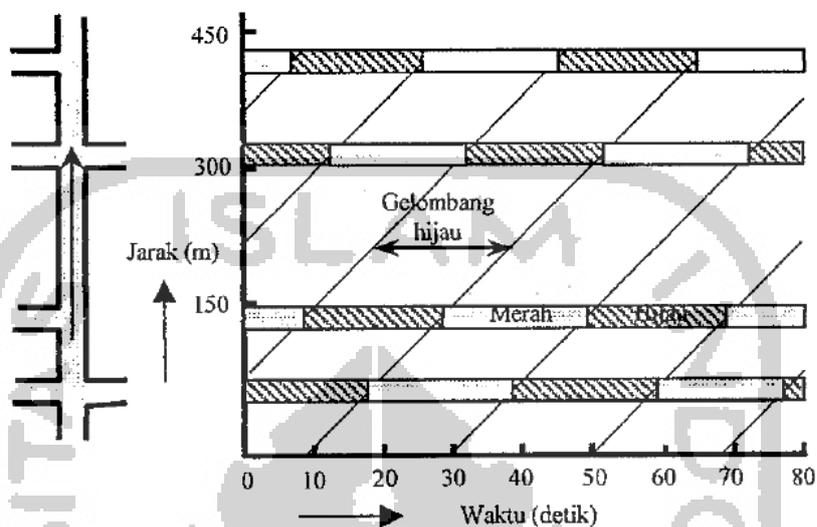
Dalam modern sistem sinyal terkoordinasi adalah mungkin bagi pengemudi untuk melakukan perjalanan jarak jauh tanpa menghadapi lampu merah. Koordinasi ini dilakukan dengan mudah hanya pada jalan satu arah dengan tingkat lalu lintas yang cukup konstan. Karena arah pergerakannya hanya satu arah, maka penentuan *offset* akan lebih mudah.

Offset merupakan perbedaan waktu antara dimulainya sinyal hijau pada simpang pertama dan awal hijau pada simpang setelahnya (Papacostas, 2005). Waktu *offset* dapat dihitung melalui diagram koordinasi. Namun, waktu *offset* juga dapat digunakan untuk memulai membentuk lintasan koordinasi.

Kecepatan pun diatur dalam sistem sinyal terkoordinasi, pengemudi yang bepergian terlalu cepat akan tiba pada indikasi merah dan akhirnya berhenti, sedangkan pengemudi yang bepergian terlalu lambat tidak akan tiba di sinyal berikutnya dalam waktu untuk memanfaatkan indikasi hijau. Dengan mengamati kecepatan rata-rata melintasi masing-masing ruas, maka *offset* dapat diperoleh, yaitu panjang ruas dibagi dengan kecepatan. Apabila kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu sehingga kendaraan dalam batas *bandwidth*, maka diharapkan kendaraan tersebut tidak mengalami tundaan akibat sinyal merah.

Bandwidth adalah perbedaan waktu dalam lintasan paralel sinyal hijau antara lintasan pertama dan lintasan terakhir (Papacostas, 2005).

Contoh koordinasi sinyal pada jalan satu arah, diperlihatkan pada Gambar 3.3 berikut ini.



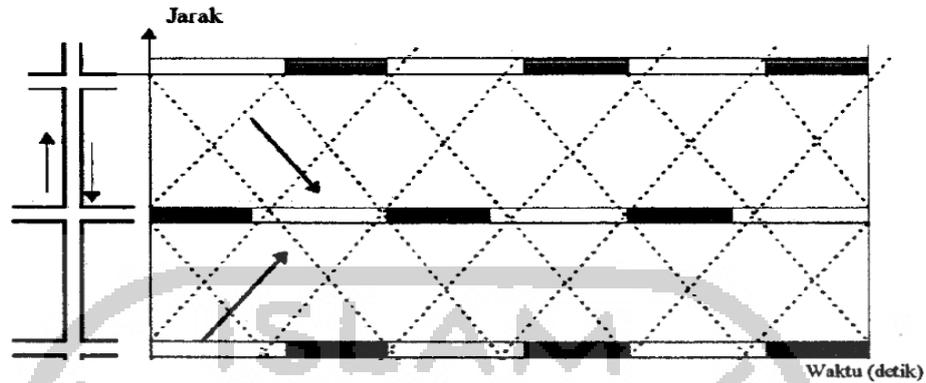
Gambar 3.3 Prinsip Koordinasi Sinyal pada Jalan Satu Arah
(Sumber: Hobbs, 1995)

3.5.2 Koordinasi Sinyal Pada Jalan Dua Arah

Pengkoordinasian sinyal lampu lalu lintas pada jalan dua arah lebih sulit dilakukan. Jalan dua arah sering diatur agar sesuai dengan jam-jam sibuk untuk mempercepat arah volume yang lebih berat. Beberapa faktor penyebab lebih sulitnya pelaksanaan koordinasi pada jalan dua arah adalah:

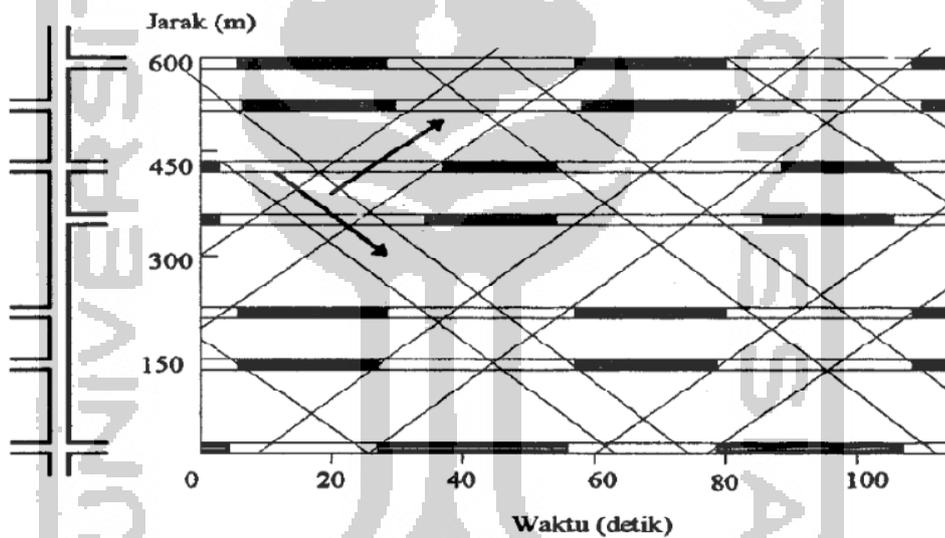
- 1 Jarak antar persimpangan tidak seragam.
- 1 Volume lalu lintas tidak sama pada kedua arah.
- 2 Kecepatan kendaraan mungkin berbeda pada kedua arah.
- 3 Lama lampu hijau untuk keseluruhan lampu yang dikoordinasikan tidak sama.
- 4 Adanya *disperse* pleton.

Secara berturut-turut Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 menunjukkan koordinasi sinyal untuk panjang ruas yang seragam dan tidak seragam.



Gambar 3.4 Koordinasi Sinyal Lampu Lalu Lintas pada Jalan Dua Arah dengan Jarak Persimpangan Seragam

(Sumber: Hobbs, 1995)



Gambar 3.5 Koordinasi Sinyal Lampu Lalu Lintas pada Jalan Dua Arah dengan Jarak Persimpangan Tidak Seragam

(Sumber: Hobbs, 1995)

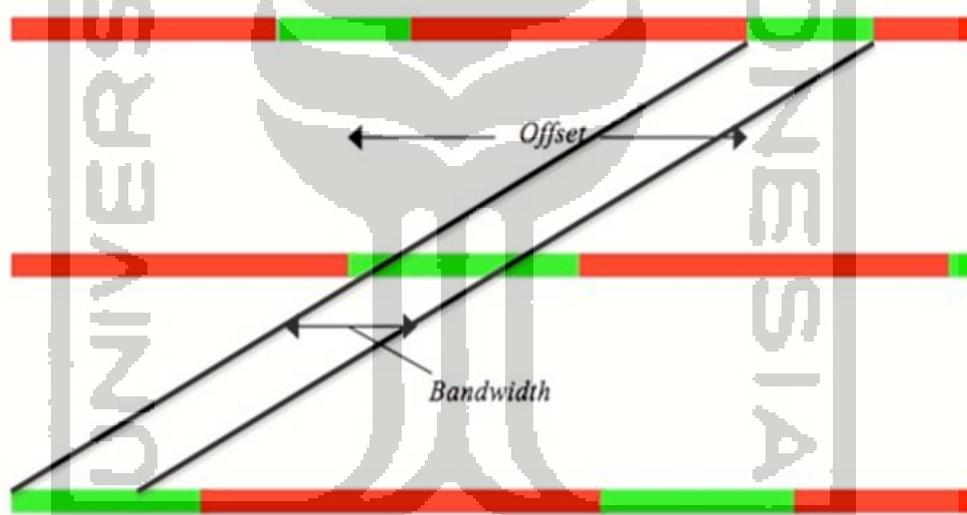
Arus lalu lintas dua arah dan jarak antar simpang perempatan tidak sama, maka situasinya lebih kompleks, seperti terlihat pada Gambar 3.5.

Dengan sistem laju yang fleksibel, waktu siklus pada setiap persimpangan adalah tetap, tetapi indikasi hijau digantikan agar cocok dengan kecepatan jalan yang dipilih dan merupakan suatu kompromi yang didasarkan pada arus searah, jarak sinyal, dan kebutuhan lalu lintas persilangan jalan (Hobbs, 1995)

3.5.3 *Offset* dan *Bandwidth*

Menurut Papacostas (2005), *offset* merupakan perbedaan waktu antara awal sinyal hijau pada simpang pertama dan awal sinyal hijau pada simpang berikutnya. Waktu *offset* dapat dihitung melalui diagram koordinasi, namun waktu *offset* juga dapat digunakan untuk mulai membentuk lintasan koordinasi, sedangkan *bandwidth* adalah perbedaan waktu dalam lintasan paralel sinyal hijau antara lintasan pertama dan lintasan terakhir. Keduanya berada pada kecepatan yang konstan dan merupakan *platoon* yang tidak terganggu sinyal merah sama sekali.

Untuk lebih jelasnya, *offset* dan *bandwidth* dapat dilihat pada gambar diagram koordinasi tiga simpang di bawah ini.



Gambar 3.6 *Offset* dan *Bandwidth* dalam Diagram Koordinasi

(Sumber: Taylor, 1996)

3.6 *Vissim*

Menurut PTV-AG (2011), *Vissim* adalah perangkat lunak multi-moda lalu lintas aliran mikroskopis simulasi. *Vissim* dikembangkan oleh PTV (Planing Transportasi Verkehr AG) di Karlsruhe, Jerman. *Vissim* merupakan singkatan dari “*Verkehr In Stadten – SIMulationsmodell*” yang artinya “Lalu Lintas di Kota – Model Simulasi”. Program ini menyediakan kemampuan animasi dengan perangkat tambahan dalam tiga dimensi.

Vissim dapat menganalisis lalu lintas dan perpindahan dengan batasan pemodelan seperti geometrik jalur, komposisi kendaraan, sinyal lalu lintas, *stop line*, perilaku pengemudi dan lain-lain, sehingga menjadi suatu alat yang berguna untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan rekayasa transportasi sebagai langkah-langkah pengambilan keputusan yang lebih efektif dan efisien dalam suatu kegiatan perencanaan termasuk simulasi dalam pengembangan model.

Dengan menginput data geometrik simpang, volume arus lalu lintas dan waktu sinyal maka dapat dihasilkan data *output* berupa volume arus lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan panjang antrian yang kemudian dijadikan sebagai variabel dalam pengkalibrasian. Ketiga variabel tersebut lalu dibandingkan dengan hasil dari pengamatan langsung di lapangan dan diuji validitasnya hingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

3.7 Kalibrasi dan Validasi *VISSIM*

Kalibrasi adalah proses dimana komponen model simulasi disesuaikan kembali sehingga model simulasi secara akurat mewakili atau mendekati dengan yang diamati. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi daerah yang diamati. Validasi pada *Vissim* merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil observasi dan hasil simulasi. Proses validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas.

Metode yang digunakan yaitu *trial and error* dengan mengacu pada penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi menggunakan *VISSIM*. Menurut Collins (2009) toleransi volume kendaraan sebesar 15 %. Pada kalibrasi,

metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar *Chi-squared* berupa rumus statistik *Geoffrey E Havers (GEH)*. *GEH* merupakan rumus statistik modifikasi dari *Chi-squared* dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak. Rumus *GEH* memiliki ketentuan khusus dari nilai error yang dihasilkan seperti pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Kesimpulan Hasil Rumus Statistik GEH

$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10$	Peringatan : kemungkinan model <i>error</i> atau data buruk
$GEH > 10$	ditolak

