

# DAFTAR ISI

Bab I Pendahuluan	3
1.1. Latar Belakang	3
1.2. Tujuan Pembahasan	4
1.3. Metoda Pembahasan	4
Bab II Prasarana Transportasi Jalan	5
2.1. Jalan Secara Umum	5
2.2. Manajemen Lalu Lintas	6
2.3. Hubungan Arus LaluLintas Dengan Sistem ITS	7
2.3.1. Hubungan Volume Kecepatan dan Kepadatan lalu Lintas	7
2.3.2. Kapasitas Jalan	8
2.3.3. Tingkat Pelayanan Jalan	8
2.3.4. Gelombang Kejut	10
2.3.5. enis Fasilitas	11
2.4. Kondisi Sarana dan Prasarana Transportasi	11
Bab III Intelligent Transportation Systems	20
3.1. Manfaat Sistem ITS	20
3.2. Lingkup Layanan Teknologi Informasi ITS	21
Bab IV ITS di Jalan Bebas Hambatan	23
4.1. Jalan Bebas Hambatan	23
4.2. Isu Desain Sistem ITS	24
4.2.1. Proses Sistem Informasi	24
4.2.2. Proses Desain	24
4.2.3. Pengembangan Proyek ITS	26
4.3. Alternatif Desain Fungsional	28
4.3.1. Hambatan Desain	28
4.3.2. Hubungan Konsep Manajemen ITS dengan Kinerja Lalu Lintas	28
4.4. Variabel Hambatan Lalu Lintas	32
4.4.1. Kemacetan Lalu Lintas	32
4.4.2. Pengalihan Kemacetan	32
4.5. Gambaran Kecelakaan Untuk Tujuan Rancangan ITS	32
4.5.1. Pengaruh Insiden Terhadap Kapasitas	33
4.5.2. Kecelakaan Sekunder	33
4.6. Ramp Metering	33
4.6.1. Pengenalan	33
4.6.2. Persyaratan Remp Metering	35
4.6.3. Strategi Remp Metering	35
4.8. Informasi Lalu Lintas Kepada Pengguna Jalan	37
4.8.1. Penentuan dan Pengelolaan Rute Tanggap Utama	37
4.8.2. Ekor Dari Deteksi Antrian	38
4.8.3. Model Evaluasi Efektifitas Penanggulangan Insiden	39
4.9. Pengalihan Pengguna Jalan	39
4.9.1. Teknik Pesan Untuk Pengguna jalan	39
4.9.2. Pesan Pengalihan	41
4.9.2.1. Kebijakan dan Strategi Operasi Pengalihan	41
4.9.3. Pertimbangan Lokasi VMS	41

4.11. Standar Komunikasi	42
4.12. Pertimbangan Desain Sistem Komunikasi Umum	43
4.13. Sistem Komunikasi Pusat dan Lapangan	44
4.13.1. Komunikasi Berbasis Kabel	44
4.13.2. Komunikasi Berbasis Jaringan Publik	44
4.14. Koleksi Informasi	44
4.15. Traffic Management Center	45
4.15.1. Pusat Manajemen Transportasi Jalan	45
4.16. Data Lalu Lintas	46
Bab V Kesimpulan	47

# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 21</b> Kecepatan vs. Arus lalu Lintas	8
<b>Gambar 22</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS A	9
<b>Gambar 23</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS B	9
<b>Gambar 24</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS C	9
<b>Gambar 25</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS D	9
<b>Gambar 26</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS E	10
<b>Gambar 27</b> Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS E	10
<b>Gambar 28</b> Penggabungan arus lalu lintas (weaving segment & ramp joint)	11
<b>Gambar 31</b> Sistem informasi ITS dalam lingkup unsur lalu lintas	22
<b>Gambar 41</b> Proses Informasi dari Sistem ITS Jalan Bebas Hambatan	24
<b>Gambar 42</b> Model pengembangan teknis Vee	25
<b>Gambar 44</b> Manfaat dan biaya perluasan ITS	31
<b>Gambar 45</b> Tahap penanggulangan insiden	33
<b>Gambar 46</b> Tampilan rambu ramp metering	34
<b>Gambar 47</b> Bentuk lain dari tampilan ramp metering	34
<b>Gambar 48</b> Layout sistem ramp metering masuk lajur tunggal	35
<b>Gambar 49</b> Kemacetan lalu lintas di pintu tol	36
<b>Gambar 410</b> Kemacetan lalu lintas di pintu tol	36
<b>Gambar 411</b> Sistem pembayaran dengan smart card	37
<b>Gambar 412</b> System ETC On Board Equipment (OBQ)	37
<b>Gambar 413</b> Pengalihan arus selama jam senggang	41
<b>Gambar 414</b> (a) Changeable message sign yang menampilkan informasi konstruksi , (b) Changeable message sign kecil yang menampilkan informasi insiden , (c) Changeable message sign yang menampilkan informasi cuaca dan pengendalian kecepatan	42
<b>Gambar 415</b> Alat sensor data lalu lintas (AVDS dan CCTV)	45



## BAB I

# Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Belum efisiennya sistem transportasi jalan yang ditunjukkan dengan masih banyaknya lokasi ruas jalan dan persimpangan dalam kondisi lalu lintas macet dan atau disertai dengan kejadian kecelakaan. Dampak kemacetan lalu lintas bagi pengguna jalan merupakan kerugian besar baik dalam bentuk materi maupun social, yang diperkirakan sudah melebihi 17,2 triliun rupiah setiap tahunnya, sebagai akibat dari biaya pemborosan nilai waktu produktif yang hilang dan biaya operasi kendaraan terutama bahan bakar, dan belum lagi dari aspek emisi gas buang yang diperkirakan sudah mencapai 25 ribu ton pertahun (Teddy L, 2007). Kondisi tersebut secara neraca keuangan nasional, negara juga merugi. Alangkah lebih bijak jika biaya tersebut bisa dimanfaatkan untuk pembangunan infrastruktur dan/atau manajemen lalu lintas

yang lebih baik. Permasalahan tersebut menjadi semakin kompleks terutama dihadapi kawasan perkotaan di negara-negara berkembang seperti Indonesia, dimana perkembangan kota yang pesat, seperti penduduk semakin banyak, terbatasnya lahan, terbatasnya dana, dan kondisi infrastruktur jalan dan lalu lintas yang spesifik (Sutandi, 2007, Dia, 2000).

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia, sudah menjadi masalah serius, dengan jatuhnya korban mencapai 40.000 jiwa pertahun akibat tabrakan. Salah satu hasil studi, menyatakan bahwa diperkirakan total biaya yang diakibatkan oleh kecelakaan lalu lintas sudah mencapai 2,9% dari PDB Indonesia (IndII, 2010).

Kemacetan dan kecelakaan juga terjadi pada jalan bebas hambatan yang ditolkan, jalan bebas hambatan pada awalnya dipahami dan dirancang

dengan spesifikasi teknis lebih tinggi karena untuk pengguna jalan tertentu dan bisa memberikan kelancaran lalu lintas. Namun, karena daerah perkotaan terus tumbuh, akibatnya jaringan jalan bebas hambatan kena imbasnya mendapat pembebanan lalu lintas yang tinggi.

Kondisi lalu lintas seperti diuraikan tersebut, akan berdampak pada mobilitas pergerakan orang dan barang, yang pada akhirnya berdampak pula pada penurunan tingkat pertumbuhan perekonomian nasional. Otoritas penyelenggara jalan menyadari, bahwa masalah kemacetan, kecelakaan, lingkungan, dan isu-isu produktivitas, tidak selalu harus ditangani dengan cara konvensional saja, yaitu melalui penambahan kapasitas dengan cara melebarkan atau penambahan panjang jalan. Cara tersebut akan semakin sulit terutama untuk kawasan perkotaan, karena akan terbentur dengan aspek ekonomi, sosial, dan politik menjadi tinggi dan sulit.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah sistem transportasi jalan seperti diuraikan di atas, seperti apa yang dilakukan di Negara-negara maju, yaitu dengan menerapkan sistem transportasi yang cerdas, yang disebut dengan *"Intelligent Transportation Systems"* (ITS). ITS adalah teknologi informasi dan telekuminasi yang mengintegrasikan unsur lalu lintas, yaitu pengguna jalan/orang, infrastruktur jalan, dan kendaraan yang saling berkomunikasi. Implementasi ITS di Negara maju tersebut, terbukti bisa memberikan hasil yang cukup signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem jaringan transportasi jalan, seperti peningkatan akan hal; mobilitas, aksesibilitas, dan pengurangan kecelakaan, serta ramah terhadap lingkungan (Vanderschuren, 2006).

Keberhasilan penerapan sistem ITS di negara-negara maju, tentunya dengan dukungan infrastruktur, manajemen, dan dana, serta perilaku pengguna jalan yang relatif lebih bagus dibanding dengan negara-negara berkembang, seperti Indonesia. Untuk itu penerapan sistem ITS di Indonesia, perlunya adanya kajian awal berkaitan dengan pemahaman akan peran dan fungsi yang ada pada sistem ITS, serta pemahaman akan kondisi sistem

transportasi jalan di Indonesia, sehingga dalam penerapan nanti akan didapat sistem ITS yang sudah sesuai dengan kondisi sistem transportasi jalan di Indonesia.

Penyelenggara jalan menyadari bahwa penerapan sistem ITS diperlukan, karena teknologi informasi sebagai dasar dari sistem ITS merupakan kebutuhan masa depan, termasuk dalam sistem transportasi jalan.

Dengan melihat spesifikasi teknis jalan bebas hambatan lebih tinggi dibanding kelas jalan lainnya, dan jalan bebas hambatan untuk sekarang ini masih di-tol-kan, yang tentunya jalan tol harus bisa memberikan layanan lebih baik kepada penggunaannya. Atas dasar tersebut, penulis mencoba merumuskan naskah ilmiah tentang ITS dengan judul *"Transportasi Jalan Cerdas di Jalan Bebas Hambatan"*.

## 1.2. Tujuan Pembahasan

Buku transportasi jalan cerdas di jalan bebas hambatan ini, bertujuan untuk memperkenalkan Sistem Transportasi Jalan Cerdas (ITS), dalam upaya meningkatkan kinerja pelayanan jalan bebas hambatan, agar terbebas dari adanya kemacetan dan/atau kecelakaan, serta ramah terhadap lingkungan.

Buku ini juga bisa digunakan sebagai bahan pertimbangan para praktisi jalan dalam mengambil keputusan untuk penanganan, perancangan, dan juga untuk meningkatkan kesadaran pengguna jalan berkaitan dengan manfaat layanan yang disediakan sistem ITS.

## 1.3. Metoda Pembahasan

Untuk mencapai tujuan dari penulisan naskah ilmiah ini, metoda yang digunakan meliputi langkah-langkah seperti; me-review dari beberapa literatur terkait, mengidentifikasi permasalahan kondisi eksisting sistem transportasi jalan bebas hambatan yang ada di Indonesia, dan melakukan diskusi dengan pihak lain (nara sumber) dari dalam dan luar negeri.





## BAB II

# Prasarana Transportasi Jalan

### 2.1. Jalan Secara Umum

Jalan sebagai prasarana transportasi orang dan barang di daratan dalam menghubungkan simpul-simpul kegiatan, simpul tersebut bisa berupa pusat kegiatan kota atau desa, jadi jalan mempunyai peran yang sangat strategis dalam berkembang tingkat sosial ekonomi pada simpul tersebut. Selain itu jalan berperan juga dalam menjaga stabilitas keamanan dan ketahanan pertahanan nasional. Untuk itu layanan prasarana transportasi jalan yang diberikan harus sesuai dengan peran jalan tersebut sesuai simpul yang dihubungkannya. Sebagai contoh, jalan yang menghubungkan simpul utama, seperti ibu kota provinsi, maka jalan

tersebut harus dilayani dengan klasifikasi fungsi arteri primer, artinya jalan dengan ciri-ciri lalu lintas berkecepatan tinggi dan perjalanan berjarak jauh. Untuk itu persyaratan teknis jalan harus disesuaikan dengan klasifikasi fungsi jalan, seperti jalan dengan klasifikasi tinggi, maka jalan tersebut dengan spesifikasi teknis semua elemen jalan lebih tinggi dibanding dengan di bawahnya.

Jalan bebas hambatan yang di-tol-kan sesuai peran, fungsi, dan status harus bisa memberikan pelayanan yang lebih baik terhadap pengguna jalan, yaitu meliputi aspek; keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas dengan mobilitas tinggi.

Untuk itu, persyaratan teknis dan spesifikasi jalan tol baik infrastruktur dan pengoperasian harus lebih tinggi dibanding kelas jalan lainnya.

Berikut ini, dalam penyelenggaraan jalan tol persyaratan berkaitan dengan keselamatan, ketertiban, dan kelancaran lalu lintas mengacu pada:

- Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, tentang Jalan.
- Peraturan Pemerintah No. 44 Tahun 2009, tentang Jalan Tol.

Diantaranya adalah sebagai berikut,

- 1) Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam dan untuk jalan tol di area perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam;
- 2) Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 ton;
- 3) Setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagaran dan dilengkapi dengan fasilitas penyeberangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan;
- 4) Pada tempat-tempat yang dapat membahayakan pengguna jalan tol, harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menyerap energi benturan kendaraan;
- 5) Setiap jalan tol wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas, marka jalan dan/atau alat pemberi isyarat lalu lintas lainnya;
- 6) Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya;
- 7) Jumlah jalan masuk dan jalan keluar ke dan dari jalan tol dibatasi secara efisien dan semua jalan masuk dan jalan keluar harus terkendali secara penuh;
- 8) Jarak antar simpang susun, paling rendah 5 kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 kilometer untuk jalan tol dalam perkotaan;
- 9) Jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah, menggunakan pemisah tengah atau median;
- 10) Lebar bahu jalan sebelah luar harus dapat dipergunakan sebagai jalur lalu lintas sementara dalam keadaan darurat;
- 11) Sarana komunikasi, sarana deteksi pengamanan lainnya yang memungkinkan

pertolongan dengan segera sampai ke tempat kejadian serta upaya pengamanan terhadap pelanggaran, kecelakaan dan gangguan keamanan lainnya;

- 12) Pada jalan tol antar kota harus tersedia tempat istirahat dan pelayanan untuk kepentingan pengguna jalan tol;
- 13) Tempat istirahat dan pelayanan disediakan paling sedikit satu untuk setiap jarak 50 kilometer pada setiap jurusan;
- 14) Setiap tempat istirahat dan pelayanan dilarang dihubungkan dengan akses apapun dari luar jalan tol.
- 15) Persyaratan fisik elemen-elemen infrastruktur jalan dan bangunan pelengkap jalan, dapat dilihat dalam persyaratan teknis jalan.

## 2.2. Manajemen Lalu Lintas

Manajemen lalu lintas adalah pengelolaan dan pengendalian arus lalu lintas dengan melakukan optimasi penggunaan prasarana yang ada, untuk memberikan kemudahan kepada unsur lalu lintas (kendaraan dan pejalan kaki) yang efisien dalam penggunaan ruang jalan serta memperlancar sistem pergerakan lalu lintas.

Manajemen lalu lintas berdasarkan Undang-undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan didefinisikan sebagai serangkaian usaha dan kegiatan yang meliputi perencanaan, pengadaan, pemasangan, pengaturan, dan pemeliharaan fasilitas perlengkapan jalan dalam rangka mewujudkan, mendukung dan memelihara keamanan, keselamatan, ketertiban, dan kelancaran Lalu Lintas. Usaha-usaha yang dilakukan dalam manajemen lalu lintas meliputi:

- Usaha dalam meningkatkan kapasitas infrastruktur jalan secara fisik, baik ruas jalan maupun persimpangan;
- Pemberian prioritas bagi jenis kendaraan atau pemakai jalan tertentu dalam menggunakan lajur, jalur dan/atau akses jalan;
- Penyesuaian antara permintaan perjalanan dengan tingkat pelayanan tertentu dengan mempertimbangkan keterpaduan intra dan antar moda;
- Penetapan sirkulasi pola lalu lintas, larangan dan/atau perintah bagi pemakai jalan.

Maka tujuan dari diadakannya manajemen lalu lintas dengan perangkat pengaturannya adalah untuk:

- Mendapatkan tingkat efisiensi dari pergerakan

lalu lintas secara menyeluruh dengan tingkat aksesibilitas yang tinggi dengan menyeimbangkan permintaan dengan sarana penunjang yang tersedia.

- Meningkatkan tingkat keselamatan dari pengguna yang dapat diterima oleh semua pihak dan memperbaiki tingkat keselamatan tersebut sebaik mungkin.
- Melindungi dan memperbaiki keadaan kondisi lingkungan di mana arus lalu lintas tersebut berada.
- Mempromosikan penggunaan energi secara efisien ataupun pengguna energi lain yang dampak negatifnya lebih kecil dari pada energi.

### 2.3. Hubungan Arus LaluLintas Dengan Sistem ITS

Fungsi dan desain ITS harus sesuai dengan prinsip perencanaan rekayasa lalu-lintas dan transportasi umum. Bagian-bagian berikut menjelaskan beberapa prinsip yang mempengaruhi desain konsep ITS.

#### 2.3.1. Hubungan Volume Kecepatan dan Kepadatan lalu Lintas

Ada tiga komponen utama yang mempengaruhi mengemudi, yaitu kendaraan, jalan /lingkungan, dan pengemudi. Kendaraan dan pengemudi dan bagaimana mereka dipengaruhi oleh lingkungan dan sifat fisik jalan. Volume, kecepatan, dan kerapatan lalu lintas memainkan peran utama dalam mendefinisikan dasar-dasar arus lalu lintas dan kapasitas.

Perilaku manusia juga memberikan kontribusi terhadap karakteristik aliran lalu lintas pada fasilitas jalan. Pertimbangan utama adalah jenis kendaraan dan dimensi, jari-jari putar kendaraan dan offtracking, ketahanan terhadap gerak, kebutuhan daya, kinerja percepatan, dan perlambatan. Kendaraan bermotor meliputi mobil penumpang, truk, van, bus, kendaraan rekreasi, dan sepeda motor. Untuk menyamakan satuan jumlah kendaraan dalam satuan yang sama, maka jenis kendaraan tersebut dikonversikan pada ekuivalen kendaraan penumpang, maka satuan tersebut menjadi satuan mobil penumpang (SMP).

Hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan disajikan dalam bentuk persamaan seperti:

$$q = k \cdot u \quad (4.1)$$

Keterangan:

- q = volume (kendaraan per jam per lajur).  
 k = kepadatan atau konsentrasi (kendaraan per mil per lajur).  
 u = kecepatan rata-rata jarak (mil per jam).

Kecepatan rata-rata adalah kecepatan rata kendaraan yang diukur berdasarkan jarak pendek, sebagai contoh melalui komputasi kemacetan kendaraan rata-rata dari waktu travel kendaraan yang diukur dengan jarak. Teknik deteksi lalu-lintas mengukur kecepatan rata-rata jarak. Kecepatan rata-rata waktu ( $U_T$ ) adalah kecepatan rata-rata kendaraan diukur pada suatu titik, dan dapat diukur dengan detektor titik. Jumlah ini secara statistik terkait. Hubungan empirisnya adalah:

$$u = 1.026 \cdot U_T - 1.89 \quad (4.2)$$

Dimana; u dan  $U_T$  diukur dalam mil per jam. Kecepatan rata-rata waktu melebihi kecepatan rata-rata jarak dengan perbedaan paling menonjol pada kecepatan rendah.

Kepadatan (konsentrasi) adalah jumlah kendaraan per satuan panjang jalan. Hubungan empiris adalah:

$$k = N/L \quad (4.3)$$

Keterangan:

- N = jumlah kendaraan yang melewati satu titik tertentu di jalan.  
 L = panjang jalan.  
 K = kepadatan.

Hubungan antara besarnya volume lalu lintas dengan kecepatan (dalam hal ini kecepatan sesaat) dengan kepadatan lalu lintas secara grafis bisa dimodelkan. Dimana hubungan variable tersebut dapat diartikan sebagai berikut:

- Hubungan kecepatan dan kepadatan, adalah linier yang berarti bahwa semakin tinggi kecepatan lalu lintas dibutuhkan ruang bebas yang lebih besar antar kendaraan yang mengakibatkan jumlah kendaraan per kilometer menjadi lebih kecil.
- Hubungan kecepatan dan arus adalah parabolik yang menunjukkan bahwa semakin besar arus kecepatan akan turun sampai suatu titik yang menjadi puncak parabola tercapai kapasitas setelah itu kecepatan akan semakin rendah

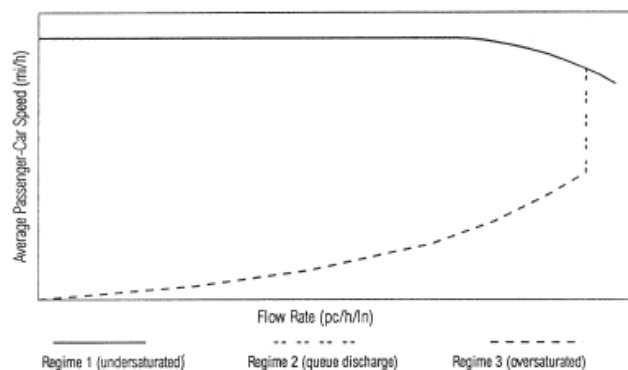
- lagi dan arus juga akan semakin mengecil.
- Hubungan antara arus dengan kepadatan juga parabolik semakin tinggi kepadatan arus akan semakin tinggi sampai suatu titik di mana kapasitas terjadi, setelah itu semakin padat maka arus akan semakin kecil.

### 2.3.2. Kapasitas Jalan

Kapasitas ( $c$ ), adalah laju arus dalam satuan waktu, biasanya maksimal per-15-menit, yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp) per jam per lajur (smp/jam), yang dapat ditampung oleh segmen jalan yang seragam dengan kondisi jalan dan lalu lintas dalam satu arah aliran. Kapasitas jalan terdiri atas dua kondisi, yaitu kapasitas dasar ( $c_0$ ) dan kapasitas actual ( $c$ ), secara teoritis untuk keamanan suatu lajur disarankan tidak dibebani

melebihi kapasitas dasar, karena pada volume tersebut sulit untuk mempertahankan kondisi yang stabil selama satu jam. Arus melebihi arus jenuh dipengaruhi oleh kemacetan ke arah hilir (arus yang menuju kondisi macet). Kecepatan rendah dan nilai kepadatan tinggi adalah karakteristik kemacetan dalam rejim ini.

Referensi memberikan hubungan antara arus dan kecepatan yang disarankan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-4. Gambar tersebut menunjukkan adanya tiga rejim arus untuk segmen jalan dan kendaraan dasar. Dengan kondisi rejim jenuh, pada saat volume lalu lintas meningkat, kecepatan akan sedikit berkurang sampai mencapai kapasitasnya. Untuk jalan empat lajur terbagi kapasitas per lajur 1650 (smp/jam), kondisi ini tergantung pada kecepatan arus bebas.



**Fig. 3.1** Speed vs. flow rate. *Source:* Highway Capacity Manual 2000. Copyright, National Academy of Sciences, Washington, D.C., Exhibit 13-4, pp. 13-5. Reproduced with permission of the Transportation Research Board. Regime references added by author

**Gambar 21** Kecepatan vs. Arus lalu Lintas

Sumber: Panduan Kapasitas Jalan Raya 2000. Hak Cipta, *National Academy of Sciences*, Washington, D.C., Ekshibit 13-4, hal. 13-5. Dibuat ulang dengan ijin dari *Transportation Research Board*.

### 2.3.3. Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat pelayanan (level of service/LOS) merupakan ukuran kualitatif dari persepsi pengemudi terhadap situasi lalu lintas yang terjadi yang bisa mempengaruhi kualitas dalam mengemudi, dan itu merupakan indicator tingkat kinerja lalu lintas suatu prasarana jalan. Dalam buku Indonesia Highway Capacity Manual (IHCM), Ditjen Bina Marga 1997, bahwa di Indonesia tidak secara langsung menggunakan tingkat pelayanan, di Indonesia untuk menilai kinerja lalu lintas dinyatakan dalam indicator kecepatan dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Derajat kejenuhan, merupakan rasio dari volume ( $v$ ) lalu lintas actual dan kapasitas ( $c$ ) jalan ( $V/C$ ). Kondisi rasio  $V/C$  mencapai nilai satu (1) sudah mencapai melebihi kapasitasnya, sedangkan saat mencapai kondisi rasio  $V/C$  melebihi nilai 0,8 kondisi mendekati macet (*saturated*).

Highway capacity manual (HCM 2000), Transport Research Board-US, untuk menyatakan *LOS* suatu fasilitas jalan, membagi dalam enam tingkatan yaitu A, B, C, D, E, dan F.

Dimana dimulai dari kondisi LOS-A, yang menyatakan situasi lalu lintas hampir tidak ada hambatan yang diakibat oleh pergerakan



kendaraan lain, sedangkan sampai pada kondisi LOS F yang sudah menyatakan situasi lalu lintas secara keseluruhan sudah dalam buruk/kritis.

**LOS A**, menggambarkan situasi aliran lalu lintas hampir tidak ada, hambatan yang diakibatkan oleh pergerakan kendaraan lain, efek terhadap kejadian kecelakaan atau kemacetan mudah untuk direndam.



**Gambar 22** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS A  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

**LOS B**, menggambarkan situasi aliran lalu lintas cukup bebas dan kecepatan aliran bisa dipertahankan, dalam kebebasan bermanuver dalam aliran lalu lintas hanya sedikit dibatasi dan secara psikologis yang dirasakan oleh pengemudi masih tinggi. Efek terhadap kecelakaan kecil dan kejadian terhadap kemacetan masih mudah direndam.



**Gambar 23** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS B  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

**LOS C**, menggambarkan situasi aliran lalu lintas yang masih bisa mendekati aliran bebas (free flow speed), kebebasan untuk bermanuver dalam aliran lalu lintas terasa mulai dibatasi, dan perubahan jalur memerlukan perawatan lebih serta kewaspadaan bagi pengemudi. Kecelakaan kecil masih dapat terjadi, tetapi kejadian kemacetan akan sangat besar. Antrian dapat terjadi di belakangnya manakala ada penyumbatan.



**Gambar 24** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS C  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

**LOS D**, menggambarkan situasi aliran lalu lintas, dimana kecepatan mulai menurun sedikit dengan volume lalu lintas mulai meningkat dan kepadatan mulai meningkat agak lebih cepat. Kebebasan untuk bermanuver dalam aliran lalu lintas lebih terasa terbatas, dan kenyamanan yang diberikan pengemudi secara fisik dan psikologis mulai berkurang. Bahkan kejadian kecelakaan kecil dapat terjadi serta dapat menciptakan antrian, karena aliran lalu lintas tersebut memiliki sedikit ruang untuk meredam gangguan.



**Gambar 25** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS D  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

Pada tingkat kepadatan tertinggi, LOS E menggambarkan situasi aliran lalu lintas pada kapasitasnya. Operasi pada tingkat yang tidak stabil, karena hampir tidak ada celah yang dapat digunakan dalam aliran lalu lintas. Kendaraan dengan jarak dekat dan sedikit ruang untuk bermanuver dalam aliran lalu lintas, serta kecepatan yang masih melebihi 49 mil /jam. Setiap gangguan dalam aliran lalu lintas, seperti kendaraan yang masuk dari sebuah jalan atau kendaraan mengubah lajur, dapat membuat gelombang gangguan yang menyebar di seluruh arus lalu lintas di hulu. Aliran lalu lintas dalam kapasitasnya tidak memiliki kemampuan untuk menghindari gangguan/kejadian apapun dan bisa menghasilkan gangguan serius dengan antrian yang panjang. Kemampuan untuk bermanuver dalam aliran lalu lintas sangat terbatas, dan tingkat kenyamanan fisik dan psikologis yang diberikan pengemudi buruk.



**Gambar 26** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS E  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

LOS F menggambarkan situasi aliran lalu lintas dalam kerusakan/memburuk, kondisi seperti ini biasanya terbentuk antrian panjang. Kerusakan terjadi karena sejumlah alasan seperti:

- Adanya kejadian kecelakaan lalu lintas dapat menyebabkan pengurangan kapasitas pada segmen jalan yang pendek, sehingga jumlah kendaraan tiba di tempat lebih besar dari jumlah kendaraan yang bisa menggerakkan keluar dari segmen jalan tadi.
- Pada kemacetan berulang, seperti pada fasilitas jalan menggabungkan (*merger*) atau jalinan (*weaving*) dan turun jalur, di mana jumlah kendaraan yang datang lebih besar dari

jumlah kendaraan yang ke luar.

- Dalam situasi peramalan, dimana volume lalu lintas direncanakan pada jam puncak (atau lainnya) tetapi yang terjadi melebihi perkiraan kapasitasnya di tempat itu.



**Gambar 27** Situasi aliran lalu lintas pada kondisi LOS E  
Sumber: HCM 2000, Transport Research Board-US

Perhatikan bahwa dalam semua kasus LOS, kerusakan terjadi ketika rasio permintaan yang ada untuk kapasitas aktual atau peramalan permintaan untuk kapasitas diperkirakan melebihi 1,0. Operasi segera dilakukan dibagian hilir, (dengan asumsi bahwa tidak ada kemacetan hilir tambahan), maka akan segera terjadi sebagai dari kendaraan bisa bergerak menjauh dari kemacetan.

LOS F operasi dalam antrian adalah hasil dari gangguan atau hambatan pada titik hilir. LOS F juga digunakan untuk menggambarkan kondisi pada titik kerusakan atau hambatan dan debit aliran antrian yang terjadi pada kecepatan yang lebih rendah dari kecepatan terendah untuk LOS E, serta antrian akan membentuk di hulu. Setiap kali LOS F terjadi, memiliki potensi untuk memperpanjang waktu tempuh.

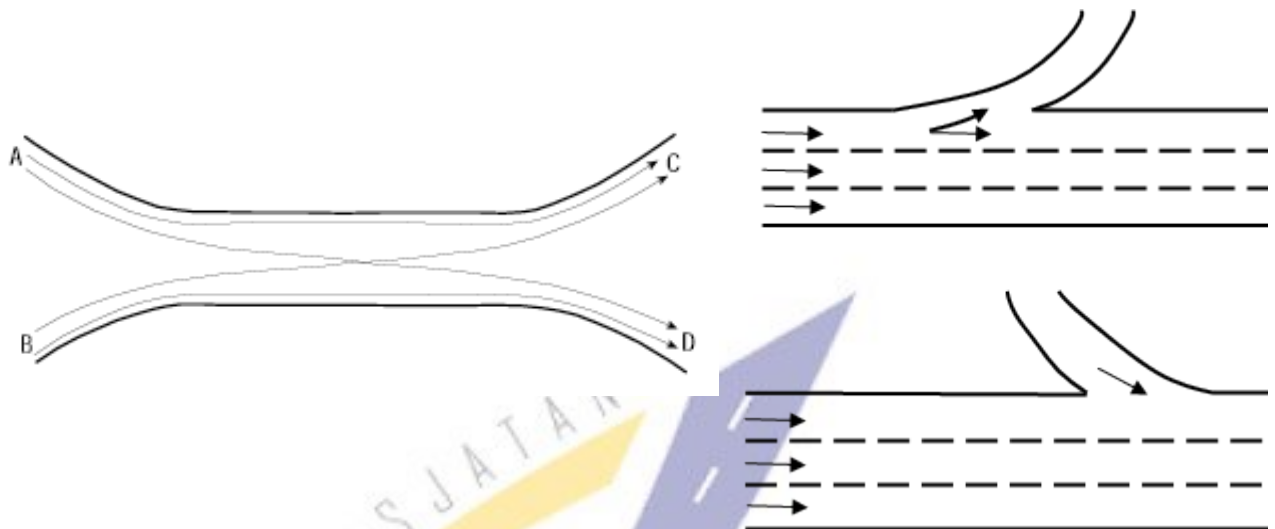
#### 2.3.4. Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shock wave*) adalah kondisi batas dalam domain waktu-jarak yang membatasi diskontinuitas kondisi kepadatan-arus. Pengendara kendaraan bermotor mungkin mengalami perubahan kecepatan signifikan di batas gelombang kejut. Kecepatan rambat gelombang kejut menentukan waktu yang diperlukan untuk mendeteksi insiden dengan perangkat ITS.

### J2.3.5. enis Fasilitas

Kebutuhan keterhubungan dari pusat-pusat aktifitas yang senantiasa menjadikan bangkitan dan tarikan lalu lintas, untuk itulah jaringan jalan sebagai prasarana transportasi jalan untuk mengalirkan barang dan orang dibuat. Fasilitas jalan untuk kepentingan aksesibilitas, maka pada segmen jalan tertentu adanyan dua atau lebih arus lalu lintas yang akan melakukan perpindahan

lajur atau lajur, mereka biasanya terbentuk karena adanya pertemuan dua buah ruas jalan yang berbeda atau terjadi manakala adanya jalan masuk dan keluar (*on- and off-ramps join*). Wujud fisik untuk fasilitas pertemuan jalan yang berbeda tersebut, bisa berupa persimpangan, perpindahan lajur (*weaving segment*) lihat Gambar 4-8, dan akses jalan untuk masuk atau keluar (*ramp joint*).



Gambar 28 Penggabungan arus lalu lintas (weaving segment & ramp joint)

## 2.4. Kondisi Sarana dan Prasarana Transportasi

Dengan berjalannya waktu, permasalahan lalu lintas biasanya tumbuh lebih cepat dari upaya untuk melakukan peningkatan atau pemecahan permasalahan transportasi jalan (umur rencana yang premature), sehingga mengakibatkan permasalahan menjadi bertambah parah. Kemacetan lalu lintas sekarang ini, hampir sering kita jumpai begitu juga kecelakaan.

Kejadian kemacetan dan kecelakaan tidak terbatas pada jalan tertentu pada waktu tertentu, tetapi dapat terjadi pada setiap saat sepanjang hari. Namun pada beberapa tempat pada bagian jaringan jalan tertentu, potensi yang bisa mengakibatkan terjadinya kemacetan bisa diprediksi lebih awal, seperti pada titik-titik sebagai berikut:

- Pertemuan dua ruas jalan yang sebidang (persimpangan).
- Penggabungan dua lajur (*Merging*), seperti pada bagian ramp (*Ramp metering*).
- Badan jalan yang tiba-tiba menjadi lebih kecil (*Bottleneck*), hal tersebut bisa karena

dimensi lebar jalur/lajur mengecil atau jumlah berkurang.

- Akibat adanya kecelakaan pada titik-titik tertentu, dimana frekwensi kejadian sering terjadi, seperti lokasi yang sudah dikategorikan sebagai *blackspot*.
- Akibat adanya bencana alam seperti banjir atau longsor.
- Akibat adanya pekerjaan jalan.
- Yang khas di jalan tol adalah saat transaksi pembayaran tol, yaitu di pintu gerbang tol.

Hal tersebut, sifatnya bisa sangat lokal, atau bisa juga melibatkan jaringan jalan lebih luas yang strategis, dengan konteks yang berbeda serta memerlukan strategi yang berbeda.

Fenomena dan tipikal penyebab permasalahan sistem transportasi jalan di Indonesia (kemacetan dan kecelakaan, dan seperti umumnya juga terjadi di negara-negara berkembang, yaitu menyangkut:

- Kurangnya koordinasi diantara pemangku kepentingan (*Stakeholders*) berkaitan dengan lalu lintas;
- Keterbatasan sumber daya yang ada, baik aspek manusia maupun aspek biaya;

- Tingginya pertumbuhan penduduk dengan lapangan pekerjaan yang kurang;
- Terbatasnya lahan untuk pengembangan dan mahal harganya, terutama untuk kawasan perkotaan.
- Kurangnya pelayanan sistem transportasi yang terpadu;
- Pengelolaan transportasi umum yang kurang efisien, seperti rendahnya kualitas informasi untuk penumpang termasuk informasi waktu perjalanannya;
- Rendahnya pengawasan dalam penegakan hukum;
- Menurunnya tingkat kompetisi angkutan umum dengan kendaraan pribadi, dimana pelaku perjalanan masih lebih memilih angkutan pribadi dibandingkan dengan angkutan umum dalam melakukan perjalanannya;

Atas dasar persoalan tersebut di atas, beberapa kondisi dan kejadian yang sering terjadi pada sistem transportasi di permukaan jalan yang khas di Indonesia. Beberapa tipikal permasalahan kondisi infrastruktur jalan dan lalu lintas yang berpotensi terjadinya kecelakaan dan kemacetan

lalu lintas, diantaranya adalah:

- Ciri-ciri infrastruktur/fisik dan lalu lintas tidak sesuai dengan klasifikasi fungsi jalannya, seperti dalam aspek ketentuan teknis geometri jalan, kapasitas, dan bercampurnya lalu lintas (*mixtraffic*);
- Lalu lintas yang ada melebihi kapasitas yang disediakan;
- Penerapan sistem rekayasa dan manajemen lalu lintas yang tidak optimal;
- Tata guna lahan sisi jalan yang tidak sesuai dengan klasifikasi fungsi jalannya, ini berakibat pada tingginya factor hambatan samping terhadap pergerakan lalu lintas. Faktor hambatan samping seperti; parkir di badan jalan, pejalan kaki, kaki lima, naik turun penumpang kendaraan, akses jalan, dan alinnya;
- Lemahnya penegakan hukum; dan
- Kejadian alam, seperti banjir dan longsor.

Berikut ini beberapa kejadian permasalahan transportasi jalan yang ada dipermukaan, yang diilustrasikan dalam foto-foto seperti tercantum dalam Tabel 4-5:



Tabel 21 Kejadian di Jalan Berakibat Kemacetan Lalu Lintas



Volume Lalu lintas Melebihi Kapasatasnya:

Volume lalu lintas hamper mendekati kapasitasnya, dengan adanya penyempitan jalan (*bottlenex*), hambatan samping, konflik, dan hambatan lainnya, bisa menyebabkan kemacetan/lalu lintas tersendat.



- Bumming sepeda motor.



Pasar Tumpah:

Dengan adanya hambatan samping berakibat pada:

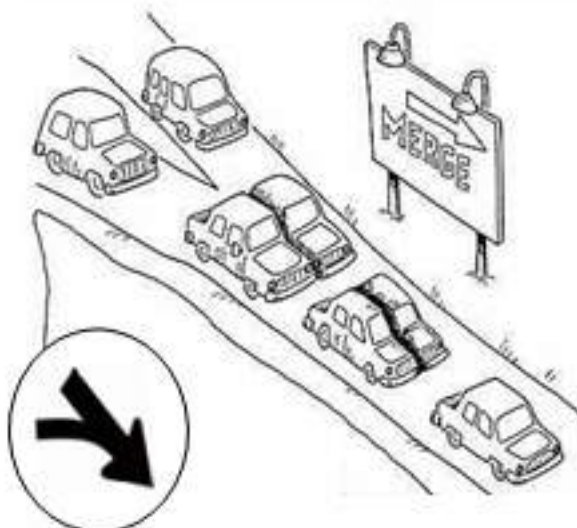
- Hambatan samping (Pejalan kaki, parker, naik turun penumpang, dan pedagang kaki lima),
- Lebar efektif jalan mengecil.





#### Gerbang Pintu Tol:

Jika volume lalu lintas melebihi kapasitas jalan dan/atau pintu tol, bisa berakibat terjadi kemacetan lalu lintas.



#### Fasilitas Penggabungan Arus Lalu Lintas:

Pengemudi tidak mengetahui akan adanya penggabungan arus lalu lintas atau merasa punya hak prioritas utama untuk masuk, kondisi tersebut bisa mengakibatkan konflik yang berakibat kecelakaan.





#### Fasilitas Persimpangan Sebidang:

Jika volume lalu lintas melebihi kapasitas persimpangan dan/atau manajemen lalu lintas tidak optimal, bisa berakibat terjadi kemacetan lalu lintas dan/atau kecelakaan.



#### Pekerjaan Jalan:

Pada pekerjaan jalan akan terjadi lebar efektif jalur berkurang (misalkan satu lajur ditutup), kondisi tersebut bisa berakibat pada:

- Adanya penggabungan arus;
- Lajur yang ada tidak bisa menampung volume lalu lintas (sudah jenuh).

Kondisi tersebut bisa berakibat kemacetan dan/atau kecelakaan.







#### Kecelakaan Lalu Lintas:

Kejadian kecelakaan yang berakibat pada penutupan sebagian atau seluruh lajur karena adanya tim evakuasi, investigasi, atau pelaku kecelakaan (orang/kendaraan). Kondisi tersebut bisa terjadinya kemacetan lalu lintas.





#### Longsor Badan Jalan:

Kejadian longsor di tebing atau jurang jalan yang berakibat pada penutupan sebagian atau seluruh lajur karena adanya material yang longsor, tim evakuasi, atau investigasi. Kondisi tersebut bisa terjadinya kemacetan lalu lintas.



#### Banjir:

Banjir yang menutup badan jalan bisa terjadi akibat bencana alam seperti hujan yang besar, sistem drainase yang tidak baik, pasang air laut, atau tanggul sungai jebol. Kondisi tersebut bisa arus lalu lintas terhambat dan/atau tertutup samasekali, kemacetan dan antrian tidak bisa dihindari.



#### Perlintasan Kereta Api Sebidang:

Penutupan jalan akibat kereta api melintas jalan, kondisi tersebut bisa berakibat pada penumpukan lalu lintas yang berakhir pada antrian lalu lintas.

Beberapa kemungkinan bisa terjadi dengan adanya perlintasan sebidang kereta api:

- Terjadi kecelakaan, jika ada kelalaian petugas pintu;
- Frekwensi penutupan terlalu sering, hambatan/kerugian pengguna jalan pada segmen jalan tersebut menjadi besar.



## BAB III

# Intelligent Transportation Systems

### 3.1. Manfaat Sistem ITS

Intelligent Transportation Systems (ITS), adalah sistem yang menerapkan teknologi informasi dan komunikasi secara elektronik melalui *software* dan *hardware computer*. Informasi tersebut sebagai hasil integrasi dari unsur lalu lintas seperti, infrastruktur jalan, kendaraan, dan orang/pengemudi. Dengan berbagi informasi tersebut, memungkinkan pengguna jalan untuk mendapatkan lebih banyak tentang permasalahan transportasi jalan lebih luas dengan dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan lebih kecil. Penerapan teknologi informasi (*Traveler Information Systems*) yang umum sekarang banyak

digunakan seperti pada:

- 1) Jalur informasi radio, yang dapat diakses dari rumah, kantor, atau dalam kendaraan selama perjalanan.
- 2) Jalur informasi telepon, yang juga dapat diakses dari berbagai lokasi.
- 3) Jalur informasi sistem navigasi (GPS atau panduan rute dinamik) di dalam kendaraan.
- 4) Dynamic message signs (VMS) yang diinformasikan kepada pengguna selama perjalanan.
- 5) Jalur informasi internet, yang dapat diakses dari berbagai lokasi. Informasi melalui internet yang dapat disajikan lebih luas lagi, yang antara



lain menyangkut: kepadatan dan kemacetan lalu lintas, jadwal perjalanan, rute perjalanan, alternative rute perjalanan, harga tiket, tundaan perjalanan, polusi udara, dan cuaca.

Tujuan utama dari ITS adalah, untuk mengefisienkan sistem transportasi permukaan jalan, yang bisa berdampak pada variable kinerja lalu lintas, seperti; pengurangan kepadatan lalu lintas, peningkatan kecepatan, pengurangan waktu tempuh (*travel time*), peningkatan keselamatan dan keamanan, peningkatan produktivitas ekonomi/mobilitas, peningkatan kualitas lingkungan hidup pada ruang jalan.

Beberapa manfaat dari adanya aplikasi informasi melalui sistem ITS pada lingkup sistem transportasi jalan, yang diantaranya adalah:

- Pengguna jalan/pengemudi, sebelum melakukan perjalanan bisa merencanakan atau menentukan pilihan-pilihan apa yang harus dilakukan;
- Manajemen dan pengguna angkutan umum, bisa mengatur waktu pelayanan (berangkat, tiba, dan hambatan), serta penyediaan tiket;
- Mengintegrasikan transportasi publik ke dalam sistem manajemen lalu lintas, melalui pemberian prioritas, seperti untuk bus dan trem;
- Memungkinkan operator angkutan umum dan otoritas bea cukai untuk mendapatkan informasi tentang kiriman barang dan sekaligus melacak posisi, status, dan memberikan informasi mengenai rute yang paling efisien (ekonomis dan aman untuk pengangkutan);
- Meningkatkan efisiensi angkutan penumpang dan barang serta mengurangi kemacetan pada jaringan dengan manfaat/mengoptimalkan jaringan jalan yang ada, termasuk antrian di gerbang tol;
- Lebih lanjut atau secara teknis manfaat yang dirasakan oleh pengemudi di lapangan meliputi:
  - ✓ Menjaga kendaraan pada jarak yang aman dari satu sama lain (*Gap*);
  - ✓ Memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi langsung dengan infrastruktur di sekitar dan/atau dengan kendaraan satu sama lainnya. Memungkinkan pengemudi untuk membuat keputusan lebih baik tentang rute mereka dan bisa menanggapi peringatan dari suatu kondisi kemacetan dan kecelakaan lalu lintas yang terjadi;
  - ✓ Pengemudi diberitahu tentang batas kecepatan

yang harus dilakukannya;

- ✓ Memberi tahu kepada pengemudi akan tanda-tanda kelelahan dan sekaligus memberitahukan sudah waktunya untuk mengambil istirahat;
- ✓ Informasi lalu lintas bagi pelaku perjalanan, didapat secara *real time* yang dapat diandalkan, di mana saja kapan saja.

Dari mekanisme lojik dan manfaat yang didapat dari penerapan ITS, adanya suatu potensi yang bisa meningkatkan kinerja sistem transportasi permukaan jalan, yang tentunya harus dikelola dengan baik dan benar. Untuk itu pengorganisasian ITS di negara-negara maju dilaksanakan secara bersama oleh pemerintah/kepolisian, operator transportasi, dan kalangan industri. Industri selain masalah kebijakan, industri juga terkait dalam mendukung penelitian dan pengembangan teknolog automotive menyangkut; elektronika, komputer, telekomunikasi. Ini dilakukan agar potensi dari stakeholder yang terlibat bisa dimaksimalkan. Karena itu ITS menjadi primadona dan dianggap sebagai teknologi manajemen transportasi permukaan jalan untuk masa depan.

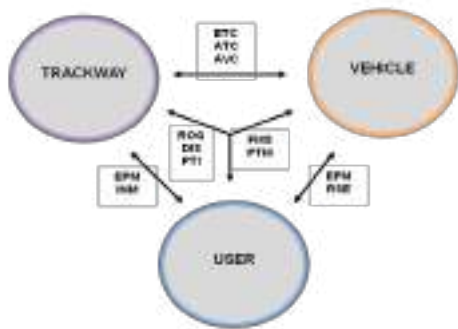
### 3.2. Lingkup Layanan Teknologi Informasi ITS

Potensi teknologi layanan informasi yang ada dalam sistem ITS dari hasil sinergi unsur jalan, kendaraan, dan pengguna/orang. Sistem ITS merupakan proses gabungan dengan prinsip manajemen lalu lintas (*traffic engineering*) secara fundamental. Ada tigabelas (13) jenis lingkup layanan teknologi informasi secara umum yang mencirikan sistem ITS yaitu;

- 1) *Traffic Management Center (TMC)*
- 2) *Advanced Traffic Control (ATC)*.
- 3) *Automatic Vehicle Control (AVC)*.
- 4) *Driver Information Systems (DIS)*.
- 5) *Environment and Pollution Monitoring (EPM)*.
- 6) *Electronic Toll Collection (ETC)*.
- 7) *Freight Management Systems (FMS)*.
- 8) *Incident Management Systems (INM)*.
- 9) *Public Transport Information (PTI)*.
- 10) *Public Transport Management Systems (PTM)*.
- 11) *Route Guidance (ROG)*.
- 12) *Road Safety Enhancement (RSE)*.
- 13) *Telecommunications Applications (TEL)*.

Keterhubungan setiap jenis teknologi layanan informasi dalam unsur lalu lintas yang paling signifikan hubungan manfaatnya, oleh Garrett dan Booz Allen (1998), adalah seperti diilustrasikan

pada Gambar 3-1 di bawah ini:



**Gambar 31** Sistem informasi ITS dalam lingkup unsur lalu lintas

Dalam tulisan ini, berkaitan dengan penerapan sistem ITS di jalan bebas hambatan, untuk itu lingkup layanan difokuskan pada tujuh elemen inti ITS, yaitu:

- 1) *Traffic Management Center (TMC)*
- 2) *Advanced Traffic Control (ATC).*
- 3) *Automatic Vehicle Control (AVC).*
- 4) *Electronic Toll Collection (ETC).*
- 5) *Incident Management Systems (INM).*
- 6) *Route Guidance (ROG).*
- 7) *Road Safety Enhancement (RSE).*

Manfaat dari setiap layanan teknologi ITS dalam berbagai kasus seperti dilakukan oleh Garrett dan Booz Allen (1998) hasil mengutip dari beberapa penelitian yang dilakukan di Eropa menunjukkan adanya peningkatan kinerja sistem transportasi jalan. Hasil yang ditunjukkan tersebut, masih tergantung akan karakteristik masyarakat perkotaan dan wilayah serta kombinasi dari faktor teknologi yang digunakan. Manfaat teknologi tersebut, seperti diuraikan pada Tabel 3-1. di bawah ini

**Tabel 31** Manfaat potensial pada setiap lingkup teknologi informasi sistem ITS

Technology	Benefit					
	Better Utilisation of Infra-structure	Improved Traffic Flow	Better Public Transport	Enhanced Safety	Lower Freight Cost	Reduced Environmental Impact
Advanced Traffic Control (ATC)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Route Guidance (ROG)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Driver Information System (DIS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Incident Management System (INM)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Electronic Toll Collection (ETC)	✓	✓	✓	?		✓
Automatic Vehicle Control (AVC)	✓	✓	✓	✓		✓
Public Transportation Information (PTI)			✓			✓
Public Transportation Management System (PTM)			✓			✓
Road Safety Enhancement (RSE)				✓		
Freight Management System (FMS)					✓	
Environment and Pollution Monitoring (EPM)						✓
Telecommunications Applications (TEL)	✓	✓				✓



## BAB IV

# ITS di Jalan Bebas Hambatan

### 4.1. Jalan Bebas Hambatan

Klasifikasi jalan di Indonesia, terbagi atas kelas jalan bebas hambatan, jalan raya, jalan sedang, dan jalan kecil. Jalan bebas hambatan dalam operasionalnya masih selalu di tol kan. Artinya para pengguna jalan tol diharuskan membayar sejumlah uang yang disesuaikan atas jenis kendaraan dan jarak yang ditempuh, karena beberapa pertimbangan tertentu, terutama keterbatasan biaya untuk pembangunan. Jalan tersebut sebagai jalan alternatif pilihan untuk mempersingkat waktu atau jarak tempuh dari suatu tempat ke tempat lain. Jalan yang di-tol-kan, dengan persyaratan teknis lebih tinggi dibandingkan kelas jalan lainnya.

Selain itu jalan di tol-kan mengharuskan bisa memberikan tingkat pelayanan yang lebih bagus dibanding jalan lainnya, maka jalan tol diharuskan memenuhi “standar pelayanan minimal” (SPM) tertentu.

Untuk mewujudkan tingkat pelayanan jalan bebas hambatan kepada pengguna jalan, maka operator jalan bebas hambatan/tol harus senantiasa menjalankan fungsi-fungsi seperti berikut ini:

- Mengelola dan memberikan informasi kepada pengguna jalan, tentang segala sesuatu yang bisa menghambat perjalanan atau kejadian kecelakaan.

- Mendukung cepat tanggap bagi para petugas, dalam mengurangi terjadinya antrian kendaraan yang berdampak pada penurunan waktu tunda lebih lama.
- Mengelola lajur utama dan gerbang tol dengan okupansi tinggi.
- Pengendalian akses jalan atau pemakaian lajur, seperti kemampuan kapasitas ramp (Ramp Metering).
- Meningkatkan fungsi rambu rambu kendali utama dan sementara.
- Menyediakan layanan darurat.

## 4.2. Isu Desain Sistem ITS

### 4.2.1. Proses Sistem Informasi

Proses informasi yang umum terjadi pada jaringan jalan bebas hambatan yang di tol-kan, sesuai tujuan utama manajemen lalu lintas, yaitu untuk mereduksi tingkat kemacetan dan kecelakaan sesuai kondisi setempat/local. Manajemen atau rekayasa lalu lintas yang digunakan, dengan prinsip bahwa, jika informasi segala sesuatu yang berpotensi terhadap penurunan kinerja lalu lintas, seperti kejadian kecelakaan, kemacetan, konflik lalu lintas bisa disampaikan lebih awal kepada pengguna jalan. Dengan informasi tersebut paling tida pengguna jalan sudah bisa mengantisipasi apa-apa yang harus dilakukan, sebelum memasuki lokasi bermasalah. Dari proses informasi itu, permasalahan lalu lintas tidak terlalu signifikan terhadap semakin buruk lagi kinerja lalu lintas.

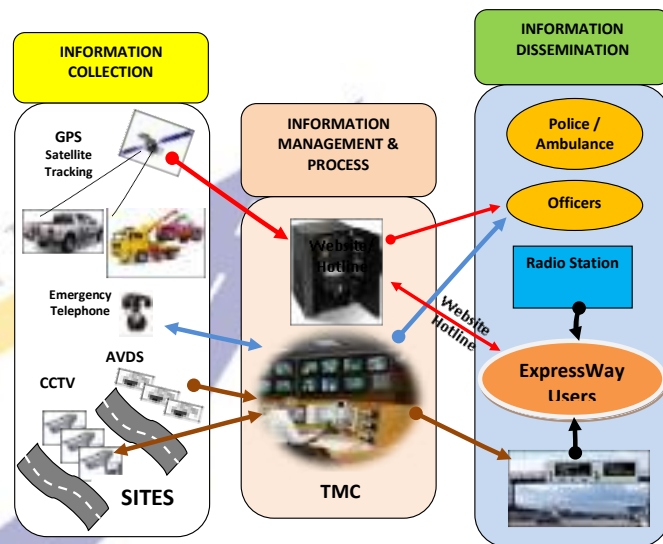
Sistem ITS, merupakan salah satu jawaban untuk permasalahan kinerja lalu lintas tersebut. Sistem ITS jika diterapkan di jalan bebas hambatan, adanya tiga bagian proses utama sistem ITS, dimulai dari awal sampai dengan akhir, adalah sebagai berikut:

- Pertama; Sub-sistem ITS, menjalankan fungsi sebagai pengumpul data informasi (*Information Collection*), bisa berupa data infrastruktur jalan dan lalu lintas, ini dilakukan dengan peralatan sensor (*Traffic Data Collection Devices*). Peralatan tersebut dipasang di titik tertentu di jalan, data yang didapat disesuaikan dengan dengan kebutuhan untuk mengidentifikasi karakteristik lalu lintas pada daerah/lokasi tertentu. Data dikirim ke pusat pengolahan, yang disebut *Traffic Management Center* (TMC).
- Kedua; Sub-sistem ITS, yang disebut TMC, menjalankan fungsi mengatur dan mengolah data

(*Information Management dan Process*). Peralatan TMC umumnya dipasang di kantor.

- Ketiga; Sub-sistem ITS, yang disebut dengan penyebaran/penyampaian informasi kepada pengguna jalan (*Information Dissemination*). Banyak media untuk menyampaikan informasi tersebut, seperti variable message sign (VMS) dan broadcast serta internet.

Proses penyampaian informasi dari ketiga sub-sistem ITS tersebut, disampaikan secara real-time melalui kabel atau nirkabel (*wireless*), dan juga bisa menggunakan media lain seperti, *website* atau *hotline*. Untuk jelasnya proses mekanisme penyampaian informasi tersebut, lihat pada Gambar 4-1 di bawah ini.



**Gambar 41** Proses Informasi dari Sistem ITS Jalan Bebas Hambatan

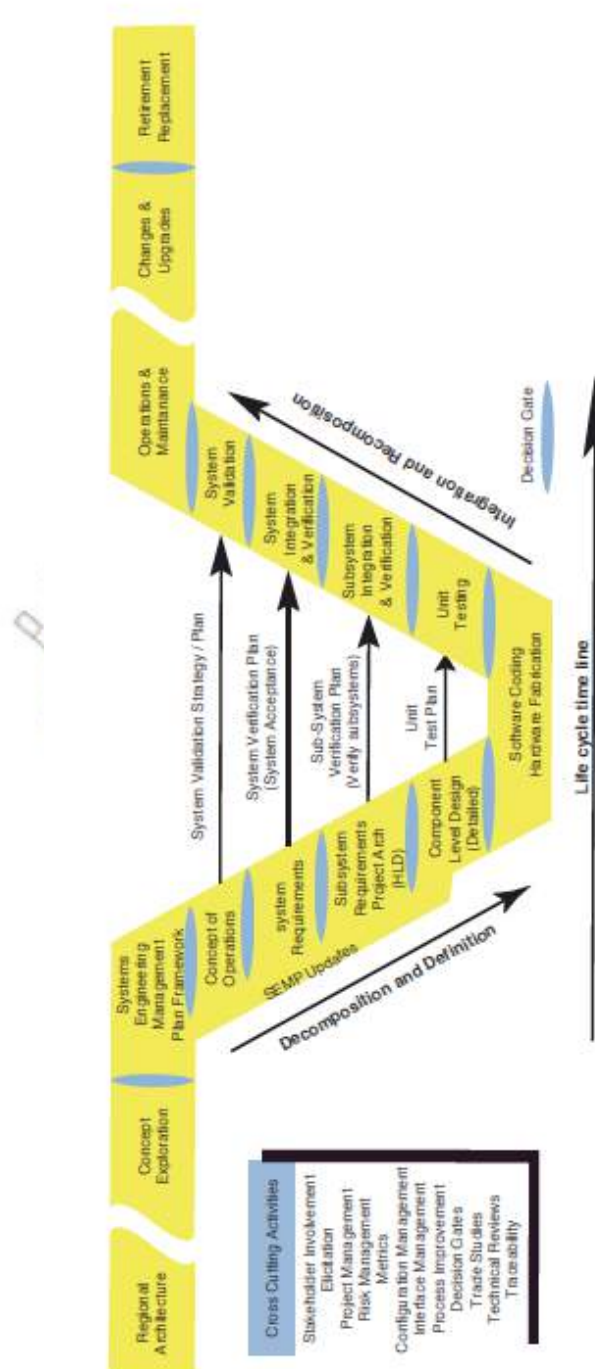
### 4.2.2. Proses Desain

Proses informasi yang ada pada sistem ITS, merupakan proses inter disiplin. Di awal desain sistem ITS, *International Council on Systems Engineering* (INCOSE) di Amerika tahun 1960, menganalogkan pada pengembangan sistem militer di Amerika. NCOSE mencoba merealisasikan sistem yang berjalan tersebut pada sistem ITS dengan mengintegrasikan semua disiplin dan kelompok spesialis menjadi sebuah usaha tim, untuk membentuk sebuah proses pengembangan yang terstruktur, yang berjalan dari mulai konsep menjadi produksi dan selanjutnya menjadi operasi. Teknis sistem mempertimbangkan kebutuhan bisnis semua konsumen dengan tujuan untuk menyediakan sebuah produk berkualitas yang memenuhi kebutuhan pengguna.



Panduan Teknis Aplikasi Sistem ITS, menyediakan panduan kegiatan untuk implementasi dengan mengaplikasikan model pengembangan teknis Vee (Gambar 4-2). Panduan tersebut banyak digunakan oleh para pengguna, cara metoda Vee tersebut mengindikasikan bahwa bagian-bagian dalam diagram, mulai dari “Eksplorasi

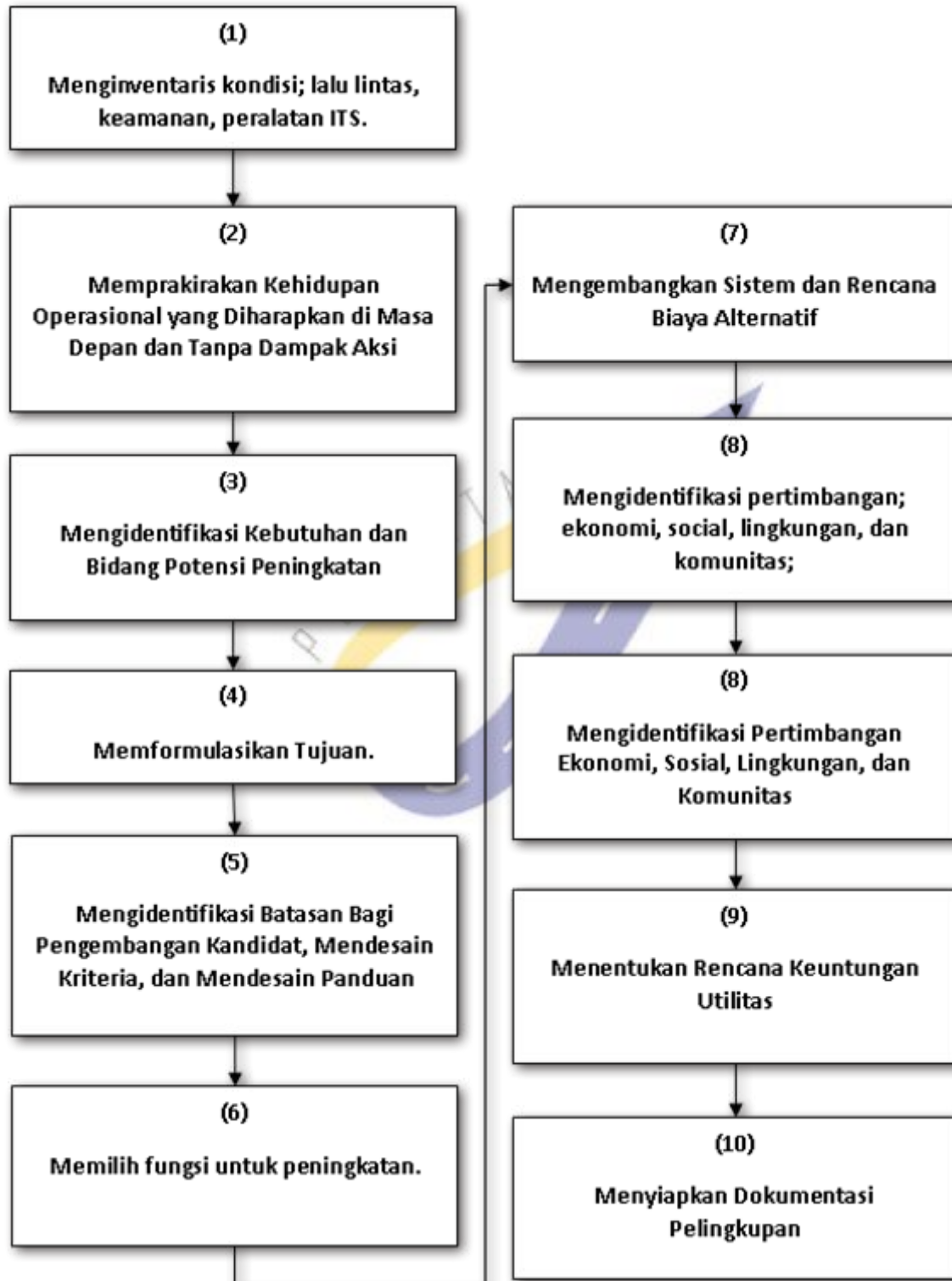
Konsep” hingga “Kebutuhan Sistem” dipengaruhi oleh arsitektur ITS regional. Elemen kunci pada diagram Vee adalah Konsep Operasi (*the Concept of Operations/CONOPS*). Tujuan CONOPS adalah untuk mendokumentasikan total lingkungan dan penggunaan sistem dari sudut pandang pemegang kepentingan



**Gambar 42** Model pengembangan teknis Vee

### 4.2.3. Pengembangan Proyek ITS

Pengembangan sistem ITS dengan Model Vee yang diringkan seperti diilustrasikan pada Gambar 4-3 dan berkorespondensi dengan Tabel 4.1 menunjukkan hubungan tahap-tahap operasi.



Tabel 41 Hubungan pengembangan dan operasi proyek NYSDOT dengan siklus hidup teknis sistem

Proses Diagram VEE FHWA	Fungsinya Operasi dan Pengembangan Kegiatan Teknis NYSDOT				
	Pelengkungan	Desain Awal	Desain Detil	Konstruksi	Operasi & Perawatan
Konsep Operasi	Kondisi lalu lintas dan inventarisasi keamanan (1) Pemegang kepentingan, badan-badan yang berpartisipasi (3) Tujuan (4) Ukuran efektivitas (4)				
Kebutuhan Tingkat Tinggi	Kehidupan layanan mendatang (2) Batasan (5) Pemilihan fungsi untuk peningkatan (6) Pengembangan alternatif (7) Pertimbangan lain (8) Keuntungan (9) Rekomendasi pengembangan proyek (10)				
Kebutuhan Detil					
Desain Tingkat Tinggi					
Desain Detil					
Implementasi					
Integrasi dan Tes					
Verifikasi SubsisTem					
Verifikasi Sistem					
Operasi dan Perawatan					
Penilaian	Pengukuran kinerja dari Langkah 4				

### 4.3. Alternatif Desain Fungsional

Metodologi rekayasa sistem biasanya memerlukan analisa alternatif untuk memastikan bahwa opsi desain dipertimbangkan dalam konteks yang objektif dan hambatan pelaksanaan. Alternatif jika “tidak melakukan apa-apa” biasanya dipertimbangkan dan seringkali merupakan dasar manfaat untuk berbagai alternatif desain lainnya.

#### 4.3.1. Hambatan Desain

Hambatan desain membatasi pemilihan komponen dan pengoperasian yang sesuai untuk kegiatan proyek. Pemenuhan tujuan dan pendekatan agar memenuhi persyaratan fungsional tertentu, seringkali terhambat oleh permasalahan terutama dari sumber daya, institusi dan legalisasi. Dalam beberapa kasus, perlunya mengatasi permasalahan yang dapat menjamin pengurangan hambatan. Dalam hal tidak adanya situasi tersebut, pemakaian analisa hambatan berpotensi mempermudah pemilihan alternatif desain dengan mengesampingkan alternatif diluar batas hambatan. Beberapa hambatan umum terjadi, antara lain:

1) Hambatan Sumber Daya, menyangkut:

- Pendanaan modal investasi.
- Dana untuk pengoperasian.
- Dana untuk pemeliharaan.
- Level dan kapabilitas personil/staf.

Referensi menunjukkan hambatan sebagai bagian dari proses pengembangan kegiatan proyek. Kebijakan pemerintah pusat berkomitmen terhadap hambatan financial, baik untuk jangka pendek maupun panjang.

2) Hambatan Institusional, menyangkut:

- Pendanaan melalui proses perencanaan jangka panjang.
- Persyaratan penggunaan spesifikasi standar tertentu lembaga.
- Persyaratan penggunaan standar dan protokol Arsitektur ITS Nasional.
- Persyaratan menyediakan interoperabilitas dengan ITS lainnya di wilayah hukum yang sama atau wilayah hukum yang berbeda.

3) Hambatan Desain Umum:

- Pemeliharaan utilitas yang ada.
- Hambatan hak-atas-jalan.
- Pertimbangan ekonomi, sosial, lingkungan, dan masyarakat.

4) Hambatan Legalisasi, menyangkut:

- Persyaratan menggunakan peralatan yang ada.

- Persyaratan peralatan baru harus kompatibel dengan peralatan yang ada lainnya.

Apabila identifikasi hambatan dini, akan memberikan manfaat lebih baik, seperti:

- Manfaat potensial pendekatan kegiatan proyek atau desain, bisa mengindikasikan bahwa upaya keras pada bagian tertentu harus bisa dilakukan, agar bisa meminimalisir hambatan.
- Kegiatan proyek harus tunduk pada hambatan. Hambatan ini bisa menghilangkan beberapa alternatif dari pertimbangan untuk tahapan selanjutnya.

#### 4.3.2. Hubungan Konsep Manajemen ITS dengan Kinerja Lalu Lintas

Adanya suatu hubungan yang signifikan antara varian konsep manajemen ITS dengan variable kinerja lalu lintas yang utama, seperti diuraikan pada Tabel 4-2 menunjukkan bagaimana tujuan ini dihubungkan dengan sejumlah konsep manajemen ITS di jalan bebas hambatan. Ini sebagai dasar pegangan untuk memudahkan pengembangan kandidat konsep dan alternatif untuk setiap kegiatan proyek. Kriteria dasar yang digunakan dari setiap hubungan, yaitu menggunakan prinsip-prinsip analisa kinerja lalulintas, seperti kecepatan dan derajat kejenuhan.

Referensi lain mendeskripsikan pendekatan kategorisasi level kinerja lalu lintas sehingga intensitas perluasan ITS dapat dipilih untuk mengimplementasikan konsep, Gambar 4-4, bisa digunakan sebagai gambaran pendekatan kondisi lalu lintas, sebagai hasil dari biaya yang diinvestasikan dan keuntungan yang bisa didapat, adanya tiga level kondisi, yaitu:

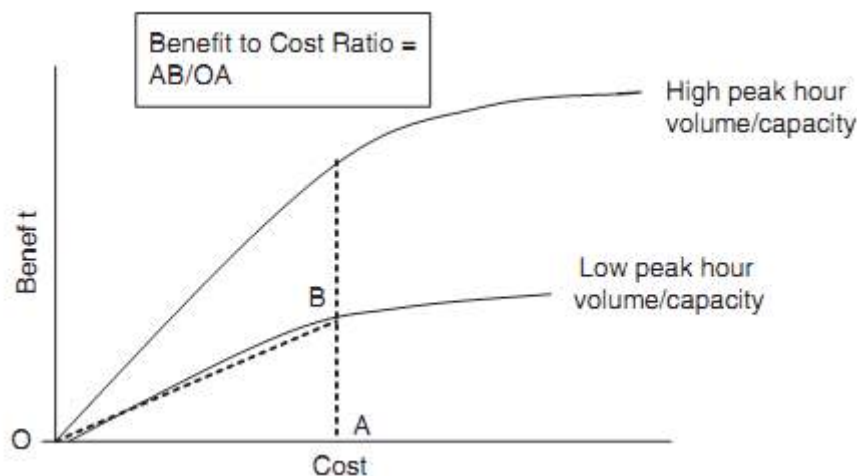
- Level 3 - Bagian roadway searah dalam satu arah yang meliputi level jam sibuk layanan D atau lalu-lintas yang lebih buruk minimal untuk satu setengah bagian.
- Level 2 - Bagian roadway searah dalam satu arah yang meliputi level jam sibuk layanan C atau lalu-lintas yang lebih buruk minimal untuk satu setengah bagian. Kondisi yang lebih buruk dibandingkan dengan level layanan C bisa terjadi di lokasi titik tersebar atau untuk bagian kecil. Dalam hal ini, adalah tepat meningkatkan konsentrasi peralatan lapangan di lokasi-lokasi tersebut.
- Level 1 - kondisi lalu-lintas lebih baik dibandingkan dengan level



**Tabel 42** Hubungan konsep manajemen ITS dengan kinerja lalu lintas yang terjadi

Konsep Manajemen	Monitoring Peralatan ITS dan Manajemen Inventarisasi, Keamanan									
	Teknik Deteksi Kemacetan Berulang	Deteksi Kemacetan tak-Berulang dan Pelacakan Insiden	Informasi Traveler	Ramp Metering	Sistem Informasi Cuaca Jalan	Bantuan Pengendara	Pengumpulan Data dan Manajemen Perencanaan dan Evaluasi Kinerja			
Kinerja Lalu Lintas Yang Terjadi	1. Mengurangi kemacetan / meningkatkan waktu travel	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	a. Kemacetan berulang – bagian signifikan	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	b. Kemacetan berulang – spot	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	c. Kemacetan tak-berulang (bagian signifikan)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	d. Kemacetan tak-berulang (spot)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
2. Mengurangi tingkat kecelakaan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	a. Sekitar bagian signifikan	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
b. Spot	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
3. Mengurangi emisi dan konsumsi bahan bakar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
4. Berfungsi sebagai link koridor dalam sistem jalan raya area luas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
5. Berfungsi sebagai rute pengalihan di koridor lokal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
6. Fungsi manajemen lalu-lintas khusus	a. Rekonstruksi jalan utama	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	b. Konstruksi jalan minor	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	c. Kendaraan okupansi tinggi	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	f. Informasi lalu-lintas mengenai konstruksi jalan	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	g. Informasi mengenai kondisi cuaca, parkir, peristiwa khusus, cuaca jalan	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	j. Manajemen lalu-lintas untuk konstruksi jalan utama masa mendatang	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	k. Informasi pengendara mengenai rute pemutar	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Konsep Manajemen		Teknik Deteksi Kemacetan Berulang dan Pelacakan Insiden	Informasi Traveler	Ramp Metering	Sistem Informasi Cuaca Jalan	Bantuan Pengendara	Pengumpulan Data dan Manajemen Perencanaan dan Evaluasi Kinerja	Monitoring Peralatan ITS dan Manajemen Inventarisasi, Keamanan
Kinerja Lalu Lintas Yang Terjadi								
7.	Interoperability ITS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
a.	Efisiensi operator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
b.	Keterlibatan stakeholder	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8.	Peningkatan pengoperasian NYSDOT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
a.	Perencanaan dan/atau pengumpulan data evaluasi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
b.	Monitoring peralatan ITS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
c.	Efisiensi pengoperasian	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
d.	Penurunan biaya operasional dan/atau pemeliharaan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9.	Menyediakan bantuan kepada pengendara yang mogok	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10.	Memberikan informasi travel terkait pariwisata	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11.	Meningkatkan keamanan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
a.	Keamanan sistem transportasi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
b.	Operasi darurat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
c.	Keamanan sistem informasi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12.	Meningkatkan operasi kendaraan komersial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



Gambar 44 Manfaat dan biaya perluasan ITS

Rasio manfaat – kapasitas =  $AB/OA$   
 Manfaat  
 Biaya  
 Volume/kapasitas jam puncak tinggi  
 Volume/kapasitas jam puncak rendah.

Pada Tabel 4-3, menguraikan suatu hubungan dari fasilitas layanan dengan kondisi lalu lintas di jalan bebas hambatan.

Tabel 43 Karakteristik implementasi representatif untuk ITS jalan bebas hambatan

Kapabilitas	Level 1 – minimal	Level 2 – sedang	Level 3 – intensif
Lokasi dan penstafan TMC	Biaya lokasi minimal. Bisa staf paruh waktu atau staf permanen parsial	Biaya lokasi sedang. Bisa staf paruh waktu atau penuh waktu	Staf penuh waktu
Sistem computer untuk manajemen pusat fungsi ITS utama	Bisa berupa computer untuk menyediakan level rendah kapabilitas manajemen	Biasanya	Ya
Jangkauan CCTV	Minimal	Signifikan	Penuh
Pelengkap detektor arus utama jalan kendaraan (detektor titik atau kuar)	Tidak ada	Tidak terus-menerus	Biasanya terus-menerus
Changeable message sign	Lokasi yang tepat, kemungkinan di titik pengalihan utama	Lokasi pengalihan dan lokasi penting lainnya	Lokasi pengalihan, interval berkala, kemungkinan di lokasi masuk penting
Patroli layanan	Kadang-kadang	Sering	Ya
Ramp metering	Tidak	Jarang	Sering

## 4.4. Variabel Hambatan Lalu Lintas

### 4.4.1. Kemacetan Lalu Lintas

Kemacetan lalu lintas adalah, suatu kejadian pergerakan lalu lintas dengan adanya waktu tunda perjalanan yang berlebih daripada biasanya yang terjadi, dengan kondisi travel ringan atau arus-bebas. Kemacetan yang tidak diterima, jika waktu atau penundaan perjalanan yang berlebih dari keadaan norma yang telah ditetapkan. Normal yang telah ditetapkan bisa berbeda-beda, itu sangat tergantung pada tipe fasilitas transportasi jalan, moda travel, lokasi geografis, dan waktu/hari, dan harus mempertimbangkan ekspektasi tiap bagian sistem transportasi yang dipengaruhi oleh input komunitas dan pertimbangan teknis. Banyak lembaga transportasi jalan yang mempertimbangkan dengan ukuran tingkat layanan (*level service*), seperti level D sebagai yang bisa diterima, dan level tersebut menggunakannya sebagai *baseline* dalam menentukan waktu tunda yang tidak layak.

Kemacetan lalu lintas seringkali diklasifikasikan sebagai kejadian berulang atau tak-berulang. Jenis kemacetan tergantung pada apakah kapasitas atau faktor permintaan tidak bisa dimbangi. Beberapa klasifikasi bentuk untuk menyatakan kemacetan lalu lintas, dengan melihat fluktuasi kejadian dan volume lalu lintas, seperti:

- **Kemacetan berulang**, kejadian ini terjadi ketika permintaan meningkat diluar kapasitas yang ada. Biasanya berhubungan dengan pergantian jam kerja pagi dan sore, ketika permintaan mencapai puncaknya dan arus lalu-lintas semakin buruk hingga mencapai kondisi stop-and-go yang tak stabil.
- **Kemacetan tak-berulang**, kejadian ini diakibatkan oleh penurunan kapasitas sementara pada saat permintaan tetap tidak berubah. Jenis kemacetan ini biasanya terjadi ketika kapasitas jalan dibatasi oleh sesuatu keadaan dan untuk sementara. Kendaraan yang dihentikan, misalnya bisa mengambil lajur yang tidak dipakai, akan tetapi jumlah kendaraan yang sama memerlukan lintasan. Kecepatan dan volume turun hingga lajur dibuka kembali, dan jalan kembali ke kapasitasnya. Kapasitas bisa juga berkurang dikarenakan cuaca dan peristiwa di dekat jalan (*rubber necking*), sehingga mengakibatkan kemacetan tak-berulang dan menurunnya reliabilitas sistem transportasi secara menyeluruh. Teknik

dalam sistem ITS, dengan kejadian seperti itu, harus menurunkan pengaruh kemacetan tak-berulang tersebut, yaitu meliputi penurunan waktu pembersihan kejadian/insiden dan pengalihan penggunaan jalur lain bagi pengendara.

### 4.4.2. Pengalihan Kemacetan

#### 1.1.1.1 Keputusan Pengalihan Oleh Pengendara

Pengendara biasanya memilih rute berdasarkan kegunaan komparatif (waktu travel dan faktor lainnya) atau rute alternatif. Pada jalan bebas hambatan dipilih oleh kebanyakan pengguna berdasarkan kondisi normal.

Ketika suatu insiden terjadi di jalan bebas hambatan dan para pengendara mengetahui permasalahan tersebut, sebagian pengendara yang menggunakan jalan akan memilih untuk beralih ke rute alternatif.

#### 1.1.1.2 Dampak Pengalihan

Jika informasi lalu lintas mengenai kecelakaan/insiden diberikan sebelum mulai perjalanan atau awal perjalanan, pengendara mungkin akan memilih:

- Rute alternative.
- Waktu alternatif melakukan perjalanan.
- Memilih jenis moda lainnya.

Dalam hal terjadi kecelakaan, informasi yang sampai pada pengguna selama dalam perjalanan di jalan bebas hambatan, akan mendorong mereka beralih sesuai jaringan jalan yang ada.

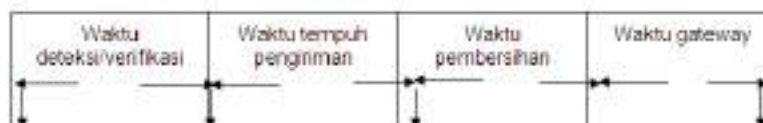
## 4.5. Gambaran Kecelakaan Untuk Tujuan Rancangan ITS

Insiden/kecelakaan lalu lintas termasuk dalam aktifitas tak berulang, yang tidak direncanakan yang menimbulkan penurunan kapasitas jalan atau peningkatan kondisi lalu lintas yang tidak normal. Kejadian tersebut meliputi kecelakaan lalu lintas, kendaraan mogok, dan bahkan adanya barang muatan yang tumpah. Keadaan darurat lainnya, seperti bencana alam dan serangan teroris juga yang tidak direncanakan, bisa mengakibatkan penurunan kapasitas atau peningkatan kondisi lalu lintas yang tidak normal.

Tahap penting yang harus dilakukan dalam penanggulangan kondisi / kejadian tersebut, antara lain:

- Deteksi: Memastikan bahwa kejadian/insiden lalu-lintas telah terjadi.





**Gambar 45** Tahap penanggulangan insiden

- Verifikasi: Menentukan lokasi yang tepat dan sifat kejadian/insiden, serta tampilan rekaman, dan penyampaian informasi kepada lembaga/petugas yang tepat.
- Respon: Aktifaksi, koordinasi, dan manajemen personil yang tepat, peralatan, link komunikasi, dan media informasi kepada pengguna secepat mungkin, bahwa telah terjadi insiden lalu lintas.
- Pembersihan: Menyingkirkan kendaraan reruntuhan, puing, bahan tumpah, dan barang-barang lainnya dari jalan dan segera memulihkan kapasitas jalan pada kondisi normal.
- Pemulihan: Mengembalikan arus lalu lintas seperti semula di lokasi kejadian/insiden lalu lintas; mencegah lebih banyak lalu lintas yang masuk ke area dan terjebak dalam antrian, mencegah kemacetan lalu lintas di sepanjang jaringan jalan.

Tahap-tahap tersebut ditunjukkan dalam Gambar

4-5.

#### 4.5.1. Pengaruh Insiden Terhadap Kapasitas

Pengaruh penurunan kapasitas di jalan bebas hambatan jauh lebih besar dibandingkan dengan penurunan fisik lebar jalan. Pengaruh ini ditunjukkan oleh Lindley dalam Tabel 5-4.

#### 4.5.2. Kecelakaan Sekunder

Kecelakaan sekunder adalah kecelakaan yang diakibatkan oleh insiden primer yang ada. Kecelakaan seperti ini acap kali terjadi di akhir antrian akibat insiden primer. Raub mengestimasi bahwa lebih dari 15% tabrakan yang dilaporkan oleh polisi adalah kecelakaan sekunder. Mengurangi durasi antrian akibat insiden tidak hanya dapat mengurangi waktu tunda untuk pengendara mobil dikarenakan insiden tapi juga menurunkan tingkat kecelakaan sekunder, dan akhirnya mengurangi tingkat kecelakaan.

**Tabel 44** Fraksi kapasitas bagian jalan bebas hambatan dengan kondisi insiden

Jumlah lajur jalan bebas hambatan di tiap arah	Kemacetan bahu jalan	Kecelakaan bahu jalan	Jalur yang diblokade		
			Satu	Dua	Tiga
2	0,95	0,81	0,35	0	N/A
3	0,99	0,83	0,49	0,17	0
4	0,99	0,85	0,58	0,25	0,13
5	0,99	0,87	0,65	0,40	0,20
6	0,99	0,89	0,71	0,50	0,25
7	0,99	0,91	0,75	0,57	0,36
8	0,99	0,93	0,78	0,63	0,41

Sumber: Dari Transportation Research Record 1132, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1987, Tabel 4-12 P.6. Diproduksi atas ijin Transportation Research Board.

## 4.6. Ramp Metering

### 4.6.1. Pengenalan

Ramp metering telah banyak dipakai dalam perlakuan fasilitas jalan, seperti keluar-masuk lalu lintas dari jalur utama jalan bebas hambatan (*on and off ramp*). Pada jalan bebas hambatan permasalahan pada ramp, menjadi topik utama

dalam penerapan sistem ITS. Sistem ramp metering tersebut bisa mengurangi keterlambatan perjalanan.

Sistem kerjanya ramp metering adalah sebagai berikut:

- 1) Melancarkan arus lalu lintas yang disatukan (*merging*), sehingga bisa meningkatkan kapasitas jalan bebas hambatan secara efektif.

dan

2) Mengurangi volume lalu lintas yang memasuki jalur utama jalan bebas hambatan sehingga mengurangi rasio volume per kapasitas. Perlakuan dan implementasinya ramp metering meliputi:

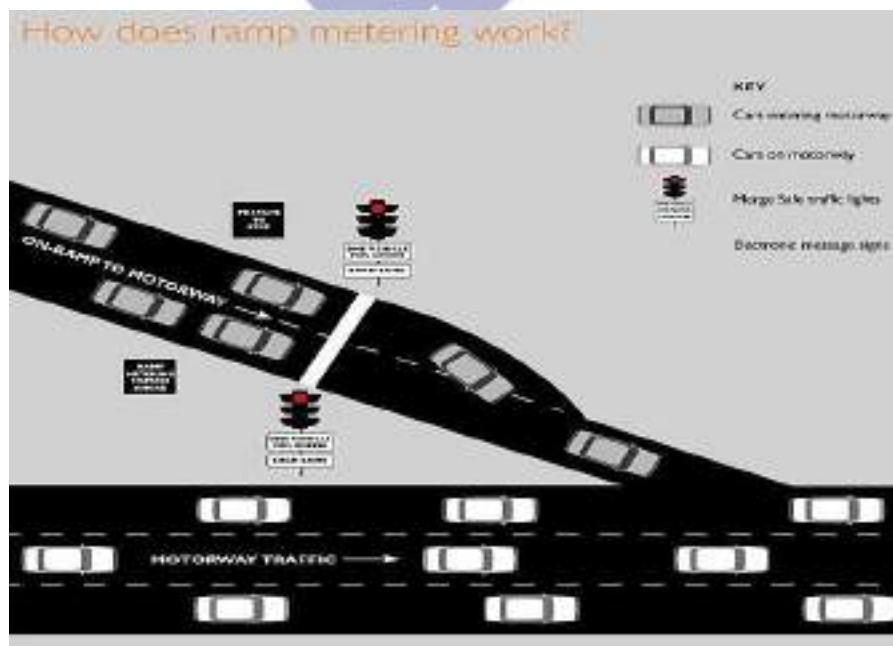
Ramp metering diimplementasikan dalam bentuk rambu-rambu lalu lintas di ramp masuk jalan utama, lihat Gambar. 4-6 dan 4-7. Dengan melancarkan arus lalu lintas yang disatukan dengan arus utama, tingkat layanan (kapasitas) arus utama stabil/meningkat, dan mengurangi tingkat kecelakaan. Jika laju metering ditetapkan pada nilai dibawah tingkat kedatangan rata-rata

di rampa (ramp metering terbatas), antrian akan berkembang di ramp sehingga menyebabkan penundaan tambahan terhadap kendaraan yang tiba. Akibatnya, beberapa kendaraan ini akan mencari rute alternatif, sehingga mengurangi volume permintaan di ramp masuk yang bersatu dengan arus utama. Pada akhirnya mengurangi rasio volume-kapasitas di pengabungan dan pengabungan kehilir dan menurunkan waktu tunda untuk kendaraan yang berada di arus utama jalan bebas hambatan. Laju metering yang sama dengan tingkat kedatangan rata-rata (ramp metering tak-terbatas) membentuk antrian yang jauh lebih kecil dan biasanya tidak menimbulkan volume lalu-lintas signifikan untuk mencari rute alternatif.



**Gambar 46** Tampilan rambu ramp metering

Sumber: San Diego Intermodal Transportation Management System (IMTMS) Deployment



**Gambar 47** Bentuk lain dari tampilan ramp metering

Sumber: Richmond Management Consulting (RMC)

#### 4.6.2. Persyaratan Remp Metering

Beberapa jenis instalasi metering yang dipakai tergantung pada metering rate dan konfigurasi daya tampung kendaraan pada rampa. Sebagai contoh, lajur tunggal atau beberapa lajur dapat diukur. Metering memungkinkan hanya satu mobil untuk melalui stop line per siklus rambu-rambu atau memperbolehkan beberapa kendaraan untuk lewat (platoon metering).

Gambar 4-8 mengilustrasikan penyebaran umum lajur tunggal, meter kendaraan tunggal. Tampilan rambu-rambu 3-bagian (merah-kuning-hijau), atau rambu-rambu 2-bagian (merah-hijau) disajikan. Rambu-rambu bisa berupa mast-arm maupun

pole-mounted. Rambu atau suar sering dipakai untuk mengindikasikan bahwa metering sedang bekerja.

Untuk meter kendaraan tunggal, laju metering ditetapkan dengan menentukan siklus metering sama dengan timbal balik laju metering yang diperlukan. Jika siklus sebelumnya waktunya habis (mengubah rambu-rambu ke merah), rambu-rambu akan berubah menjadi hijau ketika kendaraan terdeteksi oleh detektor check-in (atau permintaan). Ketika kendaraan dideteksi oleh detektor check-out atau jalur, interval hijau kemudian berhenti. Rambu-rambu akan tetap merah hingga siklus lalu-lintas berakhir dimana ini akan merespon kendaraan yang tiba berikutnya yang dideteksi oleh detektor check-in.



**Gambar 48** Layout sistem ramp metering masuk lajur tunggal

Sumber: Robert Gordon, Intelligent Freeway Transportation Systems, Functional Design

#### 4.6.3. Strategi Remp Metering

Bagian sebelumnya menyajikan latarbelakang ramp metering dan menjelaskan mekanisme ramp metering dalam memberikan penurunan kemacetan. Akan tetapi, ada beberapa pengaruh buruk dari ramp metering, antara lain:

- Waktu tunda tambahan bagi para pengendara yang biasanya memasuki ramp, meskipun mereka memilih menggunakan rute alternatif.
- Waktu tunda tambahan bagi para pengendara yang biasanya tidak menggunakan rampa melainkan rute alternatif.
- Kemungkinan tumpahan balik lalu lintas di jaringan jalan utama.

- Ketidak puasan pengendara akibat hal-hal tersebut diatas.

Keberhasilan proyek ramp metering sebagian bergantung pada upaya perencanaan dalam menentukan apakah metering telah layak, dan memilih strategi metering yang paling tepat dengan persoalan yang ada. Simulasi bisa menjadi sarana yang berguna dalam mengestimasi pengaruhnya terhadap rute alternatif, sistem jalan di sekitar metered ramp, dan terhadap waktu tempuh tambahan yang akan dialami oleh pengguna rampa dan yang dialihkan. Dan juga memudahkan pemilihan strategi ramp metering yang ingin dipakai.

Berikut pada Tabel 4-5 beberapa petunjuk dalam penggunaan ramp metering di jalan bebas hambatan.

**Tabel 45** Petunjuk ramp metering di jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan

- Pertimbangkan lokasi dimana kemacetan berulang sering terjadi atau dimana pengalihan rute dilakukan.
- Pertimbangkan pengalihan hanya jika terdapat rute alternatif yang tepat.
- Hindari dua kali metering dalam jarak terlalu pendek.
- Hindari rampa jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan lajur tunggal metering yang mengumpun lalu lintas ke lajur tambahan.
- Jangan menginstal meter di rampa jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan, kecuali jika analisa memastikan bahwa arus arus utama akan ditingkatkan sehingga pengguna rampa jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan bisa mendapatkan manfaatnya.
- Instal meter di rampa jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan dimana lebih dari satu rampa bersatu sebelum masuk ke arus utama dan kemacetan di rampa biasa terjadi (empat kali atau lebih selama seminggu selama periode puncak).
- Jika antrian lalu lintas menghambat berkembangnya lalu lintas arus-utama di arus-utama ke hulu dikarenakan ramp meter jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan, maka nilai metering harus ditingkatkan untuk meminimalisir antrian di arus-utama ke hulu, atau kapasitas pengumpulan tambahan harus disediakan.
- Rampa meter jalan bebas hambatan-ke-jalan bebas hambatan harus dimonitor dan dikendalikan oleh pusat pengendalian lalu-lintas yang tepat.
- Jika dimungkinkan, instal meter di lokasi jalan yang sama atau yang memiliki sedikit penurunan peringkat, sehingga kendaraan berat bisa dengan mudah berakselerasi. Sebagai tambahan, instal meter dimana jarak pandang mencukupi bagi pengemudi yang mendekati meter agar bisa melihat antrian tepat waktu untuk berhenti dengan selamat.

### 1.1 Gerbang Pintu Jalan Tol

Gerbang pintu jalan tol, merupakan titik point untuk menentukan jumlah yang harus dibayar oleh pengguna jalan bebas hambatan yang di-tol-kan. Titik point tersebut, pada sistem pembayaran masih cara konvensional (lihat Gambar 4-9) apabila kapasitas pintu tolnya tidak mampu melayani permintaan (lalu lintas yang ada), maka berpotensi terjadinya kemacetan lalu lintas. Contoh pada Gambar 4-10 memperlihatkan keterbatasan kapasitas kemampuan pintu tol, yang pada akhirnya terjadi antrian yang panjang.

Banyak cara untuk mengatasi antrian kendaraan yang terjadi di pintu tol, mulai dari semi otomatis sampai yang ful otomatis, yang disebut dengan *electronic toll collection* (ETC).



**Gambar 49** Kemacetan lalu lintas di pintu tol  
Sumber: Traffic Technology Today.com (2007)



**Gambar 410** Kemacetan lalu lintas di pintu tol  
Sumber: The Jakarta Post (2012)



Smart Card, dengan sebuah kartu contactless smart berukuran kartu saku dengan dilengkapi sirkuit terpadu tertanam yang dapat memproses dan menyimpan data, dan berkomunikasi dengan terminal melalui gelombang radio. Ada dua kategori yang luas dari smart card contactless. Kartu memori non-volatile mengandung komponen penyimpanan memori, dan mungkin beberapa logika keamanan tertentu. Contactless smart card mengandung pencatatan ulang melalui microchip cerdas yang dapat ditranskripsi melalui gelombang radio. Berikut contoh smart card pada Gambar 11.



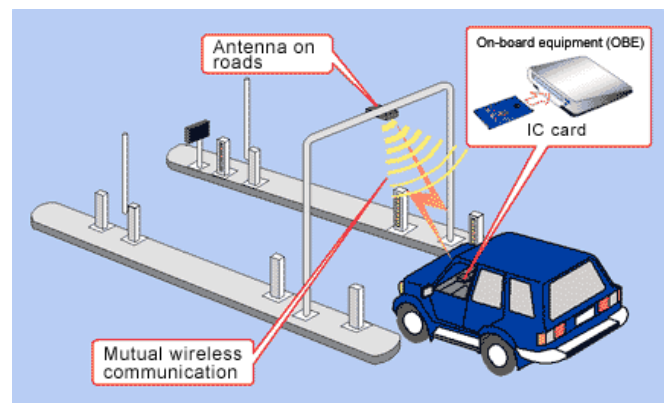
**Gambar 411** Sistem pembayaran dengan smart card

ETC adalah sistem yang memungkinkan pengemudi untuk secara otomatis membayar tol tanpa kendaraan berhenti di pintu tol. Sistem ini menggunakan komunikasi nirkabel antara ETC *on-board equipment* (OBE) dipasang di kendaraan dan perangkat ditempatkan di pinggir di tempat pengumpulan, lihat Gambar 4-12.

Dengan demikian, pembayaran secara otomatis dibuat tanpa manusia untuk transaksi pembayaran. Menggunakan sistem ETC, diperlukan kartu ETC dan OBE, kartu ETC dikeluarkan oleh perusahaan sebagai kartu kredit; OBE dijual di dealer mobil dan aksesori tol mobil. Pengguna bisa membeli dan menginstal OBE di dalam kendaraan dan mendaftar untuk mendaftarkan kendaraan.

#### 4.8. Informasi Lalu Lintas Kepada Pengguna Jalan

Informasi lalu lintas kepada pengguna jalan bebas hambatan, umumnya menyangkut variabel lalu lintas seperti; kecepatan, waktu tempuh, atau



**Gambar 412** System ETC On Board Equipment (OBE)  
Sumber: The Jakarta Post (2012)

rute. Jika informasi tersebut diberikan oleh TMC kepada penyedia jasa darurat (petugas), mereka biasanya mampu mengubah rute akses ke insiden, atau menggunakan kendaraan yang terletak lebih tepat dengan pola kemacetan. Informasi yang tepat diberikan dalam bentuk peta kecepatan atau kemacetan, atau dengan petunjuk yang menggambarkan rute tercepat. Informasi lalu lintas yang diperbarui dapat diberikan kepada pengemudi kendaraan tanggap darurat melalui tampilan dalam-kendaraan. Provisi kemampuan ini memerlukan pengetahuan waktu travel di jalan bebas hambatan dan di rute alternatif yang dapat dipakai untuk mengakses insiden. Tabel 4-6 menunjukkan teknologi yang maju dan tersedia yang memberikan informasi tersebut.

##### 4.8.1. Penentuan dan Pengelolaan Rute Tanggap Utama

Pengelolaan rute darurat, yang akan memudahkan akses yang lebih cepat, diberikan untuk kondisi-kondisi seperti:

- Rambu Mendahulukan Lalu Lintas Tertentu: Tekniknya dengan menggunakan link komunikasi khusus nirkabel, optik, atau sonik ke persimpangan di depannya. Rute yang bisa dilalui bisa yang sudah direncanakan sebelumnya, yang dikendalikan oleh pusat pengendalian. Yang bisa mendapatkan prioritas rute darurat seperti divisi pemadam kebakaran.
- Penentuan prioritas bagi unit pemeliharaan jalan dan pelaksanaan konstruksi jalan. Penutupan lajur untuk kegiatan tersebut yang bisa menurunkan kapasitas lainnya sepanjang rute yang biasa dipakai oleh komando tanggap

darurat dapat meningkatkan waktu tempuh di rute tersebut. Akses kendaraan darurat yang baik dipermudah dengan merencanakan kegiatan pemeliharaan sehingga waktu penutupan lajur dapat diminimalisir, dan dengan mengkoordinasi pemeliharaan dan

konstruksi sehingga rute alternatif yang dipakai oleh kendaraan darurat tidak terkena dampak secara bersamaan.

Tabel 46

Teknologi untuk menentukan waktu tempuh

	Jalan Bebas Hambatan	Jalan Permukiman
Teknologi Canggih	Detektor titik (diperluas secara menyeluruh)	Deteksi kuar berbasis teknologi koleksi tol elektronik atau pembaca pelat nomor
	Detektor titik berhubungan dengan sistem kendali rambu lalu-lintas adaptif.	Detektor tambahan bisa dipakai untuk mendukung sistem ini
Teknologi yang berkembang	Surveilan lalu-lintas berbasis kuar GPS	Surveilan lalu-lintas berbasis kuar GPS
	Surveilan lalu-lintas kuar berbasis telepon selular	Surveilan lalu-lintas kuar berbasis telepon selular
	Teknik kuar berbasis teknologi inisiatif infrastruktur kendaraan (IntelliGuide) <sup>a</sup>	Teknik kuar berbasis teknologi inisiatif infrastruktur kendaraan (IntelliGuide) <sup>a</sup>
		Model analisa dipakai berhubungan dengan pengukuran detektor titik
<sup>a</sup> IntelliGuide dulu dikenal dengan Inisiatif Infrastruktur Kendaraan (VII)		

- Perputaran kendaraan darurat di jalan bebas hambatan: Waktu tempuh dari lokasi kendaraan darurat ke bagian jalan bebas hambatan rawan insiden dapat ditingkatkan dengan menggunakan perputaran kendaraan darurat yang ditempatkan dengan tepat. Akses perputaran ini bisa diproteksi, bila perlu, dengan menggunakan gerbang yang dioperasikan jarak jauh oleh kendaraan darurat.
- Koordinasi rencana pemulihan lalu lintas dengan rute kendaraan darurat: Perlakuan pemulihan lalu lintas seringkali berdampak buruk pada kecepatan dan aksesibilitas kendaraan layanan darurat. Maka, lembaga perlu terlibat dalam pengembangan rencana pemulihan lalu lintas untuk berkoordinasi dengan penyedia jasa darurat.

#### 4.8.2. Ekor Dari Deteksi Antrian

Selama terjadi kejadian/insiden, ekor antrian berlangsung ke arah hulu. Ekor antrian ini bisa sangat jauh dari lokasi kejadian/insiden, sehingga lokasinya sulit diidentifikasi oleh petugas di lapangan. Detektor titik atau CCTV bisa dipakai untuk memberikan informasi ini (CCTV memberikan solusi intensif yang mungkin tidak tepat ketika sejumlah insiden harus dimonitor secara bersamaan). Mendeteksi ekor antrian memiliki fungsi sebagai berikut:

- Membantu petugas di lapangan mengambil tindakan pengendalian lalu lintas dengan tepat
- Membantu kendaraan darurat mencari rute terbaik menuju ke tempat insiden.
- Membantu memilih pesan informasi pengendara mobil yang tepat dan rencana rute. Pada saat ekor antrian terus berkembang

setelah insiden dibersihkan, fungsi ini berlanjut, bahkan setelah komando tanggap darurat telah meninggalkan lokasi kejadian.

- Pengakhiran antrian, adalah penting untuk mendeteksi peristiwa ini sehingga pesan informasi pengendara mobil tidak mengindikasikan adanya insiden setelah antrian dibersihkan. Dalam hal ini detektor titik dan/atau CCTV bisa digunakan.

#### 4.8.3. Model Evaluasi Efektifitas Penanggulangan Insiden

Bagian berikut membahas model evaluasi konsep rancangan sistem ITS, yang bisa diterapkan untuk penanggulangan kejadian/insiden. Model ini mengkomputasi parameter (H) yang berkisar antara 0,0 sampai dengan 1,0 yang menunjukkan kemampuan potensial ITS untuk dapat secara efektif memberikan dukungan penanggulangan insiden. Model ini diimplementasikan dalam model peranti lunak Design ITS.

Tabel 47

Penilaian kinerja NTOC untuk penundaan perjalanan terkait insiden

Pengukuran	Penentuan	Unit sampel pengukuran
Durasi insiden	Waktu yang dibutuhkan dari pemberitahuan insiden sampai dengan semua bukti insiden telah disingkirkan dari lokasi insiden	Menit rata-rata per insiden
Waktu tunda tak-berulang	Waktu tunda kendaraan yang melebihi waktu tunda berulang selama waktu dalam hari biasa, hari dalam minggu, dan hari.	Kedaraan-jam
Reliabilitas waktu tempuh (waktu buffer)	Waktu buffer adalah waktu tambahan yang harus ditambahkan pada trip untuk memastikan bahwa 95% traveler yang melakukan perjalanan akan tiba di lokasi tujuan sebelum waktu yang dikehendaki.	Penilaian ini, waktu tunda dalam menit, juga bisa dikatakan sebagai persen total waktu perjalanan atau sebuah indeks

## 4.9. Pengalihan Pengguna Jalan

### 4.9.1. Teknik Pesan Untuk Pengguna jalan

Informasi lalu lintas seringkali dikembangkan oleh lembaga yang bergerak dibidang fasilitas jalan. Dalam beberapa kasus, lembaga melakukan kontrak dengan jasa swasta untuk menyediakan informasi ini. Jasa swasta juga menyediakan informasi ini langsung kepada para pengguna jalamn. Tabel 4-8 menunjukkan beberapa teknologi yang menyajikan komunikasi dengan para pengguna jalan.

Teknik diseminasi informasi diberikan oleh lembaga yang beroperasi langsung kepada pengguna jalan, melalui *Changeable/variable message signs* (VMS).

Informasi lalu lintas bisa juga disajikan oleh jasa swasta meliputi siaran lalu lintas stasiun radio komersial, radio satelit, laporan kondisi lalu lintas televisi, sistem navigasi berbasis GPS di dalam kendaraan yang memberikan informasi rute secara real-time. Update informasi lalu lintas untuk sistem navigasi disediakan oleh telepon selular atau radio satelit.

Komunikasi informasi lalu lintas dapat mengakibatkan pengguna jalan/pengendara merubah lajur, rute, moda atau waktu dimana dia memulai suatu perjalanan. Kebanyakan perubahan moda dan waktu permulaan perjalaaan terjadi sebelum memulai perjalanan.

Tabel 48 Teknik memberikan informasi kepada pengguna jalan

Teknik	Karakteristik jangkauan pesan	Kelemahan	Kecepatan respon terhadap insiden	Biaya bagi pengendara
<i>Variable message sign (VMS)</i>	Jangkauan jalan kendaraan dan jalan kendaraan terdekat yang biasanya dipakai	Panjang pesan ditentukan pertimbangan keterbacaan	Baik	Tidak ada
<i>Highway advisory radio (HAR)</i>	Radius jangkauan biasanya 3-5 mil. Dalam beberapa kasus dapat dipakai untuk perencanaan pra-perjalanan.	Panjang pesan ditentukan berdasarkan jangkauan pemancaran	Baik	Tidak ada
Radio komersial (radio konvensional dan radio satelit)	Area luas. Bisa dipakai untuk perencanaan pra-perjalanan	Kelengkapan jangkauan insiden radio konvensional seringkali ditentukan oleh alokasi waktu siaran. (Radio satelit biasanya memberikan jangkauan yang lebih baik)	Cukup	Tidak ada
Sistem navigasi GPS dalam-kendaraan (informasi <i>real-time</i> diberikan oleh radio satelit atau jasa berbasis telepon selular)	Area luas	Tidak ada batasan panjang pesan	Berbeda-beda tergantung sumber informasi lalu-lintas	Biaya peralatan awal plus biaya jasa
Jasa telepon E 511	Area luas. Banyak negara yang memberikan informasi yang diorganisir oleh bagian jalan kendaraan atau cara lainnya untuk mendapatkan informasi tertentu. Bisa dipakai untuk perencanaan pra-perjalanan.	Pemilihan informasi yang diinginkan bisa mengakibatkan pengendara bingung.	Berbeda-beda tergantung sumber informasi lalu-lintas.	Biaya jasa telepon selular
IntelliDrive <sup>a</sup>	Lokasi dimana peralatan infrastruktur dikembangkan		Baik	Peralatan dalam-kendaraan plus biaya jasa
Situs web	Jasa 511 dan jasa lainnya	Terutama berguna untuk perencanaan pra-perjalanan	Berbeda-beda tergantung sumber informasi lalu-lintas.	Tidak ada



#### 4.9.2. Pesan Pengalihan

“Dudek” berpendapat bahwa lembaga yang beroperasi menyampaikan pesan lalu lintas (VMS), seharusnya hanya menyediakan pesan yang berisi informasi yang belum diketahui oleh pengendara/ pengguna jalan, akan tetapi, pesan waktu travel sangat dianjurkan, seperti oleh FHWA, dan semakin diminati/populer. Pesan lalu lintas, seharusnya hanya mengenai kejadian yang tak-berulang, dan banyak lembaga yang telah mengimplementasikan kebijakan tersebut.

Pesan informasi lalu lintas yang berisi kondisi lalu lintas yang tidak normal seringkali mengakibatkan pengendara beralih ke rute lainnya. Pesan pengalihan bisa berupa:

- Pengalihan eksplisit; disebut juga dengan pengalihan aktif, pesan ini mengindikasikan perlunya pengalihan, dan menyarankan rute alternatif. Dalam Tabel 4-4, pesan yang berhubungan dengan kekuatan pesan pada kolom 4, 5, 7, dan 8 merupakan pesan pengalihan aktif, dan biasanya menandakan level pengalihan yang lebih luas dibandingkan dengan pengalihan implisit (atau pasif).
- Pengalihan implicit; pesan yang menjelaskan suatu kejadian di jalan /kecelakaan, blokade dan penutupan lajur, konstruksi, kejadian khusus, dan waktu travel yang tidak diharapkan, tergantung pada waktu tunda yang diprediksi oleh pengendara, bisa mengakibatkan pengalihan. Kejadian tersebut adalah pesan pengalihan implisit atau pasif. Pesan pada kolom 1, 2, 3 dan 6 dalam Tabel 4-4 merupakan pesan pengalihan implisit.

##### 4.9.2.1. Kebijakan dan Strategi Operasi Pengalihan

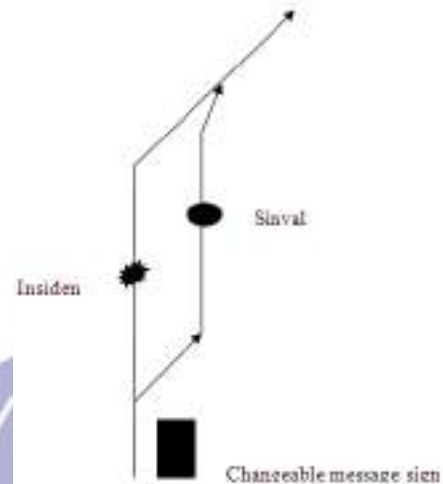
Pada saat terjadi kejadian/insiden di jalan bebas hambatan, opsi pengalihan antara lain:

- Pengalihan disekitar insiden dan kembali ke hilir insiden jalan bebas hambatan.
- Pengalihan ke rute lokal alternatif ketika rute ini lebih bisa diakses ke tujuan pengendara.

Sementara dalam beberapa kasus pengalihan langsung ke jalan bebas hambatan lainnya dimungkinkan, kebanyakan peluang pengalihan perlu menggunakan permukaan jalan untuk beberapa, atau semua, rute pengalihan. Rute pengalihan jalan biasanya memiliki kapasitas ruang yang lebih terbatas dibandingkan dengan rute

pengalihan jalan bebas hambatan. Selama jam-jam sibuk, kedua jenis fasilitas ini memiliki kapasitas yang terbatas.

Selama jam-jam seenggang, bahkan level pengalihan yang paling rendah memiliki potensi memacetkan arteri jalan yang bisa berfungsi sebagai jalan alternatif. Contoh sederhana yang mengilustrasikan pernyataan ini ditunjukkan dengan skenario pada waktu siang hari, Gambar 4-13.



Gambar 413 Pengalihan arus selama jam seenggang

#### 4.9.3. Pertimbangan Lokasi VMS

*Variable Message Sign* (VMS), merupakan display yang terbuat LED yang berfungsi untuk menampilkan informasi di jalan umum, seperti jalan bebas hambatan/tol, pada dasarnya itu adalah rambu-rambu lalu lintas secara elektronik. VMS dapat dikendalikan dari pusat informasi jalan melalui jaringan LAN/ WAN dan Internet.

Informasi yang dikirim merupakan hasil colekting data lalu lintas, bisa dari AVDS atau CCTV, lalu diproses di *Traffic Management Center* (TMC) yang selanjutnya dikirim ke VMS, proses itu semua dilakukan secara real time.

VMS di jalan bebas hambatan/tol ini memerlukan penanaman modal yang cukup besar, oleh sebab itu, kiranya penting agar jumlah dan lokasi VMS dipilih berdasarkan prinsip efektifitas biaya. Lokasi VMS yang tepat harus didasarkan pada beberapa faktor seperti jarak pandang, hambatan instalasi dikarenakan sifat konstruksi jalan, lingkungan sekitar, ketersediaan akses listrik, dan pemeliharaan. Selain dari persoalan tempat dan material, pengaruh besarnya hurup dan redaksi dalam misi memberitahukan bagi pengguna jalan dan persoalan terkait lalu lintas lainnya.

Berikut ini beberapa ilustrasi redaksi dan penempatan VMS, lihat Gambar 4.14 di bawah ini.



**Gambar 414** (a) Changeable message sign yang menampilkan informasi konstruksi (Sumber:Parsons Brinckerhoff, Inc.), (b) Changeable message sign kecil yang menampilkan informasi insiden (Sumber:Daktronics, Inc.), (c) Changeable message sign yang menampilkan informasi cuaca dan pengendalian kecepatan (Sumber: Daktronics, Inc.)

#### 4.11. Standar Komunikasi

Persyaratan komunikasi diperlukan fungsi pendukung dari data tertentu yang dipancarkan ke perangkat fisik yang dipakai untuk berkomunikasi. *Model Open System Interconnection* (OSI) merupakan struktur tujuh lapis yang dikenal secara internasional yang menyediakan layanan kepada lapisan di atasnya dan menerima layanan dari lapisan di bawahnya. Tabel 4.9 menunjukkan struktur ini.

Beberapa tahun yang lalu, ITS biasanya memakai protokol komunikasi perorangan, dan dalam beberapa kasus praktik ini terus berlangsung. Pemakaian peralatan komunikasi perorangan membatasi pemilihan supplier untuk mengganti peralatan dan mengembangkan sistem, dan menjadikannya sulit untuk diubah atau mengekspansi sistem komunikasi tanpa mempengaruhi kompatibilitas perangkat lapangan yang ada. Untuk memberikan interoperability (dukungan perangkat ITS lainnya di saluran komunikasi yang umum) dan interchangeability (kemampuan dalam menggunakan perangkat dari beberapa pabrikan di saluran komunikasi yang sama), sejumlah standar nasional telah dikembangkan. Standar ini, berdasarkan model OSI, disebut dengan *National Transportation Communication for ITS Protocol* (NTCIP). Standar ITS dan penerapannya dideskripsikan dalam Panduan NTCIP yang menyetujui standar ITS untuk Layer 1-4 dan Layer 7. Sementara pesan yang dikembangkan untuk dipancarkan melalui protocol layer stack, data lainnya dalam bentuk header dan footer ditambahkan pada layer sebelumnya. Overhead ini memang substansial, dan menambah kuantitas data komunikasi yang dipancarkan. Tradeoff, yang menggunakan standar untuk mencapai interoperability dan interchangeability, biasanya dianggap menguntungkan.

Tabel 49 Komunikasi jaringan melalui model OSI

Layer	Sifat
7 Aplikasi	Menyediakan layanan langsung ke aplikasi pengguna. Dikarenakan banyaknya aplikasi, layer ini harus memberikan banyak layanan. Diantaranya adalah layanan menentukan mekanisme privasi, otentifikasi mitra komunikasi yang dikehendaki, dan menentukan apakah sumbernya cukup
6 Presentasi	Melakukan transformasi data untuk memberikan antarmuka umum untuk aplikasi pengguna, termasuk layanan seperti <i>reformatting</i> , kompresi data, and enkripsi.
5 Sesi	Membuat, mengelola, dan mengakhiri koneksi pengguna, dan mengelola interaksi antara sistem akhir. Layanan meliputi hal-hal yang berkaitan dengan membangun komunikasi seperti dupleks penuh atau sebagian dan pengelompokan data.
4 Transport	Memisahkan tiga lapisan atas, 5 sampai 7, dari yang berkaitan dengan kompleksitas Layer 1 sampai 3 dengan memberikan fungsi yang diperlukan untuk menjamin link jaringan yang baik. Fungsi tersebut antara lain, layer ini dapat memperbaiki kesalahan dan kendali arus antara dua titik ujung koneksi jaringan.
3 Jaringan	Membuat, menjaga, dan mengakhiri koneksi jaringan. Fungsinya antara lain, standar akan menentukan bagaimana perutean dan relay data dihandel.
2 Data-Link	Memastikan reliabilitas link fisik yang dibuat pada Layer 1. Standarnya menentukan bagaimana bingkai data direkognisi dan memberikan kendali aliran yang diperlukan dan penanganan kesalahan di level frame
1 Fisik	Mengendalikan transmisi <i>bitstream</i> media transmisi. Standar layer ini menentukan parameter seperti jumlah ayun tegangan sinyal, durasi tegangan (bits), dan sebagainya.

Dengan sedikit pengecualian, NTCIP Layer 1 hingga 4 dan Layer 7 menggunakan standar yang biasa dipakai untuk komunikasi data. Kontribusi khusus NTCIP adalah menentukan standar level informasi yang berada diatas level aplikasi. Level ini memberikan kamus data (definisi format data) dan sejumlah pesan (yang terdiri dari unsur kamus data) yang membedakan aplikasi ITS dengan aplikasi lainnya. Kamus data dan sejumlah pesan mendukung komunikasi perangkat pusat-dengan-pusat dan pusat-dengan-lapangan.

Tergantung pada fungsi TMC dan lembaga dengan mana TMC melakukan komunikasi, standar lainnya juga bisa dipakai. Standar yang umum diterapkan antara lain:

- Standar IEEE 1512. Kelompok standar ini seringkali dipakai oleh pusat penanggulangan insiden dan TMC yang berkomunikasi dengan mereka. Standar ini menyajikan sejumlah pesan terkait dengan pengendalian lalu-lintas, keselamatan publik, bahan-bahan berbahaya, dan tanggap insiden.
- *Standar Transit Communications Interface Profiles* (TCIP). Kelompok standar ini menekankan persyaratan komunikasi

kendaraan transit, antara kendaraan transit dan lokasi tetap dan di fasilitas lokasi tetap.

#### 4.12. Pertimbangan Desain Sistem Komunikasi Umum

Saluran komunikasi adalah jalur, media, atau teknologi yang memungkinkan informasi ditransfer dari pengirim ke penerima. Jenis saluran komunikasi yang dipakai dalam aplikasi ITS antara lain:

- Saluran milik atau yang dioperasikan oleh lembaga yang beroperasi termasuk jalur kabel dan teknologi nirkabel.
- Jasa komunikasi berbasis jaringan publik. Jasa ini menggunakan:
  - ✓ Teknologi nirkabel (biasanya disewakan berdasarkan skedul pembayaran per bulan). Implementasi jasa ini mengharuskan lembaga yang beroperasi menyediakan kabel penghubung dari titik terminasi penyedia jasa ke perangkat lapangan.
  - ✓ Layanan data berbasis telepon selular (biasanya dibebankan berdasarkan kuantitas basis data). Jenis layanan ini lebih murah untuk akses fisik dibandingkan dengan layanan jalur kabel.



- Komunikasi pusat-dengan-pusat biasanya disediakan oleh jaringan berbasis publik. Dalam beberapa kasus, jaringan milik pemerintah dapat dipakai.

### 4.13. Sistem Komunikasi Pusat dan Lapangan

Bagian ini menghadirkan overview teknologi yang banyak dipakai dalam komunikasi pusat-dengan-lapangan di jalan bebas hambatan.

#### 4.13.1. Komunikasi Berbasis Kabel

Kabel optik fiber adalah teknologi kebal utama yang saat ini diinstal untuk menerapkan ITS di jalan bebas hambatan. Kadang-kadang kabel tembaga dipakai. Kabel koaksial telah dipakai di masa lalu dan masih dipakai hingga saat ini untuk beberapa ITS sederhana.

Optik fiber (atau “fiber optik”) adalah media dan teknologi yang berhubungan dengan transmisi dan informasi dalam bentuk impuls cahaya sepanjang unting kaca. Seuntung optik fiber membawa lebih banyak informasi dibandingkan dengan kabel tembaga konvensional dan tidak mudah terganggu oleh gangguan elektromagnetik (EMI). Pemancaran melalui unting optik fiber memerlukan pengulangan (atau regenerasi) dengan interval yang berbeda-beda.

ITS jalan bebas hambatan biasanya menggunakan fiber optik moda-tunggal. Contoh fiber moda-tunggal ditunjukkan dalam Gambar 4.10. Fiber ini sangat tipis (yakni, 8 mm). Dengan kabel optik fiber moda-tunggal, kombinasi panjang gelombang pemancar, sifat optik core kabel fiber, dan diameter kecil core fiber menghasilkan perambatan cahaya sejajar dengan sumbu kabel. Dalam kabel fiber multi-moda, cahaya dipantulkan dari selubung pada saat menuruni fiber sehingga mengakibatkan kerugian atau atenuasi yang lebih besar. Meskipun agak mahal dibandingkan dengan fiber multimoda, fiber multimoda dapat memancarkan sinyal pada jarak yang lebih jauh dan kecepatan data yang lebih tinggi. Sejumlah unting fiber biasanya disatukan menjadi sebuah kabel optik fiber.

Biaya instalasi kabel optik fiber relatif tinggi dengan basis per mil. Karena biaya instalasi utama berasal dari perpartian dan penimbunan konduit, biaya tambahan lebih banyak fiber akan lebih murah. Dengan penggabungan reliabilitas tinggi, kapasitas pembawa data dan tanpa gangguan, akan lebih

hemat biaya jika dipakai untuk ITS yang dilengkapi dengan perluasan peralatan padat (sejumlah besar perangkat per mil). Karena biayanya instalasi kabel optik fiber ketika jalan kendaraan sedang dikonstruksi tidak terlalu, atau rekonstruksi utama sedang dilakukan, penyediaan sistem konduit untuk kabel optik fiber seringkali dimasukkan dalam proyek-proyek ini.

#### 4.13.2. Komunikasi Berbasis Jaringan Publik

Jasa komunikasi jaringan publik yang paling umum dipakai adalah layanan data telepon selular dan kabel telepon sewa. Layanan pager kadang-kadang dipakai untuk komunikasi dengan suar HAR.

Pembawa telepon selular biasanya menyediakan layanan data berbasis CDMA (*code division multiple access*) atau GSM (*global system for mobile communication*). Teknologi ini memiliki kemampuan layanan pesan pendek (pesan teks). Layanan data telepon selular terutama dipakai untuk berkomunikasi dengan perangkat ITS kecepatan rendah seperti VMS, HAR, dan detektor lalu-lintas. Keefektifan biayanya meningkat ketika perangkat ini diletakkan sangat jauh (misalnya beberapa mil) dari sistem komunikasi backbone atau dari TMC. Beban layanan ini berdasarkan kuantitas data yang dipancarkan. Biaya biasanya meliputi biaya bulanan tetap untuk kuantitas data yang telah ditentukan dan biaya tambahan untuk kelebihan kuantitas data. Sementara dari segi kuantitas biasanya cukup untuk melayani perangkat kecepatan data rendah, komunikasi sinyal CCTV biasanya memerlukan kecepatan pemancaran data yang lebih tinggi. Oleh karena itu, jumlah total data yang diperlukan untuk memberikan gambar dengan kualitas baik ke operator sistem akan memerlukan biaya yang besar. Kadang-kadang, operator sistem akan menggunakan kecepatan data rendah (yang memberikan kecepatan pengulangan dan resolusi rendah) tapi akan beralih ke kecepatan data tinggi ketika kondisi seperti insiden terjadi. Biaya pokok instalasi di lapangan dan di TMC tidak terlalu mahal. Selama periode pemakaian tinggi oleh pelanggan lainnya, layanan telepon selular publik mengalami kesulitan untuk dihubungkan dengan sistem dan menyediakan layanan kecepatan data penuh. Reliabilitas layanan adalah suatu persoalan yang perlu dipertimbangkan dalam desain sistem.

### 4.14. Koleksi Informasi

Seperti telah diuraikan pada sub-bab sebelumnya,



berkaitan dengan kondisi fasilitas jalan dengan karakteristik lalu lintas yang terjadi yang bisa berpotensi atau sedang terjadi kecelakaan atau kemacetan di jalan. Kondisi itu semua bisa dideteksi lewat besaran parameter karakteristik lalu lintas menggunakan sensor-sensor peralatan *traffic data collecting devices* yang di pasang di sisi jalan.

Data variable karakteristik lalu lintas tersebut seperti:

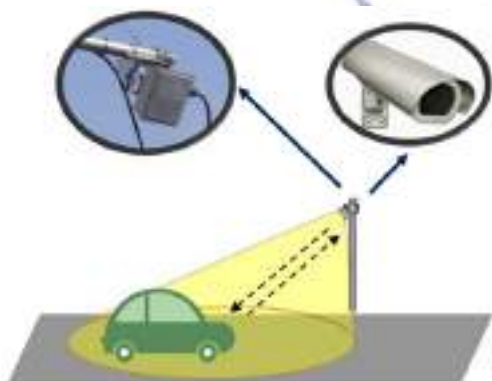
- kecepatan kendaraan.
- volume lalu lintas.
- kerapatan lalu lintas (*density*).
- jarak antara kendaraan (*headway*).
- Waktu antara kedatangan kendaraan.
- Lebar celah antara kendaraan di belakangnya (*Gap*).

Dengan menggunakan software model tertentu akan didapat kondisi kinerja lalu lintas yang akan terjadi di local dan/atau dibagian hulu, termasuk kondisi berkaitan dengan tingkat pelayanan/kapasitas pintu tol. Ini sangat tergantung dengan model yang kita definisikan terlebih dahulu.

Peralatan Traffic data collection, seperti:

- 1) Prototype Vehicle Classification (AVS).
- 2) Prototype Automatic Vehicle Detection System (AVDS).
- 3) Prototype Closed Circuit Television (CCTV).

Berikut pada Gambar 4-15 adalah peralatan sensor data lalu lintas yang dipasang di sisi jalan.



**Gambar 415** Alat sensor data lalu lintas (AVDS dan CCTV)

## 4.15. Traffic Management Center

### 4.15.1. Pusat Manajemen Transportasi Jalan

Pengendalian dan manajemen pengoperasian ITS dilakukan di pusat manajemen transportasi (TMC), kadang disebut dengan pusat pengendalian lalu lintas atau pusat pengoperasian lalu-lintas. TMC memberikan fokus implementasi dari sistem arsitektur ITS secara regional dengan konsep

pengoperasian (CONOPS) yang dikembangkan dari proses rekayasa sistem kegiatan proyek. TMC sering menampung pengoperasian sejumlah lembaga terkait transportasi jalan dan penyedia layanan darurat.

TMC menyediakan layanan manajemen umum untuk membantu fungsi yang terkait transportasi jalan yang disediakan oleh lembaga yang bertanggung jawab atas pengoperasian jalan bebas hambatan, pengoperasian jalan, manajemen darurat, dan layanan petugas/polisi. TMC memfasilitasi komunikasi dan koordinasi antar-lembaga, mengimplementasikan pengadaan informasi lalu lintas kepada media dan ke public pengguna jalan, berkoordinasi dengan lembaga perjalanan dan memberikan poin kontak untuk publik dan perusahaan yang memerlukan informasi khusus. Fungsi manajemen jalan bebas hambatan yang utama yang didukung oleh TMC adalah sebagai berikut.

#### 1) Dukungan Layanan Manajemen Darurat

TMC membantu penyedia layanan manajemen darurat yang tanggap dengan insiden terkait lalu lintas. Mereka menyediakan informasi dan kondisi lalu lintas kepada pengguna jalan dan membantu mengidentifikasi kebutuhan layanan darurat. Mereka dapat mengidentifikasi rute tercepat untuk penyedia layanan darurat untuk sampai di lokasi insiden. Informasi spesifik seperti citra CCTV, lajur yang terganggu dan lokasi buntut antrian dapat diupayakan dengan merespon permintaan dari penyedia layanan darurat. TMC membuat, menyimpan dan mengimplementasikan rencana penanggulangan insiden dan memberikan layanan bantuan insiden.

CCTV adalah peralatan penting untuk membantu penanggulangan darurat karena dapat mendukung fungsi berikut:

- Identifikasi tipe layanan tanggap yang diperlukan.
- Membantu pengguna jalan dalam mencari rute tercepat ke insiden.
- Membantu pengguna jalan dalam mengelola lalu-lintas di sekitar insiden dan antriannya.
- Citra CCTV diberikan kepada TMC, lembaga dan komando tanggap darurat lainnya.

#### 2) Penyediaan Informasi Kepada Penegendra

TMC memberikan informasi kepada perangkat lapangan lembaga, seperti changeable/variable

message signs (VMS), highway advisory radio, suar HAR, dan mungkin kios-kios di lokasi operasi lembaga dan tempat pribadi. Informasi lalu lintas juga diberikan oleh lembaga swasta seperti penyedia jasa independen dan media. TMC memberikan pesan yang diminta oleh TMC lain. Informasi yang dibuat oleh TMC khususnya memberikan kontribusi besar terhadap basis informasi untuk jasa informasi pengguna jalan. Jenis informasi yang diberikan kepada pengendara/pengguna jalan, oleh TMC antara lain:

- Kemacetan tak-berulang dan permasalahan terkait seperti kegiatan petugas/polisi dan permasalahan terkait yang ada dipermukaan jalan.
- Kemacetan berulang dalam bentuk waktu travel dan informasi pergerakan travel (tergantung kebijakan lembaga).
- Penjadwalan pelaksanaan konstruksi dan dampak lalu lintas yang akan terjadi.
- Penjadwalan kejadian khusus dan dampak lalu lintas yang akan terjadi.
- Kejadian besar atau insiden di fasilitas lainnya.
- Peringatan AMBER pada kondisi fasilitas tertentu.
- Kondisi jalan atau lalu-lintas terkait cuaca dan bencana alam.
- Informasi terkait transit dan koridor termasuk status fasilitas *park-and-ride*.
- Pesan terkait keselamatan pengendara/pengguna jalan (tergantung kebijakan lembaga/operatortol).

#### 4.16. Data Lalu Lintas

Peningkatan volume lalu lintas dengan mobilitas yang tinggi, untuk keperluan manajemen dan pelayanan lalu lintas diperlukan pencatatan data karakteristik lalu lintas yang operasional. Perkembangan terakhir hampir di seluruh dunia mengenai pencatatan data lalu lintas sudah menggunakan deteksi kendaraan dengan cara nirkabel (*vehicle detection for wireless*). Sistem tersebut menggunakan proses video perangkat pengumpulan informasi, seperti CCTV, web cam, VDS, AVI.

##### 1) CCTV

CCTV adalah perangkat koleksi informasi video. Alat tersebut dipasang di jalan utama untuk tujuan mengamati berbagai kejadian tak terduga dan kondisi lalu lintas dengan kamera resolusi tinggi.



##### 2) Web Cam

Alat dipasang di lokasi di mana kecelakaan sering terjadi untuk memantau daerah. Memberikan informasi lalu lintas terus menerus dengan menghubungkan Sistem Deteksi Video (VDS) dengan Identifikasi Kendaraan Otomatis (AVI).



##### 3) Variable Message Sign (VMS)

VMS dipasang di jalan-jalan utama, menyediakan data lalu lintas secara real-time dan taksiran waktu perjalanan sekitarnya, termasuk informasi tentang jalan ke depan dan setiap jalan yang relevan, melalui teks dan grafis. Hal ini memungkinkan semua pengemudi untuk memilih rute mereka, meningkatkan kenyamanan bagi pengguna jalan serta efisiensi, dan dengan demikian memastikan kelancaran untuk jalan-jalan utama.

Dengan saling terintegrasinya sistem informasi secara real time antara sistem:

Traffic Data Collecting meliputi karakteristik data lalu lintas dan situasi kondisi setempat;

Traffic Management Center, yang menjalankan fungsi mengatur data dan mengolah untuk selanjutnya menginformasikan;

Variable Message Sign, yang menjalankan fungsi sebagai perambuan, untuk memberitahu apa yang harus dilakukan/disarankan dan member bimbingan kepada pengemudi.



## BAB IV

# Kesimpulan

Naskah ilmiah berjudul "ITS Jalan Bebas Hambatan" ini, mencoba untuk menunjukkan bahwa sistem ITS merupakan komponen penting dalam pengembangan sistem transportasi jalan di jalan bebas hambatan. ITS menawarkan potensi yang signifikan akan manfaat dalam pengguna jalan yang lebih luas.

Manfaat ITS di jalan bebas hambatan antara lain:

- Peningkatan mobilitas pergerakan lalu lintas;
- Peningkatan kapasitas jalan utama, ramp, dan pintu tol;
- Efisiensi penggunaan tenaga operator;
- Mempercepat waktu tanggap petugas atas kejadian bermasalah di jalan;
- Berkurangnya lokasi tempat dan kadar kemacetan lalu lintas;
- Kompatibilitas lebih besar dalam sistem transportasi jalan dengan lingkungannya;
- Mengurangi kejadian kematian dan fatalitas cedera terkait kecelakaan lalu lintas;
- Sebuah sistem transportasi jalan yang lebih baik dan logis.

ITS juga menawarkan berbagai manfaat langsung dan nyata kepada operator dalam mengoperasikan dan menggunakan sistem transportasi jalan dengan menambahkan stabilitas, visibilitas, informasi, dan kontrol. Manfaat dari meningkatkan kehandalan dan efisiensi ITS usaha tersebut meliputi:

- Mengurangi ketidakpastian dalam perjalanan, yang meliputi akses ke; jadwal, dan rute, memungkinkan untuk lebih terencana, perjalanan lebih cepat, dan lebih murah;
- Lebih baiknya aspek keamanan untuk pergerakan barang dan penumpang yang bisa dikontrol;
- Meningkatkan efisiensi untuk operator dari sistem transportasi jalan yang ada;
- Meningkatkan efisiensi bagi pengguna sistem transportasi jalan, termasuk para pengguna dan operator angkutan umum;

Ada beberapa catatan yang harus diperhatikan dan dilaksanakan dalam membangun ITS di jalan bebas hambatan, seperti:

Catatan (1); Penerapan sistem ITS di jalan bebas hambatan, sudah merupakan keharusan, karena ditunjang oleh infrastruktur dan biaya yang lebih memadai dibanding dengan jalan lainnya;

Catatan (2); Jaringan jalan tol perkotaan, dengan karakteristik pembebanan lalu lintas besar, yang selalu dihadapkan pada terjadinya kemacetan, terutama saat transaksi di pintu tol. Sistem ETC merupakan suatu keharusan;

Catatan (3); Menyediakan serangkaian pendekatan inovatif untuk membantu mengembangkan aplikasi ITS

## DAFTAR PUSTAKA

- Robert Gordon, 2009, Intelligent Freeway Transportation Systems, Functional Design, Springer Dordrecht Heidelberg London New York
- Adler, Jeffrey, 2000, Introduction to Telecommunications, Proceedings of Short course on Intelligent Transportation Systems, 2-3 November 2000, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- AWA Plessey, 1996, Bandung Area Traffic Control, Final System Design, Directorate General of Land Transport, Ministry of Communications, Government of Republic of Indonesia.
- AWA Plessey, 1997, Bandung "After" Traffic Study, Supply and Installation of An Area Traffic Control ATC, System Bandung, Volume I.
- Dia, Hussein, 1998, A Client Server Architecture for A Real Time Traffic Information System on the Internet, Proceedings of the 19th ARRB Transport Research Conference, Roads 98: Investing in Transport, Sydney, Australia, December 7-11, 1998, pp. 50-70.
- Dia, Hussein, 2000, Introduction of ITS, Proceedings of Short course on Intelligent Transportation Systems, 2-3 November 2000, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Giannakodakis, G., 1995, 'The Strategic Application of Intelligent Transport Systems ITS', Technical Note, Road and Transport Research, Volume 4, no. 4, pp. 56-63.
- Hendrickson, C & Ritchie, S., 1998, 'Applications of Advanced Technologies in Transportation', 5th International Conference of American Society of Civil Engineers, ASCE, proceedings, April 1998, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191 - 4400, USA. ITS Australia, Intelligent Transportation System Australia [online] available from <http://www.its-australia.com.au/>, access 2005.
- Karl, Charles A Jr dan Trayford, Roslyn, 2000, Deliver of Real Time and Predictive Travel Time Information: Experiences from a Melbourne Trial, 7th ITS World Congress, Turin, 6-9 November, paper no. 3513.
- Lees, John, 2000, STREAMS- Queensland's Intelligent Transport System, Proceedings of Short course on Intelligent Transportation Systems, 2-3 November 2000, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Michalopoulos, P.G., Jacobson, R.D., Anderson, C.A. and DeBruyker, B., 1993, Automatic Incident Detection Through Video Image Processing, Traffic Engineering and Control, 34(2), 66-75.
- Ogden, KW & Taylor, SY., 1999, Traffic Engineering and Management, Institute of Transport Studies, Department of Civil Engineering, Monash University, Clayton Vic 3168, Australia.
- PATH, ITS., 2005, The Intelligent Transportation Systems Decision Support System Web site [online] available from <http://www.path.berkeley.edu/> Signal Control System.
- Midenet, S, Boillot, F & Pierrela, J-C., 2004, 'Signalised Intersection with Real-time adaptive Control on Field Assessment of CO2 and Pollutant Emission Reduction', Transportation Research Part D, Transport and Environment, volume 9, issue 1, pp. 29 – 47, January 2004, available from <http://www.sciencedirect.com/science/article>
- Reid, P. and Pymont, B., 1997, SAFE-T-CAM Benefits of Using This AVI System to Regulate Fatigue, Improve Road and Vehicle Safety and Driver Behaviour, Proceedings of the Third International Conference of ITS Australia, Brisbane, Australia.
- Sutandi, AC & Dia, H., 2005, 'Evaluation of the Impacts of Traffic Signal Control Parameters on Network Performance', the 27th Conference of the Australian Institutes of Transport Research, proceedings, December 2005, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Sutandi, A. Caroline (2006) Performance Evaluation of Advanced Traffic Control Systems In A Developing Country, PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Sutandi, A. Caroline. (2007) Advanced Traffic Control Systems Impacts On Environmental Quality In A Large City In A Developing Country, Journals of Eastern Asia Society of Transportation Studies, Volume 7, 2007, ISSN: 1881-1124, pp. 1169 – 1179.
- Sutandi, A. Caroline, 2010, Green Transport Using Advanced Technologies In Large City In Developing Country, Proceeding of 1st International Conference of Sustainable Building and Infrastructure, July 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.



Toshiyuki Yokota NRI, 2004, ITS Technical Note For Developing Countries, World Bank.

Taylor, JC, Mc Kenna, PG, Young, PC, Chotai, A & Mackinon, M., 2004, 'Macroscopic Traffic Flow Modelling and Ramp Metering Control Using Matlab / Simulink', Environmental Modelling and Software, volume 19, issue 10, pp 975 – 988, October 2004.

Warnock, Chris, 2000, ITS Application in QR City Train, Proceedings of Short course on Intelligent Transportation Systems, 2-3 November 2000, The University of Queensland, Brisbane, Australia.

Webb, Adrian, 2000, Integrated Ticketing: Smartcard Based Ticketing Systems for Public Transport, Proceedings of Short course on Intelligent Transportation Systems, 2-3 November 2000, The University of Queensland, Brisbane, Australia.

