

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis banyak membaca tentang penelitian terdahulu yang membantu peneliti dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

- 1) Noffi Anisyah Pebrianti, 2016 berjudul “Dampak Tundaan Pada Pengoperasian Kereta Api Dijalan Timoho Yogyakarta Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tundaan yang ditimbulkan oleh palang pintu perlintasan kereta api terhadap konsumsi bahan bakar minyak.
- 2) Mayang Sari, 2017 berjudul “Inspeksi Keselamatan Pada Perlintasan Sebidang Jalan Pirak – Pathukan, Sleman, Yogyakarta (Studi Kasus: JPL (Penjaga Pintu Lintasan) 727 KM 537 + 453)”. Penelitian ini bertujuan untuk menginspeksi keselamatan diperlintasan sebidang Jalan Pirak – Pathukan, Sleman, Yogyakarta pada JPL 727 KM 537 + 453.
- 3) Royhan Ahmad Lubis, 2011 berjudul “Studi Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu lintas (Studi Kasus : Pelintasan Sebidang Jalan Sekip dengan Rel Kereta Api)”. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api dengan menggunakan perbandingan antara 3 (Tiga) pemodelan yaitu model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood* yang sering digunakan untuk menyatakan keterkaitan hubungan antara Volume, Kecepatan dan kerapatan. Lalu untuk mengetahui lama tundaan dan panjang antrian kendaraan dalam penelitian ini menggunakan metode Gelombang Kejut.

2.2 Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api

Perlintasan sebidang adalah perpotongan sebidang antara jalur kereta api dengan jalan raya. Perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta merupakan kasus khusus pada suatu ruas jalan raya dengan tanggung jawab untuk pengaturan dan pertimbangan keamanan terbagi pada kepentingan jalan dan jalan rel. Pengemudi kendaraan yang mendekat ke suatu perlintasan harus memiliki pandangan yang tidak terhalang ke jalur masuk yang cukup untuk memungkinkan kontrol terhadap kendaraan. Selain ditinjau dari segi keselamatan, perlintasan juga berdampak terhadap tundaan kendaraan.

2.3 Tundaan

Menurut PKJI 2014, Tundaan disebut sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan kendaraan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang. Terdapat dua jenis tundaan yang dapat terjadi didalam arus lalulintas yaitu:

1. Tundaan tetap.

Tundaan tetap merupakan tundaan yang disebabkan oleh alat-alat pengendali lalulintas. Tundaan ini seringkali terjadi dipersimpangan-persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.
- Pengendali lalulintas, yang meliputi jenis dan pengaturan waktu dari lampu lalu lintas, tanda berhenti, pengendali belokan, dan pengendali parkir.

2. Tundaan Operasional.

Tundaan operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur didalam arus lalulintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari lalulintas lain. Misalnya : kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, pejalan kaki atau kendaraan yang berhenti. Namun tundaan operasional dapat juga disebabkan oleh gangguan didalam arus lalu lintas itu sendiri. Misalnya : kemacetan akibat volume kendaraan yang lebih besar dibandingkan kapasitas jalan yang ada.

Selain itu ada juga tundaan yang disebabkan oleh pemberhentian (*Stopped delay*) yaitu tundaan yang terjadi pada kendaraan dengan kendaraan tersebut berada dalam kondisi benar-benar berhenti pada kondisi mesin hidup (*stasioner*). Kondisi ini bila berlangsung lama akan mengakibatkan suatu kemacetan lalu lintas (*kongestion*). Penundaan mencerminkan waktu yang tidak produktif dan bila dinilai dengan uang, maka hal ini menunjukkan jumlah biaya yang harus dibayar masyarakat karena memiliki jalan yang tidak memadai (Hobbs dalam Suwardi, 2005).

Semakin tinggi arus dipersimpangan akan menyebabkan tingkat tundaan yang lebih tinggi dipersimpangan tersebut. Tundaan pada daerah perlintasan sebidang jalan dan jalan rel ini bukan hanya disebabkan oleh penutupan pintu perlintasan, namun juga disebabkan oleh ketidak-rataan oleh alur rel yang melintang terhadap badan jalan dan hal ini juga

mengakibatkan tundaan meskipun pintu perlintasan dalam keadaan terbuka, yakni yang dikenal sebagai tundaan geometrik. Berdasarkan definisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_o + T \quad (2.1)$$

Dimana:

W = Waktu tempuh total

W_o = Waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintasi suatu ruas jalan tertentu

T = Tundaan

Tundaan terdiri atas tundaan lalu lintas (T_T) dan tundaan Geometrik (T_G), dan secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T = T_{LL} + T_G \quad (2.2)$$

Dimana:

T_{LL} = Tundaan lalu lintas rata-rata

T_G = Tundaan geometrik rata-rata

2.4 Antrian Kendaraan

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang dapat kita lihat sehari-hari di jalan raya yang padat. Antrian dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, 2014, didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang. Sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan meter. Gerakan kendaraan yang berada dalam antrian akan dikontrol oleh gerakan yang didepannya atau kendaraan tersebut dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalulintas.

Terdapat dua aturan dalam antrian, yaitu *first in first out* (FIFO) dan *last in first out* (LIFO). Dalam analisa pengaruh penutupan pintu perlintasan kereta api digunakan aturan antrian yang pertama, yaitu *first in first out* hal ini

disebabkan penyesuaian dengan kenyataan di lapangan dan kondisi pendekat lintasan.

Ketika permintaan melebihi kapasitas untuk suatu periode waktu atau pada suatu waktu antar kedatangan yang lebih rendah dibandingkan dengan waktu pelayanan (pada tingkat mikroskopik) di suatu lokasi tertentu, maka terbentuklah antrian. Antrian bisa berupa antrian yang bergerak (*moving queue*) atau antrian yang berhenti (*stopped queue*). Pada dasarnya kelebihan kendaraan disimpan pada daerah *upstream* dari *bottleneck* atau daerah pelayanan, dan kedatangannya ditunda selama periode waktu berikutnya.

Teknik analisis yang bisa dipakai dalam mempelajari proses antrian, yaitu *shock wave analysis* (Analisa Gelombang kejut). *Shock wave analysis* dapat digunakan ketika proses permintaan-kapasitas adalah *deterministic*, dan terutama cocok untuk evaluasi jarak yang diperlukan untuk proses antrian dan untuk interaksi proses antrian.

2.5 Gelombang Kejut

Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalu lintas pada saat memasuki jalan menyempit, pada simpang bersinyal ketika nyala lampu merah, atau pada perlintasan kereta api. Pada perlintasan kereta api, diskontinuitas terjadi saat kereta api melintas (pintu perlintasan ditutup) dan adanya perlambatan sebagai akibat pengurangan kecepatan oleh kendaraan didepannya karena adanya hambatan berupa pengendali kecepatan (*rumble strips*) maupun alur rel (pada saat kondisi perlintasan dibuka).

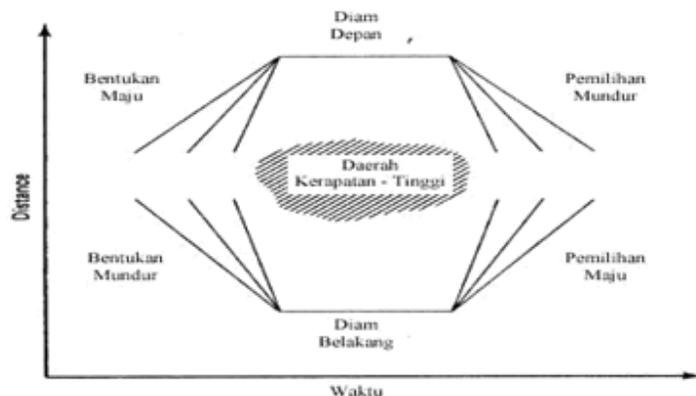
2.4.1 Klasifikasi Gelombang Kejut

Menurut (Soedirdjoe, 2002) Gelombang kejut dapat didefenisikan menjadi 6 kelas, yaitu:

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), terdapat pada lokasi penyempitan jalur (termasuk sinyal lalu lintas) dan menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalannya. Istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir kearah hilir) dari daerah kemacetan dengan kerapatan yang lebih rendah kearah hilir dan lebih tinggi kearah hulu. Istilah diam berarti bahwa

gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan hal ini tidak akan berpindah lokasinya dengan berubahnya waktu.

2. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*), terjadi apabila kedatangan lalulintas sama dengan kapasitas pada daerah kemacetan untuk selama periode waktu tertentu. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir kearah hulu dari daerah kemacetan. Kerapatan lebih tinggi kearah hilir dan lebih rendah kearah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang tidak berpindah lokasinya selama periode waktu tertentu.
3. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*), istilah maju mempunyai implikasi bahwa gelombang kejut bergerak dalam arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas, sedangkan istilah bentukan berarti bahwa selama berlangsungnya waktu kemacetan, terjadi peningkatan pada tempat yang semakin jauh kearah hilir. Waktu ruang disebelah kiri gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.
4. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*), terbentuk apabila terjadi kemacetan dan menunjukkan daerah dalam waktu dan ruang dimana kelebihan arus ditampung. Istilah mundur berarti bahwa dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang (kearah hulu atau kearah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah bentukan mempunyai implikasi bahwa dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin meningkat dan berkembang kearah hulu. Waktu dan ruang daerah asal ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.

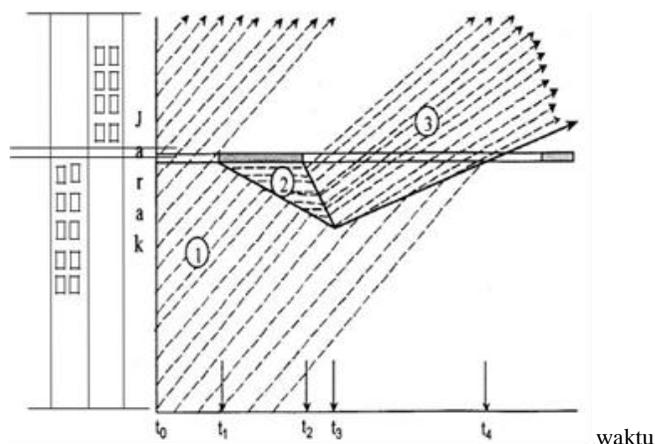


Gambar 2. 1 Klasifikasi Gelombang Kejut (Sumber : Soedirdjoe,2002)

5. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*), terbentuk seketika terjadi kemacetan sedangkan arus lalu lintas berkurang sehingga berada di bawah kapasitas penyempitannya. Oleh karena itu panjang dari kemacetan dapat dikurangi. Istilah maju berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak kedepan (kearah hilir atau kearah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu terdapat kondisi arus lalu lintas bebas (*free-flow*) pada daerah yang semakin jauh kearah hilir. Waktu ruang kekiri dari gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih tinggi dan kekanan mempunyai kerapatan yang lebih rendah.
6. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*), terbentuk ketika kemacetan terjadi, tetapi kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalannya. Istilah mundur berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak kebelakang (kearah hulu atau kearah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu, kondisi arus bebas meningkat semakin menjauhi dari daerah awal lokasi kemacetan. Daerah kemacetan berada di sebelah kiri dari gelombang kejut dan keadaan arus bebas berada di sebelah kanannya.

Kondisi pada saat pintu perlintasan ditutup dapat digambarkan pada **Gambar 2.2** dengan keterangan sebagai berikut (Setiyaningsih, 2007):

1. Kondisi jalan tertutup total, Kondisi ini terjadi saat kereta melintas dan pintu perlintasan ditutup. Akibatnya nilai kerapatan pada kondisi arus yang masuk (volume kebutuhan = demand) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet. Kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatannya saat mendekati perlintasan, dan akhirnya berhenti sehingga terbentuk antrian dibelakangnya.
2. Pada saat pintu perlintasan dibuka, kerapatan pada kondisi macet berangsur-angsur kembali sampai pada keadaan dimana kerapatan menuju ke kondisi maksimum.
3. Pada tahap ini kecepatan gelombang kejut 2 (U_{sw2}) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (U_{sw1}), dimana kerapatan saat kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.



Gambar 2. 2 Gelombang kejut pada saat kondisi pintu perlintasan ditutup
(Sumber : Said, 2004)

Dimana t_1 adalah saat pintu perlintasan ditutup dan gelombang kejut mundur bentukan terjadi. Selanjutnya t_2 adalah saat pintu dibuka kembali. Sedangkan t_3 adalah saat antrian kendaraan berangsur hilang dan gelombang kejut maju bentukan terjadi.

Daerah bertanda 1 mewakili kondisi arus dari kelompok kendaraan tanpa gangguan fasilitas lalu lintas dengan kecepatan konstan. Daerah 2 mewakili kelompok kendaraan yang membentuk antrian ketika memasuki daerah persimpangan sebidang jalan dengan jalan rel saat pintu ditutup dan berangsur-angsur hilangnya antrian saat pintu dibuka. Daerah 3 mewakili kondisi arus yang baru pada kondisi setelah kelompok kendaraan melewati daerah perlintasan sebidang jalan dan rel kereta api.

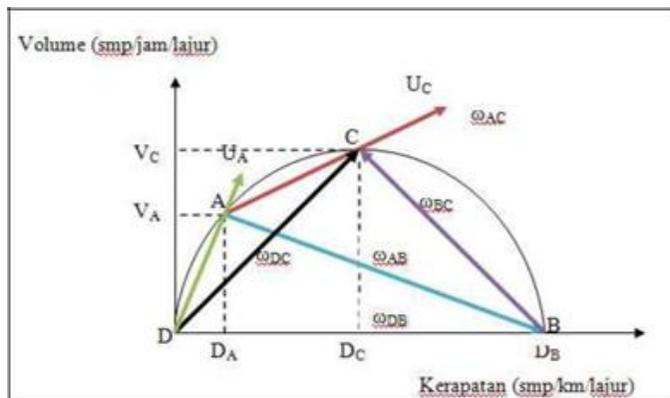
Gelombang kejut pada perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api terjadi pada kondisi pintu perlintasan terbuka dan tertutup. Pada kondisi yang pertama yaitu pada saat penutupan pintu perlintasan ketika ada kereta yang melintas, kendaraan-kendaraan mulai berhenti dan kerapatan bertambah, diskontinuitas terjadi ketika kendaraan bergabung dengan antrian dan pada saat kendaraan mulai bergerak dari bagian depan antrian pada saat pintu perlintasan terbuka. Pada kondisi kedua, pada saat kelompok kendaraan melintasi jalur rel, kendaraan dibagian depan memperlambat kecepatan sehingga terjadi peningkatan kerapatan dan setelah melewati jalur rel, kendaraan menambah kecepatan sehingga kerapatan berkurang.

Diskontinuitas pertama yaitu gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*), dan diskontinuitas yang kedua yaitu gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*). Gelombang kejut

pertama terbentuk, saat pintu perlintasan tertutup dan pada kondisi kedua saat kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatan, sebagai hasil peningkatan kerapatan lalu lintas akibat adanya antrian.

Selanjutnya ada gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*) yang terjadi pada garis stop selama waktu tertutupnya pintu perlintasan. Istilah depan (*frontal*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut berada pada garis terdepan dari daerah antrian, sedangkan istilah diam (*stationary*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut tetap berada pada posisi yang sama.

Tiga gelombang kejut mulai pada saat t_1 di garis henti : ω_{AD} (gelombang kejut bentukan maju), ω_{DB} (gelombang kejut diam depan), dan ω_{AB} (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram **Gambar 2.3** dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus- rumus berikut :



Gambar 2.3 Gelombang kejut pada perlintasan kereta api pada saat pintu perlintasan ditutup (Sumber : Setiyaningsih,2007)

$$\omega_{DA} = \frac{V_D - V_A}{D_D - D_A} + \mu_A \quad (2.3)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_D - V_B}{D_D - D_B} = 0 \quad (2.4)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (2.5)$$

Dimana :

ω_{DA} = gelombang kejut dari kondisi titik awal D ($V_D = 0$ dan $D_D = 0$) ke titik A (V_A, D_A)

- ω_{DB} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti sehingga $V_B = 0$ dan $D_B =$ kerapatan saat macet
- ω_{AB} = gelombang kejut saat nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan ($V=V_A$) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet (D_B)

Kondisi arus A, B dan D ini tetap sampai waktu t_2 pada saat pintu perlintasan dibuka. Kondisi arus baru C pada waktu t_2 di garis henti meningkat dari nol sampai arus jenuh. Ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, ω_{DC} (gelombang kejut pemulihan maju) dan ω_{BC} (gelombang kejut pemulihan mundur), sedangkan gelombang kejut akhir adalah ω_{DB} (gelombang kejut diam didepan. Kecepatan dua gelombang kejut baru ini dapat secara grafis dilihat pada **Gambar 2.3** dan dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_C}{D_D - D_C} + \mu_C \quad (2.6)$$

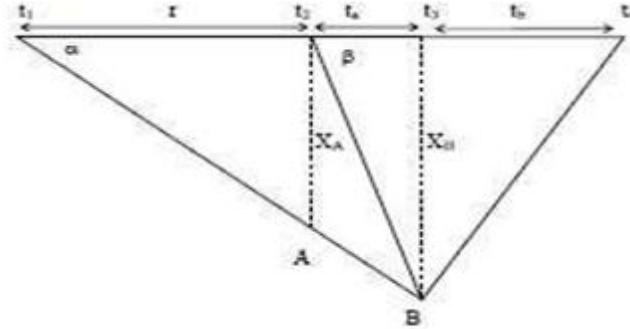
$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{V_C}{D_B - D_C} \quad (2.7)$$

Dimana :

- ω_{DC} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan di buka, kondisi ruas didepan pintu perlintasan dari kondisi arus dan kerapatan nol perlahan bergerak searah dengan lalu lintas ke arah hilir sampai pada kondisi titik C ($VC =$ Volume Maksimum = Kapasitas, $DC =$ Kerapatan Maksimum).
- ω_{BC} = gelombang kejut dari kendaraan yang mengalami kondisi berhenti saat pintu ditutup mulai bergerak disusul oleh kendaraan dibelakangnya sampai kendaraan terakhir yang tidak mengalami antrian tetapi kecepatannya terpengaruh oleh kecepatan arus didepannya

Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_a = r \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.8)$$



Gambar 2. 4 Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian
(Sumber : Setiyaningsih,2007)

Lokasi antrian dari garis henti pada waktu t_2 dapat dihitung sebagai berikut :

$$X_A = r \cdot \tan \alpha \quad (2.9)$$

$$\tan \alpha = \frac{V_A}{D_J - D_A} \quad (2.10)$$

Lokasi hilangnya antrian dari garis henti pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$X_B = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{BC} - \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.11)$$

Dimana : r = lamanya waktu penutupan pintu perlintasan = $t_2 - t_1$

Respon lalu lintas yang tidak bisa bergerak dengan segera begitu pintu perlintasan dibuka mengakibatkan beberapa kendaraan mungkin masih mengalami tundaan walaupun tidak mengalami antrian.

Pada saat t_3 gelombang kejut gerak maju baru ω_{AC} terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{BC} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \quad (2.12)$$

Kondisi arus D, C, dan A tetap sampai waktu tertentu sampai pintu perlintasan ditutup kembali, tetapi sebelumnya pada saat waktu t_4 , gelombang kejut bentukan maju ω_{AC} memotong garis henti dan arus di garis henti menurun dari arus maksimum V_C menjadi V_A . Periode waktu dari mulai pintu perlintasan dibuka sampai tingkat pelepasan garis henti turun dibawah nilai maksimum (t_2 sampai t_4) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_b = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \left[\frac{\omega_{BC}}{\omega_{AC}} + 1 \right] \quad (2.13)$$

Jumlah Kendaraan yang mengalami antrian :

$$N = (r + t_a) \times V_a \quad (2.14)$$

Tundaan yang terjadi adalah :

$$T = \frac{1}{2} \times r + N \quad (2.15)$$

2.6 Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik dasar arus lalu lintas adalah arus, kecepatan, dan kerapatan. Karakteristik ini dapat diamati dengan cara makroskopik atau mikroskopik. Pada tingkat mikroskopik analisis dilakukan secara individu sedangkan pada tingkat makroskopik analisis dilakukan secara kelompok (Soedirdjo, 2002). **Tabel 2.1** menggambarkan kerangka dasar dari karakteristik lalu lintas.

Tabel 2. 1 Kerangka dasar karakteristik lalu lintas

Karakteristik Lalu Lintas	Mikroskopik	Makroskopik
Arus	Waktu Antara (Time Headway)	Tingkat arus
Kecepatan	Kecepatan Individu	Kecepatan rata - rata
Kerapatan	Jarak Antara (Distance headway)	Tingkat kerapatan

Sumber : Soedirdjo, 2002

Karakteristik arus makroskopik dinyatakan dengan tingkat arus dan pembahasan akan ditekankan pada pola variasi dalam waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kecepatan makroskopik menganalisis kecepatan dari kelompok kendaraan yang melintasi suatu titik pengamat atau suatu potongan jalan pendek selama periode waktu tertentu. Penekanan diberikan pada variasi

waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kerapatan makroskopik dinyatakan sebagai sejumlah kendaraan yang menempati suatu potongan jalan. Kerapatan merupakan karakteristik penting yang dapat digunakan dalam menilai kinerja lalu lintas dari sudut pandang pemakai jalan dan pengelola jalan.

2.5.1 Arus dan Volume Lalu Lintas (*Flow*)

Arus Lalu lintas adalah jumlah kendaraan dalam satuan mobil penumpang (smp) atau dalam PKJI 2014 disebut ekuivalen kendaraan ringan (ekr) yang melalui suatu potongan melintang jalan dalam satuan waktu tertentu. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI, 2014) arus lalu lintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada suatu penggal jalan per satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan kend/jam (Q_{kend}), atau skr/jam (Q_{skr}), atau akr/hari (LHRT). Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya.

Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume biasanya dihitung dalam kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume dapat juga dinyatakan dalam periode waktu yang lain. Volume lalu lintas umumnya rendah pada malam hari, tetapi meningkat secara cepat sewaktu orang mulai pergi ke tempat kerja. Volume jam sibuk biasanya terjadi di jalan perkotaan pada saat orang melakukan perjalanan ke dan dari tempat kerja atau sekolah. Volume jam sibuk pada jalan antar-kota lebih sulit untuk diperkirakan. Menurut (Soedirdjoe, 2002), Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

1. Volume harian (*Daily Volume*)

Volume harian mempunyai empat parameter yang banyak digunakan yaitu:

- Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) atau *average annual daily traffic* (AADT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melintas lokasi dalam satu tahun dibagi 365.
- Lalu lintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) atau *average annual weekday traffic* (AAWT) yaitu volume lalu lintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama satu tahun penuh. Lalu lintas harian rata-rata (LHR) atau *average daily traffic* (ADT) yaitu volume lalu lintas 24

jam rata-rata disuatu lokasi untuk periode waktu kurang dari satu tahun. Sementara AADT dihitung selama satu tahun penuh.

- Lalu lintas hari kerja rata-rata (LHKR) atau *average weekday traffic* (AWT) adalah volume lalulintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari setahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

2. Volume jam-an (*Hourly Volumes*)

Volume jam-an suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang kerja. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar yang disebut sebagai jam puncak.

3. Volume per sub jam (*Sub Hourly Volumes*)

Volume per sub jam adalah pengamatan terhadap arus lalu lintas lebih kecil dari satu jam.

2.5.2 Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh (Soedirdjo, 2002). Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor manusia, kendaraan, prasarana dan juga dipengaruhi oleh arus lalu lintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam disekitarnya.

Menurut Direktorat Bina Sistem Lalu lintas dan Angkutan Kota (1999), ada empat klasifikasi utama yang sering digunakan dalam mempelajari kecepatan arus lalu lintas, yaitu:

1. Kecepatan perjalanan (*journey speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan efektif antara dua titik tertentu di jalan, yang dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan.

2. Kecepatan titik/sesaat (*spot speed*)

Yaitu kecepatan kendaraan sesaat pada waktu kendaraan tersebut melintasi suatu titik tetap tertentu di jalan.

3. Kecepatan bergerak (*running speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan untuk melintasi suatu jarak tertentu dalam kondisi kendaraan tetap berjalan, yaitu kondisi setelah dikurangi oleh waktu hambatan terjadi (misalnya hambatan pada persimpangan). Kecepatan bergerak ini dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi

dengan total waktu perjalanan yang telah dikurangi dengan waktu berhenti karena adanya hambatan yang disebabkan gangguan yang terjadi pada lalu lintas.

4. Hambatan (*delay*)

- Hambatan tetap (*fixed delay*)
- Hambatan bergerak (*running delay*)

Tabel 2. 2 Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan

Perkiraan kecepatan rata – rata arus lalu lintas (km/jam)	Penggal jalan (m)
<40	25
40 – 65	50
>65	75

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990

Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalu lintas tidak dikenal kecepatan tunggal tetapi lebih dikenal sebagai distribusi dari kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas.

2.5.3 Kerapatan (*Density*)

Menurut Soedirdjoe (2002), kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menggunakan suatu panjang jalan, pada umumnya ditentukan panjang 1 km dan satu lajur jalan. Kerapatan lalu lintas bervariasi dari nol (tidak ada kendaraan di suatu lajur sepanjang 1 km) sampai nilai yang menyatakan antrian kendaraan yang cukup rapat dan tidak dapat bergerak. Batas atas ini disebut kerapatan macet, dan umumnya antara 115 sampai 156 kendaraan per km.

Kerapatan sukar diukur secara langsung (karena diperlukan titik ketinggian tertentu yang dapat mengamati jumlah kendaraan dalam panjang ruas jalan tertentu), sehingga besarnya ditentukan dari dua parameter sebelumnya, yaitu kecepatan dan volume (Alamsyah, 2008). Dimana kerapatan, kecepatan dan volume mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad (2.16)$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad (2.17)$$

Dimana:

- V = Volume (ekr/jam)
 \bar{U}_{sr} = Kecepatan rata – rata ruang (km/jam)
 D = Kerapatan (ekr/km)

2.7 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

2.6.1 Perhitungan Volume

Volume kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalu lintas di jalan. Kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang telah ditetapkan sehingga nantinya diperoleh jumlah kendaraan yang lewat pada ruas jalan tersebut. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam smp/jam untuk mendapatkan nilai volume kendaraan yang lewat setiap jamnya.

2.6.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalu lintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan yang dikenal sebagai satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekuivalensi mobil penumpang. PKJI (2014), mendefinisikan satuan kendaraan ringan dan ekuivalensi kendaraan ringan sebagai berikut:

1. Satuan Kendaraan Ringan, yaitu satuan arus, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan ekr.
2. Ekuivalensi Kendaraan Ringan, yaitu faktor dari beberapa tipe kendaraan dibandingkan terhadap kendaraan ringan sehubungan dengan pengaruhnya kepada kecepatan kendaraan ringan dalam arus campuran (untuk kendaraan ringan yang sama sasisnya memiliki ekr = 1,0)

Menurut PKJI (2014), untuk jalan perkotaan, kendaraan pada arus lalu lintas dibagi dalam 4 (empat) tipe yaitu:

- Kendaraan Ringan (KR) adalah kendaraan bermotor dengan dua gandar beroda empat, panjang kendaraan tidak lebih dari 5,5m dengan lebar

sampai 2,5m. Meliputi: sedan, minibus (termasuk angkot), mikrobis (termasuk mikrolet, oplet, metromini), pick-up, dan truk kecil.

- Kendaraan Berat (KB) adalah kendaraan bermotor dengan dua sumbu atau lebih, beroda 6 atau lebih, panjang kendaraan 12,0m atau lebih, dengan lebar sampai dengan 2,5m. Meliputi: bus besar, truk besar 2 atau 3 sumbu (tandem), truk tempelan, dan truk gandengan.
- Sepeda Motor (SM) adalah kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda. Meliputi: sepeda motor dan kendaraan roda tiga.
- Kendaraan Tak Bermotor (KTB) adalah kendaraan yang tidak menggunakan motor, bergerak ditarik oleh orang atau hewan, termasuk sepeda, becak, kereta dorongan, dokar andong, dan gerobak.

Ekr untuk tipe kendaraan ringan adalah 1 (satu) sedangkan tipe kendaraan berat serta sepeda motor dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Ekr Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe jalan:	Arus lalu-lintas per lajur(kend/jam)	ekr	
		KB	SM
2/1, dan 4/2T	< 1050	1,3	0,40
	≥ 1050	1,2	0,25
3/1, dan 6/2D	< 1100	1,3	0,40
	≥ 1100	1,2	0,25

Sumber: PKJI, 2014

Dari **Tabel 2.3**. dapat diketahui volume lalu lintas yang melewati suatu titik dihitung melalui persamaan berikut:

$$V = \sum(V_i \cdot ekr_i) \tag{2.18}$$

Dimana:

- V = Volume (Smp/jam)
- V_i = Arus kendaraan tipe ke-i
- Ekr_i = Faktor ekr kendaraan tipe ke-i

2.6.3 Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \quad (2.19)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \text{Kecepatan (km/jam)} \\ x &= \text{Jarak tempuh kendaraan (km)} \\ t &= \text{Waktu tempuh kendaraan (jam)} \end{aligned}$$

Kecepatan kendaraan pada suatu bagian jalan, akan berubah-ubah menurut waktu dan besarnya lalu lintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan yaitu:

- Kecepatan rata – rata ruang (\bar{U}_{sr}), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- Kecepatan rata – rata waktu (\bar{U}_t), menyatakan kecepatan rata – rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km.

Kecepatan rata-rata ruang dan kecepatan rata-rata waktu dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut rumus berikut :

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad (2.20)$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.21)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{U}_t &= \text{Kecepatan rata – rata waktu (km/jam)} \\ \bar{U}_{sr} &= \text{Kecepatan rata – rata ruang (km/jam)} \\ x &= \text{Jarak tempuh (km)} \\ t_i &= \text{Waktu tempuh kendaraan (jam)} \\ n &= \text{Jumlah kendaraan yang di amati} \end{aligned}$$

2.6.4 Perhitungan Kerapatan

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kendaraan telah diperoleh sebelumnya.

$$D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}} \quad (2.22)$$

Dimana:

D = Kerapatan (ekr)

V = Volume lalu lintas (ekr/jam)

\bar{U}_{sr} = Kecepatan rata – rata ruang (km/jam)