

## **2 LANDASAN TEORI**

### **2.1 Transportasi**

Transportasi dikatakan baik, apabila perjalanan cukup cepat, tidak mengalami kemacetan, frekuensi pelayanan cukup, aman, bebas dari kemungkinan kecelakaan dan kondisi pelayanan yang nyaman. Untuk mencapai kondisi yang ideal seperti ini, sangat ditentukan oleh berbagai faktor yang menjadi komponen transportasi ini, yaitu kondisi prasarana (jalan), sistem jaringan jalan, kondisi sarana (kendaraan) dan sikap mental pemakai fasilitas transportasi tersebut (Sinulingga, 2005).

Transportasi merupakan kebutuhan kedua atau kebutuhan turunan dari kebutuhan ekonomi Masyarakat. Peranan transportasi pada Pembangunan wilayah secara menyeluruh telah membawa dampak yang luar biasa terutama sekali pada hubungan antar berbagai wilayah (aksebilitas). Transportasi mencakup berbagai hal dalam kaitannya dengan perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya seperti misalnya infrastruktur jalan raya, moda transportasi, hingga pada manajemen pengelolaannya yang dilakukan oleh pengambil kebijakan maupun rencana.

Secara umum, transportasi dibagi menjadi tiga jenis utama berdasarkan media atau jalur yang di gunakan seperti transportasi darat menggunakan jalan sebagai medianya jenis ini paling sering digunakan oleh Masyarakat dan meliputi berbagai kendaraan, transportasi air menggunakan perairan seperti Sungai, danau, dan laut sebagai jalur pergerakannya, transportasi udara menggunakan jalur udara sebagai jalur pergerakannya.

Jika arus lalu lintas mendekati kapasitas, kemacetan mulai terjadi. Kemacetan semakin meningkat apabila arus begitu besarnya sehingga kendaraan sangat berdekatan satu sama lain. Kemacetan total terjadi apabila kendaraan harus berhenti atau bergerak sangat lambat (Tamin, 2000).

### **2.2 Klasifikasi Jalan**

Menurut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023) Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, Median adalah dalam ruang jalan yang ditinggikan atau direndahkan yang berfungsi memisahkan arah arus lalu lintas yang berlawanan.

Jalan umum menurut fungsinya berdasarkan pasal 8 Undang-undang No. 38 Tahun 2004 tentang jalan dikelompokkan ke dalam jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan (Azwar dkk., 2022).

1. Jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
2. Jalan kolektor adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. Jalan lokal adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
4. Jalan lingkungan adalah jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah.

Dalam pasal 9 Peraturan Pemerintahan No.34 Tahun 2006 tentang jalan dijelaskan bahwa fungsi jalan terdapat pada sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan satu kesatuan jaringan jalan yang terdiri dari sistem jaringan jalan primer dan jaringan jalan sekunder yang terjalin dalam hubungan hierarki. Pengelompokan jalan berdasarkan status memberikan kewenangan kepada Pemerintah untuk menyelenggarakan jalan yang mempunyai layanan nasional dan pemerintah daerah untuk menyelenggarakan jalan di wilayahnya sesuai dengan prinsip-prinsip otonomi daerah.

Sistem jaringan jalan disusun dengan mengacu pada rencana tata ruang wilayah dan dengan memperhatikan keterhubungan antar kawasan dan/atau dalam kawasan perkotaan, dan kawasan perdesaan. Berdasarkan sistem jaringan jalan, maka dikenal 2 istilah, yaitu:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Jaringan jalan primer disusun berdasarkan rencana tata ruang dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat-pusat kegiatan sebagai berikut:

- a. menghubungkan secara menerus pusat kegiatan nasional, pusat kegiatan wilayah, pusat kegiatan lokal sampai ke pusat kegiatan lingkungan.
- b. menghubungkan antar pusat kegiatan nasional.

Sistem jaringan jalan primer merupakan sistem jaringan jalan yang menghubungkan antar kawasan perkotaan, yang diatur secara berjenjang sesuai dengan peran perkotaan yang dihubungkannya. Untuk melayani lalu lintas menerus maka ruas-ruas jalan dalam sistem jaringan jalan primer tidak terputus walaupun memasuki kawasan perkotaan.

## 2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Jaringan jalan sekunder disusun berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan yang menghubungkan secara menerus kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga, dan seterusnya sampai ke persil.

Sistem jaringan jalan sekunder merupakan sistem jaringan jalan yang menghubungkan antar kawasan di dalam perkotaan yang diatur secara berjenjang sesuai dengan fungsi kawasan yang dihubungkannya.

## 2.3 Perlintasan Sebidang

Di Indonesia, pertemuan antara jalur kereta api dan jalan raya pada tingkat yang sama dikenal sebagai perlintasan sebidang. Perlintasan sebidang adalah titik pertemuan antara jalur kereta api dan jalan raya pada ketinggian yang sama (Kelo dkk., 2020). Pada perlintasan dengan frekuensi lalu lintas yang rendah, biasanya dipasang rambu seperti "*Stop*" atau "*Cross Bugs*" sebagai langkah keamanan bagi pengguna jalan. Namun, ketika volume arus lalu lintas meningkat, baik kendaraan yang masuk maupun keluar dari perlintasan, diperlukan sistem kontrol yang lebih efektif. Keberadaan perlintasan sebidang ini berpotensi menimbulkan kemacetan atau tundaan, serta meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas, mengingat perbedaan karakteristik pergerakan antara kendaraan bermotor dan kereta api.

## 2.4 Sistem Kontrol Perlindungan

Perlindungan sebidang adalah titik pertemuan antara jalur kereta api dan jalan raya pada ketinggian yang sama. Keberadaan perlindungan sebidang ini dapat menimbulkan kemacetan atau tundaan, serta meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas, mengingat karakteristik pergerakan kendaraan bermotor dan kereta api yang berbeda.

Beberapa teknologi yang telah diterapkan dalam sistem kontrol perlindungan antara lain:

1. Pintu Perlindungan Otomatis: Pintu perlindungan yang secara otomatis menutup saat kereta api mendekat dan membuka kembali setelah kereta api melintas. Sistem ini dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi keberadaan kereta api.
2. Sistem Peringatan Dini: Sistem yang memberikan peringatan kepada pengguna jalan tentang kedatangan kereta api, biasanya melalui sinyal suara dan cahaya. Teknologi ini dapat menggunakan sensor ultrasonik atau serat optik untuk mendeteksi kereta api yang mendekat.
3. *Yellow Box Junction*: Area kotak kuning yang ditandai di perlindungan untuk mencegah kendaraan berhenti di tengah perlindungan, sehingga mengurangi risiko kemacetan dan kecelakaan.

Implementasi sistem kontrol perlindungan yang tepat dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas di perlindungan sebidang. Namun, diperlukan evaluasi dan pemeliharaan rutin untuk memastikan sistem tersebut berfungsi dengan baik.

### 2.4.1 Lama Penutupan Pintu Perlindungan

Lama penutupan pintu perlindungan kereta api adalah durasi waktu sejak palang pintu mulai ditutup hingga kembali dibuka setelah kereta melintas. Faktor-faktor yang mempengaruhi lama penutupan ini meliputi frekuensi perjalanan kereta, kecepatan kereta, panjang rangkaian kereta, serta sistem pengoperasian palang pintu.

Durasi penutupan palang pintu kereta api bervariasi tergantung pada frekuensi perjalanan kereta, kecepatan kereta, dan kebijakan pengoperasian palang pintu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penerapan sistem kontrol

perlindungan yang efektif sangat diperlukan. Sistem kontrol perlindungan berfungsi untuk mengatur lalu lintas di perlindungan sebidang, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan mengurangi kemacetan (Kelo dkk., 2020).

Dampak dari lama penutupan ini tidak hanya mempengaruhi kelancaran lalu lintas, tetapi juga berdampak pada konsumsi bahan bakar kendaraan akibat waktu *idle* yang lebih lama, peningkatan emisi gas buang, serta potensi risiko kecelakaan jika pengguna jalan mencoba menerobos palang pintu. Oleh karena itu, diperlukan manajemen perlindungan yang baik, seperti penerapan sistem peringatan dini atau pembangunan infrastruktur seperti *flyover* dan *underpass* untuk mengurangi dampak negatif dari penutupan perlindungan sebidang.

## 2.5 Karakteristik Arus Lalu Lintas

Karakteristik arus lalu lintas adalah parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis kondisi aliran kendaraan pada suatu ruas jalan. Pembagian tipe kendaraan untuk masing-masing kendaraan (Direktorat Jendral Bina Marga, 2023) adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Jenis Kendaraan

| Kode | Jenis Kendaraan                                                                                                                                                        | Tipikal Kendaraan                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| SM   | Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang < 2,5 m.                                                                                                   | Sepeda motor, kendaraan bermotor roda 3 (tiga).    |
| MP   | mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, mobil penumpang 7 (tujuh) tempat duduk, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang $\leq 5,5$ m. | Sedan, jeep, minibus, mikrobus, pickup, truk kecil |
| KS   | Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m.                                                                                        | Bus tanggung, bus metromini, truk sedang           |
| BB   | Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) gandar dengan panjang $\leq 12,0$ m.                                                                                                    | Bus antar kota, bus <i>double decker city tour</i> |
| TB   | Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (semitrailer) dengan panjang >12,0 m.                                                              | Truk tronton, truk semi trailer, truk gandeng      |

### 2.5.1 Kelas Hambatan Samping

Hambatan samping merupakan aktivitas yang terjadi di sisi jalan yang dapat memengaruhi kinerja lalu lintas pada suatu ruas jalan. Aktivitas tersebut meliputi kendaraan yang berhenti atau parkir di badan jalan, kendaraan yang keluar dan

masuk dari akses samping, pergerakan pejalan kaki, serta kendaraan lambat yang menggunakan ruang jalan. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, hambatan samping diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, yang ditentukan berdasarkan frekuensi kejadian aktivitas samping jalan dalam periode pengamatan tertentu. Kelas hambatan samping tersebut digunakan sebagai salah satu faktor penyesuaian dalam perhitungan kapasitas jalan karena semakin tinggi tingkat hambatan samping, maka semakin besar pula pengaruhnya terhadap penurunan kapasitas jalan dan kelancaran arus lalu lintas. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Pembobotan Hambatan Samping

| No | Jenis Hambatan Samping Utama                         | Bobot |
|----|------------------------------------------------------|-------|
| 1  | Pejalan kaki di badan jalan dan yang menyeberang     | 0,5   |
| 2  | Kendaraan umum dan kendaraan lainnya yang berhenti   | 1,0   |
| 3  | Kendaraan keluar/masuk sisi atau lahan samping jalan | 0,7   |
| 4  | Arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor)       | 0,4   |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.3 Kriteria Kelas Hambatan Samping

| KHS                | Jumlah nilai frekuensi kejadian (di kedua sisi jalan) dikali bobot | Ciri-ciri khusus                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Sangat Rendah (SR) | <100                                                               | Daerah Permukiman, tersedia jalan lingkungan ( <i>frontage road</i> ) |
| Rendah (R)         | 100–299                                                            | Daerah Permukiman, ada beberapa angkutan umum (angkutan kota).        |
| Sedang (S)         | 300–499                                                            | Daerah Industri, ada beberapa toko di sepanjang sisi jalan.           |
| Tinggi (T)         | 500–899                                                            | Daerah Komersial, ada aktivitas sisi jalan yang tinggi.               |
| Sangat Tinggi (ST) | $\geq 900$                                                         | Daerah Komersial, ada aktivitas pasar sisi jalan.                     |

Sumber: PKJI, 2023

### 2.5.2 Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar adalah kemampuan maksimum suatu ruas jalan dalam menampung arus lalu lintas pada kondisi ideal tanpa dipengaruhi oleh faktor penyesuaian. Kondisi ideal tersebut meliputi lebar lajur yang standar, tidak adanya

hambatan samping, serta kondisi geometrik jalan yang baik. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, kapasitas dasar digunakan sebagai nilai awal dalam perhitungan kapasitas jalan yang selanjutnya disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan. Persamaan kapasitas jalan secara umum sebagai berikut.

$$C = C_0 \times FC_{Lj} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$C$  : kapasitas segmen jalan yang sedang diamati, dengan satuan SMP/jam.

$C_0$  : kapasitas dasar kondisi segmen jalan yang ideal, dengan satuan SMP/jam.

$FC_{Lj}$  : faktor koreksi kapasitas akibat perbedaan lebar lajur atau jalur lalu lintas dari kondisi idealnya.

$FC_{PA}$  : faktor koreksi kapasitas akibat Pemisahan Arah lalu lintas (PA) dan hanya berlaku untuk tipe jalan tak terbagi.

$FC_{HS}$  : faktor koreksi kapasitas akibat kondisi KHS pada jalan yang dilengkapi bahu atau dilengkapi kereb dan trotoar dengan ukuran yang tidak ideal.

$FC_{UK}$  : faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota yang berbeda dengan ukuran kota ideal.

Nilai masing-masing faktor koreksi tersebut diperoleh dari tabel yang tercantum dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang disesuaikan dengan kondisi geometrik jalan, karakteristik lalu lintas, serta kondisi lingkungan pada ruas jalan yang diteliti. Tabel dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2.4 Kapasitas Dasar,  $C_0$

| <b>Tipe Jalan</b>                        | <b><math>C_0</math></b> | <b>Catatan</b>        |
|------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau Jalan satu arah | 1700                    | Per lajur (satu arah) |
| 2/2-TT                                   | 2800                    | Per dua arah          |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.5 Faktor Koreksi Kapasitas Akibat Perbedaan Lebar Lajur,  $FC_{Lj}$

| <b>Tipe Jalan</b>                        | <b><math>L_{LE}</math> atau <math>L_{JE}</math> (m)</b> | <b><math>FC_{Lj}</math></b> |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau Jalan satu-arah | $L_{LE} = 3,00$                                         | 0,92                        |
|                                          | 3,25                                                    | 0,96                        |
|                                          | 3,50                                                    | 1,00                        |
|                                          | 3,75                                                    | 1,04                        |
|                                          | 4,00                                                    | 1,08                        |
| 2/2-TT                                   | $L_{JE2} \text{ arah} = 5,00$                           | 0,56                        |
|                                          | 6,00                                                    | 0,87                        |
|                                          | 7,00                                                    | 1,00                        |
|                                          | 8,00                                                    | 1,14                        |

| Tipe Jalan | $L_{LE}$ atau $L_{JE}$ (m) | $FC_{Lj}$ |
|------------|----------------------------|-----------|
|            | 9,00                       | 1,25      |
|            | 10,00                      | 1,29      |
|            | 11,00                      | 1,34      |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.6 Faktor Koreksi Kapasitas akibat PA pada Tipe Jalan Tak terbagi,  $FC_{PA}$

| PA %-%    | 50-50 | 55-45 | 60-40 | 65-35 | 70-30 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $FC_{PA}$ | 1,00  | 0,97  | 0,94  | 0,31  | 0,88  |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.7 Faktor Koreksi Kapasitas pada Jalan dengan Bahu,  $FC_{HS}$

| Tipe jalan                        | KHS           | $FC_{HS}$                       |      |      |            |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|------|------|------------|
|                                   |               | Lebar bahu efektif $L_{BE}$ , m |      |      |            |
|                                   |               | $\leq 0,5$                      | 1,0  | 1,5  | $\geq 2,0$ |
| 4/2-T                             | Sangat Rendah | 0,96                            | 0,98 | 1,01 | 1,03       |
|                                   | Rendah        | 0,94                            | 0,97 | 1,00 | 1,02       |
|                                   | Sedang        | 0,92                            | 0,95 | 0,98 | 1,00       |
|                                   | Tinggi        | 0,88                            | 0,92 | 0,95 | 0,98       |
|                                   | Sangat Tinggi | 0,84                            | 0,88 | 0,92 | 0,96       |
| 2/2-TT atau<br>Jalan satu<br>arah | Sangat Rendah | 0,94                            | 0,96 | 0,99 | 1,01       |
|                                   | Rendah        | 0,92                            | 0,94 | 0,97 | 1,00       |
|                                   | Sedang        | 0,89                            | 0,92 | 0,95 | 0,98       |
|                                   | Tinggi        | 0,82                            | 0,86 | 0,90 | 0,95       |
|                                   | Sangat Tinggi | 0,73                            | 0,79 | 0,85 | 0,91       |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.8 Faktor Koreksi Kapasitas terhadap Ukuran Kota,  $FC_{UK}$

| Ukuran kota<br>(Juta jiwa) | Kelas kota/kategori kota |                   | Faktor Koreksi<br>Ukuran Kota, ( $FC_{UK}$ ) |
|----------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| $< 0,1$                    | Sangat Kecil             | Kota Kecil        | 0,86                                         |
| 0,1 – 0,5                  | Kecil                    | Kota Kecil        | 0,90                                         |
| 0,5 – 1,0                  | Sedang                   | Kota Menengah     | 0,94                                         |
| 1,0 – 3,0                  | Besar                    | Kota Besar        | 1,00                                         |
| $> 3,0$                    | Sangat Besar             | Kota Metropolitan | 1,04                                         |

Sumber: PKJI, 2023

### 2.5.3 Kecepatan Arus Bebas

Kecepatan arus bebas adalah kecepatan rata-rata kendaraan pada kondisi arus lalu lintas sangat rendah sehingga pengemudi dapat memilih kecepatan yang diinginkan tanpa dipengaruhi oleh kendaraan lain. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, kecepatan arus bebas digunakan sebagai parameter dalam analisis kinerja ruas jalan dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti

kondisi geometrik jalan, lebar lajur, hambatan samping, serta kondisi lingkungan di sekitar jalan. Nilai kecepatan arus bebas diperoleh dari nilai dasar yang kemudian disesuaikan dengan faktor penyesuaian sesuai kondisi ruas jalan yang ditinjau. Persamaan kecepatan arus bebas secara umum sebagai berikut

$$V_B = (V_{BD} + V_{BL}) \times FV_{BHS} \times FV_{BUK} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$V_B$  : kecepatan arus bebas untuk MP pada kondisi lapangan, dalam km/jam.

$V_{BD}$  : kecepatan arus bebas dasar untuk MP, yaitu kecepatan yang diukur dalam kondisi lalu lintas, geometri, dan lingkungan yang ideal.

$V_{BL}$  : nilai koreksi kecepatan akibat lebar jalur atau lajur jalan (lebar jalur pada tipe jalan tak terbagi atau lebar lajur pada tipe jalan terbagi), dalam satuan km/jam.

$FV_{BHS}$  : faktor koreksi kecepatan bebas akibat hambatan samping pada jalan yang memiliki bahu atau jalan yang dilengkapi kereb/trotoar dengan jarak kereb ke penghalang terdekat, nilainya dapat dilihat dalam

$FV_{BUK}$  : faktor koreksi kecepatan bebas untuk beberapa ukuran kota.

Perhitungan kecepatan arus bebas dilakukan dengan menggunakan Persamaan di atas, yaitu dengan menjumlahkan kecepatan arus bebas dasar dengan nilai koreksi lebar jalur atau lajur, kemudian dikalikan dengan faktor koreksi lainnya. Nilai masing-masing parameter dan faktor koreksi tersebut diperoleh dari tabel yang tercantum dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023, yang disesuaikan dengan kondisi geometrik jalan, tingkat hambatan samping, serta karakteristik wilayah pada lokasi penelitian. Tabel dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2.9 Kecepatan arus bebas dasar,  $V_{BD}$

| Tipe jalan        |                                          | $V_{BD}$ , km/jam |    |    |                           |
|-------------------|------------------------------------------|-------------------|----|----|---------------------------|
|                   |                                          | MP                | KS | SM | Rata-rata semua kendaraan |
| Jalan Terbagi     | 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau jalan satu arah | 61                | 52 | 48 | 57                        |
| Jalan Tak Terbagi | 2/2-TT                                   | 44                | 40 | 40 | 42                        |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.10 Nilai Koreksi Kecepatan Arus Bebas Dasar Akibat Lebar Lajur atau Jalur Lalu Lintas Efektif ( $V_{BL}$ )

| Tipe Jalan        |                                          | $L_{LE}$ atau $L_{JE}$ (m) | $FC_{Lj}$ |
|-------------------|------------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Jalan Terbagi     | 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau Jalan satu-arah | $L_{LE} = 3,00$            | -4        |
|                   |                                          | 3,25                       | -2        |
|                   |                                          | 3,50                       | 0         |
|                   |                                          | 3,75                       | 2         |
|                   |                                          | 4,00                       | 4         |
| Jalan tak terbagi | 2/2-TT                                   | $L_{JE}$ arah = 5,00       | -9,5      |
|                   |                                          | 6,00                       | -3        |
|                   |                                          | 7,00                       | 0         |
|                   |                                          | 8,00                       | 3         |
|                   |                                          | 9,00                       | 4         |
|                   |                                          | 10,00                      | 6         |
|                   |                                          | 11,00                      | 7         |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.11 Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat hambatan samping untuk jalan berbahu dengan lebar bahu efektif  $L_{BE}$  ( $FV_{BHS}$ )

| Tipe jalan        |                                          | KHS | $FV_{BHS}$                      |      |      |            |
|-------------------|------------------------------------------|-----|---------------------------------|------|------|------------|
|                   |                                          |     | Lebar bahu efektif $L_{BE}$ , m |      |      |            |
|                   |                                          |     | $\leq 0,5$                      | 1,0  | 1,5  | $\geq 2,0$ |
| Jalan Terbagi     | 4/2-T, 6/2-T, 8/2-T atau Jalan satu-arah | SR  | 1,02                            | 1,03 | 1,03 | 1,04       |
|                   |                                          | R   | 0,98                            | 1,00 | 1,02 | 1,03       |
|                   |                                          | S   | 0,94                            | 0,97 | 1,00 | 1,02       |
|                   |                                          | T   | 0,89                            | 0,93 | 0,96 | 0,99       |
|                   |                                          | ST  | 0,84                            | 0,88 | 0,92 | 0,96       |
| Jalan tak terbagi | 2/2-TT                                   | SR  | 1,00                            | 1,01 | 1,01 | 1,01       |
|                   |                                          | R   | 0,96                            | 0,98 | 0,99 | 1,00       |
|                   |                                          | S   | 0,90                            | 0,93 | 0,96 | 0,99       |
|                   |                                          | T   | 0,82                            | 0,86 | 0,90 | 0,95       |
|                   |                                          | ST  | 0,73                            | 0,76 | 0,85 | 0,91       |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.12 Faktor Koreksi Kecepatan Arus Bebas Akibat Ukuran Kota ( $FV_{BUK}$ ) Untuk Jenis Kendaraan MP

| Ukuran kota (Juta jiwa) | $FV_{BUK}$ |
|-------------------------|------------|
| $< 0,1$                 | 0,90       |
| 0,1 – 0,5               | 0,93       |
| 0,5 – 1,0               | 0,95       |
| 1,0 – 3,0               | 1,00       |
| $> 3,0$                 | 1,03       |

Sumber: PKJI, 2023

### 2.5.4 Volume Lalu Lintas (q)

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik atau garis tertentu pada suatu penampang melintang jalan. Perhitungan jumlah kendaraan harus memperhatikan faktor atau kondisi di lapangan yang dapat mempengaruhi volume lalu lintas (Alamsyah, 2008). *Traffic Counting* atau pencacahan jumlah dan jenis kendaraan dilakukan untuk mengumpulkan data lalu lintas, mengetahui karakteristik lalu lintas, mengetahui komposisi kendaraan dan untuk mengukur kinerja lalu lintas.

Nilai volume lalu lintas (q) mencerminkan komposisi lalu lintas, dengan menyatakan volume atau arus dalam satuan mobil penumpang (smp). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekuivalensi mobil penumpang (emp) yang diturunkan secara empiris (Direktorat Jendral Bina Marga, 2023). Persamaan arus lalu lintas (q) dapat dilihat sebagai berikut:

$$q = (SM \times emp_{SM}) + (MP \times emp_{MP}) + (KS \times emp_{KS}) \quad (2.3)$$

Keterangan:

|        |                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------|
| q      | = arus lalu lintas (smp/jam)                                   |
| SM     | = jumlah kendaraan sepeda motor pada waktu tertentu (kend/jam) |
| Emp SM | = ekuivalen mobil penumpang sepeda motor                       |
| MP     | = jumlah mobil penumbang pada waktu tertentu (kend/jam)        |
| Emp MP | = ekuivalen mobil penumpang jenis mobil penumbang              |
| KS     | = jumlah kendaraan sedang pada waktu tertentu (kend/jam)       |
| Emp KS | = ekuivalen mobil penumpang kendaraan sedang                   |

Berdasarkan persamaan di atas maka besaran nilai ekuivalen mobil penumpang (emp) untuk semua jenis kendaraan ditentukan berdasarkan tipe arus lalu lintas dan tipe jalan yang dinyatakan dalam kend/jam penentuan nilai emp dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.13 EMP untuk Jalan Tak Terbagi

| Tipe Jalan | Volume Lalu Lintas Total Dua Arah (kend/jam) | EMP <sub>KS</sub> | EMP <sub>SM</sub>        |                          |
|------------|----------------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
|            |                                              |                   | L <sub>jalur</sub> ≤ 6 m | L <sub>jalur</sub> > 6 m |
| 2/2-TT     | <1800                                        | 1,3               | 0,5                      | 0,40                     |
|            | ≥ 1800                                       | 1,2               | 0,35                     | 0,25                     |

Sumber: PKJI, 2023

Tabel 2.14 EMP untuk Jalan Terbagi

| <b>Tipe Jalan</b>                | <b>Volume Lalu Lintas per Lajur<br/>(kend/jam)</b> | <b>EMP<sub>KS</sub></b> | <b>EMP<sub>SM</sub></b> |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 4/2-T atau 2/1                   | < 1050                                             | 1,3                     | 0,40                    |
|                                  | ≥ 1050                                             | 1,2                     | 0,25                    |
| 6/2-T atau 3/1<br>8/2-T atau 4/1 | < 1100                                             | 1,3                     | 0,40                    |
|                                  | ≥ 1100                                             | 1,2                     | 0,25                    |

Sumber: PKJI, 2023

### 2.5.5 Kecepatan Kendaraan (Us)

Kecepatan kendaraan merupakan salah satu parameter dalam analisis kinerja lalu lintas yang menunjukkan kemampuan kendaraan untuk bergerak pada suatu ruas jalan dalam satuan waktu tertentu. Menurut PKJI 2023, kecepatan kendaraan didefinisikan sebagai jarak tempuh yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu perjalanan dan dinyatakan dalam satuan kilometer per jam (km/jam). Kecepatan sangat dipengaruhi oleh kondisi lalu lintas, karakteristik geometrik jalan, serta adanya gangguan seperti penutupan perlintasan kereta api. Penurunan kecepatan kendaraan menunjukkan terjadinya penurunan tingkat pelayanan jalan akibat meningkatnya tundaan dan kepadatan lalu lintas. Persamaan kecepatan kendaraan (Us) dapat dilihat sebagai berikut.

$$Us = \frac{L}{T} \quad (2.4)$$

Keterangan:

Us = kecepatan kendaraan (km/jam)

L = panjang ruas jalan (km)

T = waktu tempuh kendaraan (jam)

### 2.5.6 Kerapatan atau Kepadatan Kendaraan (k)

Kerapatan atau kepadatan kendaraan merupakan jumlah kendaraan yang berada pada suatu ruas jalan dalam satuan panjang tertentu dan dinyatakan dalam satuan kendaraan per kilometer (kend/km). Menurut PKJI 2023, kerapatan digunakan untuk menggambarkan tingkat konsentrasi kendaraan pada suatu ruas jalan dan berkaitan erat dengan arus dan kecepatan kendaraan. Semakin tinggi kerapatan kendaraan, semakin rendah kecepatan operasi kendaraan yang terjadi di

ruas jalan tersebut. Kondisi kepadatan tinggi umumnya terjadi pada saat arus lalu lintas terganggu, seperti selama penutupan perlintasan kereta api. Persamaan Kerapatan atau Kepadatan Kendaraan ( $k$ ) dapat dilihat sebagai berikut.

$$k = \frac{q}{U_s} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$k$  = kerapatan lalu lintas (kend/jam)

$q$  = arus lalu lintas (kend/jam)

$U_s$  = kecepatan kendaraan (km/jam)

## 2.5.7 Tundaan dan Panjang Antrian

### 1. Tundaan

Tundaan dalam konteks lalu lintas merujuk pada waktu tambahan yang diperlukan oleh kendaraan untuk melewati suatu titik tertentu dibandingkan dengan kondisi tanpa hambatan. Tundaan ini dapat mempengaruhi efisiensi dan kenyamanan perjalanan, serta berkontribusi terhadap kemacetan lalu lintas (Putri dkk., 2022). Apabila kondisi ini berlangsung dalam jangka waktu yang lama, dapat menyebabkan kemacetan dan mencerminkan suatu keadaan yang tidak produktif.

Sedangkan dalam Manual kapasitas Jalan Indonesia, tundaan dibagi menjadi dua jenis utama:

- a. Tundaan Lalu Lintas (*Traffic Delay*), waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi antara kendaraan dalam arus lalu lintas, seperti berhenti di lampu merah atau antrian di persimpangan.
- b. Tundaan Geometrik (*Geometric Delay*), waktu tambahan yang terjadi akibat perlambatan dan percepatan kendaraan saat membelok atau berhenti di persimpangan karena faktor geometrik jalan.

Sistem transportasi yang mengalami tundaan akan meningkatkan proporsi biaya yang harus ditanggung oleh masyarakat, khususnya bagi pengguna jasa dan fasilitas transportasi yang sudah tidak lagi beroperasi secara efisien. Hingga saat ini, upaya yang dapat dilakukan adalah menekan terjadinya tundaan semaksimal mungkin, meskipun belum dapat sepenuhnya menghilangkannya. Dalam kondisi kemacetan, waktu yang

hilang akibat tundaan dan panjang antrian merupakan parameter yang sangat esensial dan merupakan hal yang sangat penting untuk ditangani. Persamaan ini berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia tahun 2023. Dalam penelitian perlintasan sebidang, *stopped delay* dihitung dengan asumsi:

- a. Kendaraan berhenti total (kecepatan = 0) selama pintu perlintasan tertutup.
- b. Kendaraan yang datang saat pintu tertutup akan mengalami tundaan minimal sebesar durasi penutupan pintu.
- c. Kendaraan yang berada dalam antrian akan mengalami tambahan tundaan sesuai panjang antrian dan waktu pelepasan antrian.

Tundaan dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$D_s = T_p + T_q \quad (2.6)$$

Keterangan:

$D_s$  = *stopped delay* (detik/kend)

$T_p$  = durasi penutupan pintu perlintasan (detik)

$T_q = \frac{L_q}{V_o}$ , tundaan tambahan akibat antrian (detik)

$L_q$  = panjang antrian (m)

$V_o$  = kecepatan kendaraan saat mulai bergerak (m/detik), 10-15 km/jam

## 2. Panjang Antrian

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), antrian didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menunggu pada suatu pendekat, yang dinyatakan dalam jumlah kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp). Sementara itu, panjang antrian merujuk pada panjang total kendaraan yang mengantre di suatu pendekat perlintasan, yang dinyatakan dalam satuan meter. Antrian kendaraan terjadi ketika jumlah kendaraan yang mendekati suatu titik tertentu, seperti perlintasan sebidang, melebihi kapasitas layanan yang tersedia, sehingga kendaraan harus menunggu sebelum dapat melanjutkan perjalanan. Fenomena ini sering disebabkan oleh faktor-faktor seperti volume lalu lintas yang tinggi, desain geometrik jalan yang kurang optimal, atau adanya hambatan seperti perlintasan kereta api.

Untuk mengurangi antrian kendaraan, beberapa strategi dapat diterapkan, seperti perbaikan desain geometrik jalan, optimalisasi sinyal lalu lintas, dan manajemen arus lalu lintas yang efektif. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas jalan dan mengurangi hambatan, sehingga dapat meminimalkan tundaan dan panjang antrian kendaraan.

## 2.6 Biaya Operasi Kendaraan (BOK)

Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan (BOK) dikembangkan oleh LAPI-ITB (1997) bekerja sama dengan PT. Jasa Marga. Biaya ini berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan, 2023 (Tamin, 2000).

### 2.6.1 Konsumsi Bahan Bakar Minyak

Tundaan lalu lintas, seperti akibat penutupan perlintasan kereta api atau lampu lalu lintas, menyebabkan kendaraan berhenti atau bergerak lambat, yang berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Kendaraan yang berhenti atau berjalan lambat cenderung beroperasi pada efisiensi bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan saat bergerak dengan kecepatan konstan.

Konsumsi BBM kendaraan dipengaruhi oleh kecepatan, frekuensi berhenti, dan durasi *idle* saat kendaraan dalam keadaan diam akibat tundaan. Perhitungan kerugian biaya yang timbul akibat pengoperasian kendaraan di jalan dapat dilakukan menggunakan metode BOK. Bahan bakar selama akselerasi/deselerasi dianggap tidak signifikan, sehingga dapat diabaikan. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$F_1 = 170 \times 10^{-1} + (-455 \times 10^{-3}) V + (490 \times 10^{-5}) V^2 \quad (2.7)$$

$$F_2 = (770 \times 10^{-8}) V^2 \quad (2.8)$$

$$F_3 = 140 \times 10^{-2} \quad (2.9)$$

Keterangan:

$F_1$  = Konsumsi BBM pada kecepatan konstan (liter/100 smp-km)

$F_2$  = Konsumsi BBM pada saat akselerasi/deselerasi (liter/smp)

$F_3$  = konsumsi BBM pada saat diam (liter/smp per jam)

$V$  = kecepatan kendaraan (km/jam)

Metode ini menggunakan data volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang (smp). Nilai konstanta didapatkan dengan mempertimbangkan nilai

rata-rata dari konsumsi bahan bakar dari berbagai jenis dan model kendaraan yang digunakan di Indonesia. Penggunaan nilai rata-rata tersebut dimaksudkan sebagai acuan dalam penetapan nilai konstanta guna menyederhanakan proses perhitungan yang lebih praktis dan sistematis.