BAB 2
LANDASAN TEORI

2.1 Jalan Tol

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Pasal 1, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunanya diwajibkan membayar tol. Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk pengguna jalan tol.

Tujuan diselenggarakannya jalan tol menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Pasal 43 diantaranya untuk :

a. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang;
b. Meningkatkan hasil guna dan daya guna pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi;
c. Meningkatkan beban dana pemerintah melalui partisipasi penguuna jalan dan;
d. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan.

Di Indonesia, jalan tol diatur oleh BPJT (Badan Pengatur Jalan Tol) yang dibentuk oleh Menteri Perhubungan. Kedudukannya berada dibawah meteri dan bertanggung jawab kepada menteri. [1]

Standar Pelayanan Minimal (SPM) Badan Usaha Jalan Tol ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 392/PRT/M/2005 tanggal 31 Agutus 2005 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol yang harus dicapai oleh Badan Usaha Jalan Tol dalam rangka meningkatkan pelayanan kepada masyarakat pengguna jalan tol.

Dalam Pengoperasiannya, Badan Usaha Jalan Tol diharapkan untuk selalu memenuhi SPM yang meliputi substansi pelayanan sebagai berikut: [3]

a. Kondisi jalan tol.
b. Kecepatan tempuh rata-rata.
c. Aksesibilitas.
d. Mobilitas.
e. Keselamatan.
f. Unit Pertolongan/Penyelamatan dan bantuan pelayanan.

Pada penggunaan jalan tol, para pengguna jalan diharuskan untuk pembayaran sesuai dengan golongan dan tarif yang berlaku. Penggolongan jenis kendaraan bermotor pada jalan tol berdasarkan Kepmem PU No. 370/KPTS/M/2007 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Penggolongan Jenis Kendaraan

Golongan	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil, dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar
Golongan VI	Kendaraan bermotor roda 2 (dua)

Pada pelayanan transaksi pembayaran tol [4], PT. Jasa Marga selaku pemimpin pasar industri jalan tol menerapkan 2 sistem transaksi yaitu :

a. Sistem terbuka, yaitu transaksi yang dilakukan pada ruas jalan tol dimana pengguna jalan langsung membayar tarif tol pada gerbang masuk ataupun gerbang keluar (*exit toll*)
b. Sistem tertutup, yaitu transaksi yang dilakukan pada ruas jalan tol dimana pengguna mengambil tiket masuk di gardu masuk dan membayar tarif tol pada gardu keluar (*exit toll*)

2.2 Dimensi Mobil

Berdasarkan golongan mobil yang ada pada tabel 2.1 dan klasifikasi mobil secara umum, dimensi mobil dapat diukur sebagai berikut :

Tabel 2.2 Dimensi Mobil

Golongan	Jenis Mobil	Dimensi Mobil Rata-rata (panjang x lebar)
Golongan I	Sedan	1,7 x 4,5 Meter
	Jip	1,9 x 4,7 Meter
	Pick up/Truck Kecil	2 x 5,6 Meter
Golongan II	Truk dengan 2 gandar	2 x 8,2 Meter
Golongan III	Truk dengan 3 gandar	2 x 11 Meter
Golongan IV	Truk dengan 4 gandar	2 x 12 Meter
Golongan V	Truk dengan 5 gandar	2 x > 13 Meter

2.3 Kapasitas Suatu Gerbang Tol

Kapasitas suatu gerbang tol dapat diperoleh berdasarkan hasil survei asal tujuan (*Origin – Destination*) dan sistem *Trial and Error*, dimana data yang diperoleh biasanya digunakan untuk prediksi pada tahun-tahun yang akan datang. Akan tetapi jumlah data terdebut diperkirakan tidak lagi mampu menampung kapasitas pemakai jalan tol tersebut, sehingga hal ini dapat menimbulkan adanya pertambahan kapasitas pintu tol.

Untuk mengatasi masalah pertambahan kapasitas akibat jumlah pemakai jalan tol yang semakin bertambah, maka diperlukan suatu data mengenai kapasitas suatu gerbang tol. Pendataan jumlah kendaraan yang melewati jalan tol dapat dihitung Besarnya kapasitas untuk gerbang tol berbeda-beda tergantung tingkat pelayanannya. Dengan tingkat pelayanan yang singkat dan tepat akan menambah besarnya kapasitas suatu gerbang tol.

Beberapa defenisi mengenai kapasitas menurut beberapa ahli :

1. Wohl dan Martin, mendefenisikan kapasitas sebagai berikut ;

"*The quantitative measurement of the volume (per unit of time) that a particular facility can accommondate (at the limit), and this usually provides a measure of maximum volume carrying capabilities*" [5].

2. Highway Research Board, kapasitas didefenisikan sebagai :

"*The maximum number of vehicle that would have reasonable expectation of passing over a given roadway in given time period under the prevailing roadway and traffic conditions*"

Oleh karena itu kapasitas gerbang tol dapat didefenisikan sebagai nilai maksimum dari jumlah kendaraan yang melewati suatu gerbang tol dalam periode waktu tertentu. Nilai maksimum tersebut dapat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu jalan itu sendiri, kontrol operasional, fasilitas dari gerbang tol, kelakuan para pengemudi, tindakan petugas jalan tol, dan beberapa faktor lingkungan, seperti faktor cuaca.

2.4 Pengertian Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati panjang jalan yang diamati dibagi panjang jalan yang diamati tersebut. Kepadatan sulit diukur secara pasti. Kepadatan dapat dihitung berdasarkan kecepatan rata-rata kendaraan dan volume lalu lintas pada sebuah jalan.

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu ruas jalan selama satuan waktu titik dengan satuan kendaraan/jam. Volume lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengedara dan kendaraan yang melakukan interaksi satu sama lain pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Jenis arus lalulintas terbagi atas arus tidak terganggu (*un-interupted flow*) dan arus terganggu (*interupted flow*). Volume lalu lintas sebuah jalan dapat dihitung dengan membagi jumlah kendaraan yang melewati jalan dengan waktu pengamatan yang dilakukan sehingga menghasilkan angka dengan satuan kendaraan/jam [6].

Hubungan matematis antara kepadatan, volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [7]:

$$Q = D\,.S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

Dimana :

Q volume lalu lintas (kendaraan/jam)

D adalah kepadatan (kendaraan/jam)

S adalah kecepatan (kilometer/jam)

Sehingga, berdasarkan persamaan (2.1), untuk mengetahui kepadatan lalu lintas pada sebuah jalan dapat dihitung dengan persamaan :

$$D = \frac{Q}{S} \text{.....(2)}$$

2.5 Teori Antrian

Teori antrian (*queueing theory*) [8] sangat perlu dipelajari dalam usaha mengenal perilaku pergerakan arus lalu lintas baik manusia maupun kendaraan. Hal ini disebabkan sangat banyak kejadian terjadi di sektor transportasi dan permasalahan lalu lintas yang terjadi sehari-hari pada sistem jaringan jalan yang dapat dijelaskan dan dipecahkan dengan bantuan analisis teori antrian, seperti misalnya :

1. Antrian kendaraan yang terjadi di depan pintu gerbang tol atau antrian kendaraan yang terjadi pada setiap lengan persimpangan berlampu lalu lintas (perempatan atau pertigaan),
2. Antrian kendataan truk pada saat bongkar/muat barang di pelabuhan
3. Antrian kapal laut yang ingin merapat di dermaga,
4. Antrian manusia pada loket pembelian karcis di bandara, stasiun kereta api, dan lain-lain.
5. Antrian manusia pada loket pelayanan bank, loket pembayaran listrik atau telepon, serta pasar swalayan.

Masih banyak kejadian lainnya yang terjadi sehari-hari yang dapat dijelaskan dengan bantuan analisis teori antrian.

Antrian tersebut pada dasarnya terjadi karena proses pergerakan arus lalu lintas (manusia dan/atau kendaraan) terganggu oleh adanya suatu kegiatan pelayanan yang harus dilalui, seperti misalnya: antrian kendaraan yang terbentuk di depan pintu gerbang tol terjadi karena pergerakan arus kendaraan tersebut terpaksa harus terganggu oleh adanya kegiatan pengambilan dan/atau pembayaran karcis tol. Kegiatan inilah yang menyebabkan gangguan pada proses pergerakan arus kendaraan sehingga mengakibatkan terjadinya antrian kedaraan dimana pada suatu kondisi, antrian kendaraan tersebut akan dapat mangakibatkan permasalahan baik buat pengguna (dalam bentuk waktu antrian) maupun buat pengelola (dalam bentuk panjang antrian).

Bagi pengguna biasanya hal yang selalu dipermasalahkan adalah waktu menunggu selama proses mengantri, setiap pengendara akan selalu berpikir bagaimana cara agar dapat menyelesaikan antrian ini secepatnya. Sedangkan bagi pengelola, hal yang selalu dipermasalahkan biasanya adalah panjang antrian yang terjadi. Sebagai contah: antrian kendaraan yang terlalu panjang akan dapat menyebabkan tambahan permasalahan baru berupa terganggunya sistem pergerakan arus lalu lintas lainnya akibat terhambat oleh antrian yang terlalu panjang tersebut.

Teori antrian merupakan suatu alat analisa yang sangat membantu di dalam memecahkan *problem* tersebut di atas. Teori ini memberikan informasi penting yang dibutuhkan dalam pengambilan keputusan dengan meramalkan berbagai karakteristik dengan sistem antrian tersebut. Jumlah rata-rata dari satuan (antrian dan pelayanan) adalah penting untuk mendimensi luas areal yang dibutuhkan.

2.5.1 Struktur Antrian

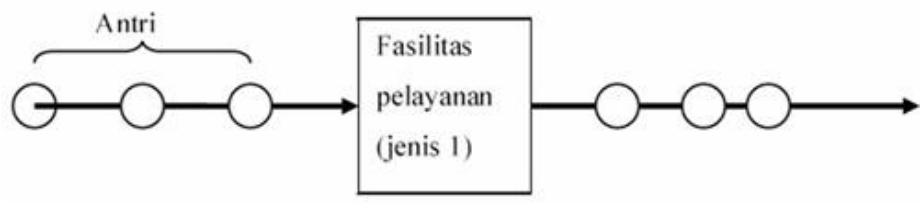
Sistem antrian adalah suatu sistem yang mencakup barisan dan gerbang pelayanan. Sedangkan populasi yang terbentuk dari waktu ke waktu berasal dari suatu sumber disebut *calling population*. Populasi tersebut datang ke sistem dan bergabung membentuk barisan antrian. Pada waktu tertentu, salah satu atau beberapa anggota dari barisan antrian tersebut dipilih untuk mendapat pelayanan.

Pemilihan ini berdasarkan pada aturan-aturan tertentu yang disebut disiplin antrian. Populasi yang telah dilayani selanjutnya pergi meninggalkan gerbang pelayanan.

Struktur antrian dapat diklasifikasikan berdasarkan banyaknya gerbang atau jalur dan banyaknya tahap pelayanan yang ada. Tata letak fisik dari sistem antrian digambarkan dengan jumlah saluran, juga disebut sebagai pelayanan. Sistem antrian jalur tunggal (*single channel-single phase*) berarti bahwa dalam sistem antrian tersebut hanya terdapat satu pemberi layanan serta satu jenis layanan yang diberikan. Sementara sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda (*single channel-multi phase*) berarti dalam sistem antrian tersebut terdapat lebih dari satu jenis layanan yang diberikan, tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. Sistem antrian jalur berganda satu tahap (*multi channel-single phase*) adalah terdapat satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan. Sedangkan sistem antrian jalur dalam setiap jenis layanan. Dalam studi ini akan dibahas gerbang tunggal satu tahap *(single channel-single phase)* dan gerbang ganda satu tahap *(multi channel- single phase)*. berganda dengan tahapan berganda (multi channel-multi phase) adalah sistem antrian dimana terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan.

1. *Single Channel-Single Phase*

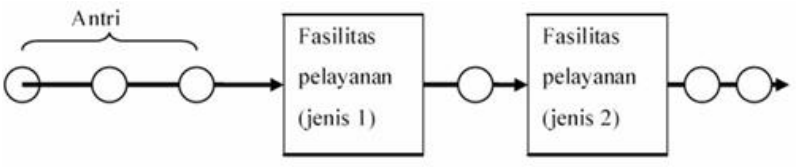
Struktur antrian pada single channel-single phase ini hanya memilih satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini hanya memiliki satu tahap saja. Stuktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Single Channel-Single Phase

2. *Single Channel-Multi Phase*

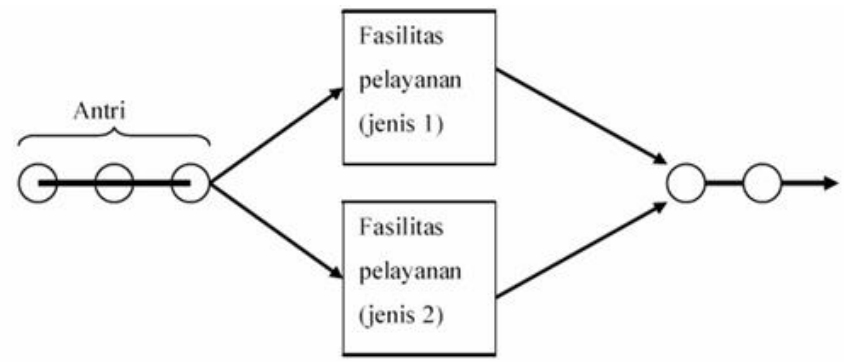
Struktur antrian pada single channel-multi phase ini hanya memiliki satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini memiliki dua tahap (lebih dari satu layanan), tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. Sebagai contoh : pencucian mobil.



Gambar 2.2 Single Channel-Multi Phase

3. Multi Channel-Single Phase

Multi Channel single phase terjadi apabila dua atau lebih fasilitas pelayanan diakhiri oleh antrian tunggal. Sebagai contoh dari model ini adalah pembelian tiket yang dilayani oleh lebih dari satu loket dan antrian pada teller sebuah bank.



Gambar 2.3 Multi Channel Single Phase

2.5.2 Proses Antrian

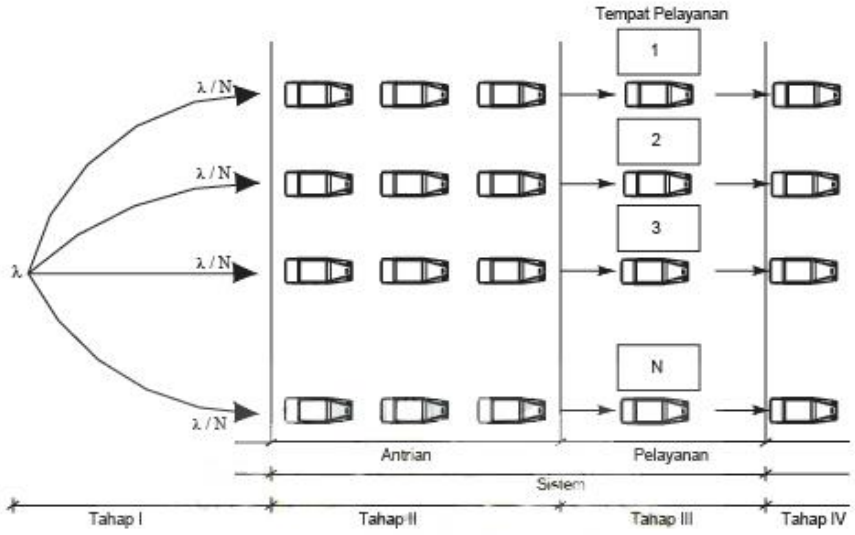
Pada dasarnya untuk lebih memahami lebih lanjut mengenai antrian, hal utama yang sangat diperlukan adalah mengerti bagaimana sebenarnya proses terjadinya antrian. Proses terjadinya antrian terdiri dari 4 (empat) tahap yang akan dijelaskan dengan menggunakan gambar berikut [11].

1. Tahap I : tahap dimana arus lalu lintas (misalkan kendaraan) bergerak dengan kecepatan tertentu menuju suatu tempat pelayanan. Besarnya arus lalu lintas

yang datang disebut dengan tingkat kedatangan (λ). Jika digunakan disiplin antrian First In First Out (FIFO) dan terdapat lebih dari 1 (satu) tempat pelayanan (multilajur) maka dapat diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) tersebut akan membagi dirinya secara merata untuk setiap pelayanan sebasar λ/N dimana N adalah jumlah tempat pelayanan. Dengan demikian, dapat diasumsikan akan terbentuk N buah antrian berlajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal akan berlaku disiplin antrian FIFO.

2. Tahap II : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) mulai bergabung dengan antrian menunggu untuk dilayani. Jadi, waktu antrian dapat didefenisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan mulai dilayani oleh suatu tempat pelayanan.
3. Tahap III : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) dilayani oleh satu tempat pelayanan. Jadi, waktu pelayanan (WP) dapat didefenesikan sebagai waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani.
4. Tahap IV : tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) meninggalkan tempat pelayanan melanjutkan perjalanannya.

Gabungan tahap II dan III disebut sistem antrian. Jadi waktu dalam sistem antrian dapat didefenisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani (atau meninggalkan waktu pelayanan).



Gambar 2.4 Proses Antrian

2.5.3 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan yang dinyatakan dengan notasi μ adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit.

Selain tingkat pelayanaan, juga dikenal Waktu Pelayanan (WP) yang dapat didefenisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanaan untuk dapat melayani satu kendaraan atau satu orang, biasa dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan atau menit/orang, sehingga bisa disimpulkan bahwa :

$$WP = \frac{1}{\mu} \dots\dots (3)$$

Selain itu dikenal juga notasi P yang didefenisikan sebagai nisbah antara tingkat kedatangan (λ) dengan tingkat pelayanaan (μ) dengan persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1.

$$P = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \dots\dots (4)$$

Jika nilai P>1, hal ini berarti bahwa tingkat kedatangan lebih besar dari tingkat pelayanaan. Jika hal ini terjadi, maka dapat dipastikan akan terjadi antrian yang akan selalu bertambah panjang (tidak terhingga).

2.5.4 Model Antrian Gerbang Tol

Gerbang tol gerbang masuk atau gerbang keluar memiliki sistem antrian sebagai berikut [10]:

(M/M/S);(D/∞/∞)

Model antrian ini menyatakan kedatangan yang didistribusikan secara eksponensial, stasiun pelayanan ganda, disiplin antrian antrian adalah FIFO dan antrian tidak terhingga serta sumber populasinya tidak terhingga pula. Diasumsikan rata-rata tingkat kedatangan lebih kecil daripada tingkat pelayanan keseluruhan (agregat) atau penjumlahan segenap rata-rata tingkat pelayanan di tiap jalur.

Formulasi matematis untuk menghitung tingkat intensitas fasilitas pelayanan adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{\lambda}{s\mu} \ldots\ldots (5)$$

dimana :

λ = jumlah rata-rata pelanggan yang datang per satuan waktu.

s = jumlah stasiun pelayanan yang ada dalam sistem antrian.

μ = jumlah rata-rata pelanggan dilayani per satuan waktu.

2.6 Antrian Gerbang Tol Pasteur

Menurut penelitian yang dilakukan I Made Aryantha Anthara [10], dari pengamatan dan pengolahan data yang dilakukan pukul 14.00-22.00, Gerbang Tol Pasteur memiliki jumlah rata-rata kedatangan kendaraan 1551 untit mobil setiap 1 jam. Gardu pelayanan yang aktif pada saat pengamatan adalah 8 gardu dengan tingkat pelayanan gardu dapat melayani 569 unit kendaraan setiap 1 jam.

Dengan menggunakan persamaan teori antrian berikut dapat diketahui tingkat intensitas fasilitas pelayanan dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$P = \frac{\lambda}{s\mu}$$

dimana :

λ = jumlah rata-rata pelanggan yang datang per satuan waktu.

s = jumlah stasiun pelayanan yang ada dalam sistem antrian.

μ = jumlah rata-rata pelanggan dilayani per satuan waktu.

Sehingga didapat hasil sebagai berikut :

$$P = \frac{1551}{8 * 569} = 0{,}3407 = 34{,}07\%$$

Dengan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa nilai P < 1 berdasarkan persamaan (4) dapat disimpulkan bahwa pada sistem antrian gerbang tol akan selalu terjadi antrian.

Waktu pelayanan gerbang tol pasteur dapat dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$WP = \frac{1}{\mu} \ldots\ldots (3)$$

dimana :

WP = Waktu Pelayanan

μ = jumlah rata-rata pelanggan dilayani per satuan waktu.

Sehingga didapat hasil sebagai berikut :

$$WP = \frac{1}{569} = 0{,}00175\ jam = 6{,}3\ detik$$

Dari angka tersebut dapat disimpulkan lama waktu 1 gardu pembayaran tol melayani 1 kendaraan adalah 6,3 detik.

2.7 Klasifikasi *Traffic*

Klasifikasi traffic merupakan penentuan apakah lalu lintas yang sedang diamati sedang mengalami kepadatan atau tidak. Kepadatan pada sebuah jalan berhubungan dengan volume kendaraan dan kecepatan kendaraan yang sedang diamati. Kepadatan dapat dicari menggunakan persamaan (2) sebagai berikut :

$$D = \frac{Q}{S} \ldots\ldots (2)$$

dimana :

Q = volume lalu lintas (kendaraan/jam)

D = kepadatan (kendaraan/jam)

S = kecepatan (kilometer/jam)

Dengan memisalkan panjang kendaraan mobil rata-rata seperti pada tabel 2.2, 1 mobil memiliki panjang sekitar 5 meter dan jarak kendaraan saat antri adalah 0,5 meter. Maka jarak total mobil ke-5 menuju loket pembayaran dalam antrian yang terdiri dari 5 mobil adalah :

$$4\ x\ 5\ +\ 4\ x\ 0{,}5\ =\ 22\ meter$$

Berdasarkan pengamatan video rekaman kamera pengawas gerbang tol, mobil ke-5 dalam antrian menuju loket pembayaran adalah 57 detik. Sehingga rata-rata kecepatan mobil dalam antrian adalah :

$$S = \frac{22\ meter}{57\ second} = 0{,}3\ m/s\ = 0{,}023\ km/jam$$

Sehingga kepadatan kendaraan dapat diperoleh dengan perhitungan berikut :

$$D = \frac{1551}{0{,}023} = 67434{,}7$$

Angka tersebut menyimpulkan bahwa apabila setiap satu loket pembayaran gerbang tol terdiri dari 1 mobil dilayani dan 5 mobil mengantri maka dapat dikatakan gerbang tol yang diamati tersebut sedang mengalami kepadatan.

2.8 Citra

Citra (*image*) adalah gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (*continue*) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam. [11]

Citra sebagai keluaran dari suatu sistem perekaman data dapat bersifat:

1. Optik berupa foto,
2. Analog berupa sinyal video seperti gambar pada monitor televisi,
3. digital yang dapat langsung disimpan pada suatu pita magnetik.

Citra dibagi menjadi dua jenis, yaitu citra diam (statis) dan citra bergerak (dinamis). Citra diam adalah citra tunggal yang tidak bergerak sedangkan citra bergerak adalah serangkaian citra diam yang ditampilkan secara beruntun (sekuensial) sehingga memberi kesan pada mata kita sebagai gambar yang bergerak. Setiap citra di dalam rangkaian itu disebut frame. Gambar-gambar yang tampak pada film layar lebar atau televisi pada hakikatnya terdiri atas ratusan sampai ribuan frame.

2.9 Citra Digital

Agar dapat diolah dengan dengan komputer digital, maka suatu citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai-nilai diskrit. Representasi citra dari fungsi malar (kontinu) menjadi nilai-nilai diskrit disebut digitalisasi . Citra yang dihasilkan inilah yang disebut citra digital (digital image). Pada umumnya citra digital berbentuk persegi panjang, dan dimensi ukurannya dinyatakan sebagai tinggi x lebar.

Citra digital yang tingginya N, lebarnya M, dan memiliki L derajat keabuan dapat dianggap sebagai fungsi:

$$f(x, y)\begin{cases}0 \le x \le M \\ 0 \le y \le N \\ 0 \le f \le L\end{cases}$$

Gambar 2.5 Fungsi Citra Digital

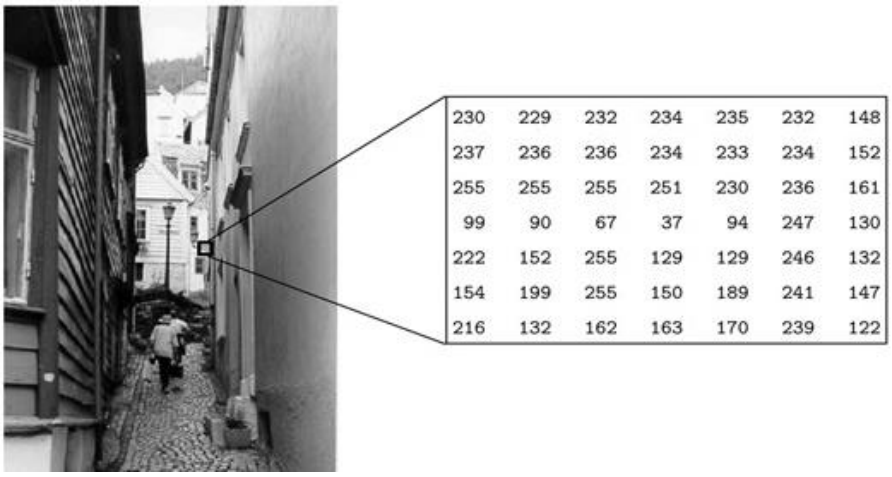
Citra digital yang berukuran N x M lazim dinyatakan dengan matriks yang berukuran N baris dan M kolom sebagai berikut:

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

Gambar 2.6 Nilai Pixel Citra Digital

Indeks baris (i) dan indeks kolom (j) menyatakan suatu koordinat titik pada citra, sedangkan f(i, j) merupakan intensitas (derajat keabuan) pada titik (i, j).

Masing-masing elemen pada citra digital (elemen matriks) disebut *image element*, *picture element* atau *pixel* atau pel. Jadi, citra yang berukuran N x M mempunyai NM buah *pixel*. Sebagai contoh, misalkan sebuah berukuran 7x7 *pixel* dan direpresentasikan secara numerik dengan matriks yang terdiri dari 7 buah baris (di-indeks dari 0 sampai 6) dan 7 buah kolom (di-indeks dari 0 sampai 7) seperti contoh berikut:



Gambar 2.7 Nilai *Pixel* Citra Digital

Nilai pixel pertama pada koordinat (0,0) mempunyai nilai intensitas 230 yang berarti warna pixel tersebut merupakan perpaduan warna antara hitam dan putih, dan seterusnya.

Citra atau gambar terbagi dalam 3 tipe sebagai berikut [12] :

1. Citra *Gray Scale*

   Citra terdiri dari satu layer warna dengan derajat keabuan tertentu. Dinyatakan dalam suatu fungsi :

$$f(x,y)\sum[0..255]$$

2. Citra Biner

   Citra yang hanya memiliki dua nilai yaitu 1 dan 0. Dinyatakan dalam suatu fungsi :

$$f(x,y)\sum[0,1]$$

3. Citra Berwarna

   Citra yang terdiri dari tiga layer warna yaitu RGB (*Red-Green-Blue*) dimana R-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna merah, G-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna hijau, dan B-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna biru. Representasi dalam citra digital dinyatakan dalam persamaan :

$$f_R(x,y)\sum[0..255]$$

$$f_G(x,y)\sum[0..255]$$

$$f_B(x,y)\sum[0..255]$$

   Proses pengolahan citra digital dengan menggunakan komputer digital adalah terlebih dahulu mentransformasikan citra ke dalam bentuk besaran-besaran diskrit dari nilai tingkat keabuan pada titik-titik elemen citra. Bentuk citra ini disebut citra digital. Elemen-elemen citra digital apabila ditampilkan dalam

layar monitor akan menempati sebuah ruang yang disebut dengan piksel (*picture element/pixel*).

2.10 Computer Vision

Computer Vision berkaitan dengan pengolahan citra (image processing). pengolahan citra adalah pengolahan suatu citra dengan menggunakan komputer kusus, untuk menghasilkan suatu citra yang lain. Sedangkan *Computer Vision* dapat didefinisikan setara dengan pengertian pengolahan citra yang dikaitkan dengan akuisisi citra, pemrosesan, klasifikasi, pengakuan, dan pencakupan keseluruhan, pengembalian keputusan yang diikuti dengan pengidentifikasian citra. [13]

Computer Vision adalah suatu pembelajaran menganalisa gambar dan video untuk memperoleh hasil sebagaimana yang bisa dilakukan manusia. Pada hakikatnya, Computer vision mencoba meniru cara kerja sistem visual manusia (Human Vision). Manusia melihat objek dengan indera penglihaan (mata), lalu citra objek diteruskan ke otak untuk diinterpretasi sehingga manusia mengerti objek apa yang tampak dalam pandangan matanya. Hasil interpretasi ini mungkin digunakan untuk pengambilan keputusan. [14]

2.11 Real-Time Object Detection

Object detection atau deteksi objek adalah teknologi komputer yang berkaitan dengan *computer vision* dan pengolahan citra. Deteksi objek secara real-time maksudnya adalah mendeteksi objek dengan input sebuah video atau dalam kata lain mendeteksi objek pada sekumpulan gambar secara sekuensial.

2.12 Ekstraksi *Frame* Video

Video sebenarnya merupakan kumpulan dari gambar-gambar yang begitu banyak. Gambar-gambar tersebut disebut frame. Umumnya, 1 detik durasi video terdapat 25 - 30 frame, sehingga hal ini menyebabkan seolah-olah frame-frame tersebut bergerak.

Proses ekstraksi frame video merupakan proses untuk memisahkan gambar pada setiap frame video. Jumlah frame pada setiap video dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Jumlah\ Frame = Frame\ rate * Duration \quad (6)$$

dimana :

Frame rate merupakan jumlah frame tiap detik (frame/second atau f/s)

Duration merupakan durasi video dengan satuan detik (second atau s)

Hasil ekstraksi ini nantinya akan digunakan untuk melakukan deteksi objek secara real-time.

2.13 Background Subtraction

Background pada pembahasan ini merupakan sejumlah piksel-piksel gambar yang diam dan tidak bergerak didepan kamera. Model *background* yang paling sederhana mengasumsikan bahwa seluruh kecerahan piksel *background* berubah-ubah secara bebas, tergantung pada distribusi normalnya. Karakteristik *background* dapat dihitung dengan mengakumulasi beberapa jumlah *frame* sehingga akan menemukan jumlah nilai-nilai piksel dalam lokasi s(x,y) dan jumlah *square-square* sq(x,y) yang memiliki nilai untuk setiap lokasi piksel. Sedangkan *foreground* adalah semua objek yang ada selain background dan biasanya foreground ini ada setelah didapatkannya *background*.

Output dari *background subtraction* biasanya adalah inputan yang akan diproses pada tingkat yang lebih lanjut lagi seperti men-tracking objek yang teridentifikasi. Kualitas *background subtraction* umumnya tergantung pada teknik pemodelan *background* yang digunakan untuk mengambil *background* dari suatu layar kamera. *Background subtraction* biasanya digunakan pada teknik segmentasi objek yang dikehendaki dari suatu layar, dan sering diaplikasikan untuk sistem pengawasan.

Tujuan dari *background subtraction* itu sendiri adalah untuk menghasilkan urutan *frame* dari kamera dan mendeteksi seluruh objek *foreground*. Suatu deskripsi pendekatan yang telah ada tentang *background subtraction* adalah mendeteksi

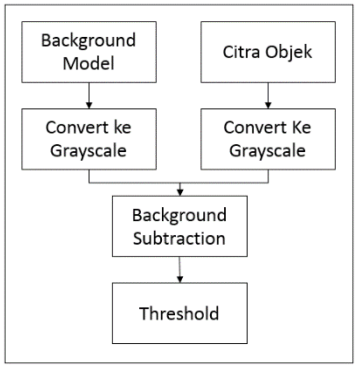
objek-objek *foreground* sebagai perbedaan yang ada antara frame sekarang dan gambar *background* dari layar statik. Suatu piksel dikatakan sebagai *foreground* jika:

$$|frame_i - background| > Treshold$$

Pendekatan ini sangat sensitif terhadap *threshold*, sehingga *threshold* dapat digunakan untuk mengatur sensifitas suatu kamera dalam menangkap gambar.

2.13.1 Tahapan Proses *Background Subtraction*

Background subtraction memiliki beberapa tahap sebelum dapat mendeteksi objek, tahap-tahap dari metode ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2.8 Proses *Background Subtraction*

1. *Background Model*

   Background model merupakan citra latar atau *background* dari sebuah gambar yang ingin dideteksi. Contohnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Contoh Citra *Background*

2. Citra Objek

Citra objek merupakan citra yang didalamnya terdapat objek yang hendak dideteksi. Contoh citra objek adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10 Contoh Citra Objek

3. Convert Grayscale

Citra *grayscale* adalah citra yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pixelnya, dengan kata lain nilai bagian *Red = Green = Blue*. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna dari hitam, keabuan dan putih. Tingkat keabuan di sini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih. [12]

Pengubahan dari citra berwarna ke bentuk *grayscale* mengikuti aturan sebagai berikut :

$$Y = (0{,}229 * R) + (0{,}587 * G) + (0{,}114 * B) \dots\dots(7)$$

dimana :

Y = derajat keabuan
R = nilai pixel channel *Red*
G = nilai pixel channel *Green*
B = nilai pixel channel *Blue*

Contoh gambar hasil *grayscale* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 Citra Hasil Konversi Grayscale

4. *Background Subtraction*

Background subtraction adalah tahap pengurangan setiap nilai piksel citra current frame dengan setiap nilai piksel citra *background*, untuk mendapatkan *foreground* sebagai objek yang dideteksi. Proses pengurangan citra dilakukansecara absolut dimana perbedaan setiap *pixel* dari kedua citra akan diperolehdan selalu bernilai positif. Karena teknik ini akan melihat perbedaan untuksetiap pixel di dalam citra, sehingga kedua citra harus memiliki tipe data danukuran yang sama. *Background subtraction* dapa dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z_{(x,y)} = \left|B_{(x,y)} - C_{(x,y)}\right| \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

dimana :

Z = nilai piksel *absolute*

B = nilai piksel *background*

C = nilai piksel *curent frame*

(x,y) = koordinat nilai piksel pada matriks

5. *Threshold*

Threshold merupakan teknik yang sederhana dan efektif untuk segmentasi citra. Proses *thresholding* sering disebut dengan proses binerisasi.Pada beberapa aplikasi pengolahan citra, terlebih dahulu dilakukan thresholdterhadap citra gray level untuk dapat menjadi citra biner (citra yang memiliki nilai level

keabuan 0 atau 255). Untuk menentukan nilai *threshold* dari tiap nilai matriks citra dapat menggunakan persamaan berikut :

$$g(x,y) = \{bernilai\ 1\ jika\ f(x,y) \geq\ T\}$$

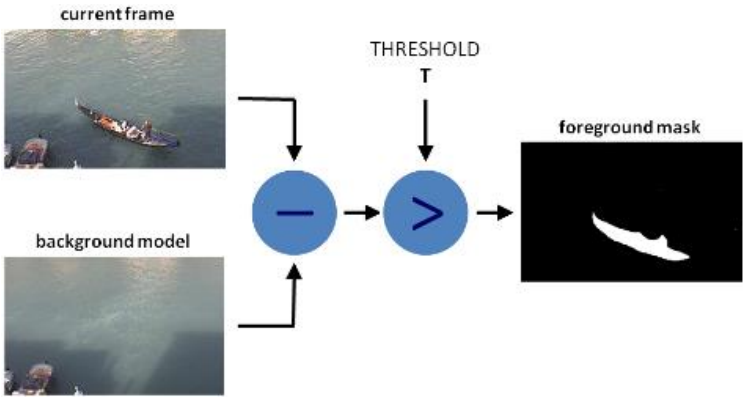
$$g(x,y) = \{bernilai\ 0\ jika\ f(x,y) < T\} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

dimana :

g(x,y) = nilai matrix citra hasil *thresholding*.

f(x,y) = merupakan nilai matrix citra yang akan di-threshold.

T = merupakan nilai threshold (0 – 255)



Gambar 2.12 Ilustrasi *Background Subtraction*

2.14 UML (Unified Modelling Language)

Pemodelan digunakan dalam proses untuk merancang perangkat lunak sebelum melakukan pengkodean (*coding*), hal ini bertujuan untuk mempermudah langkah selanjutnya dalam membangun perangkat lunak agar lebih terencana dan penggunaan sumber daya dapat digunakan secara efektif dan efisien.

Unified Modelling Language (UML) merupakan sebuah cara untuk memodelkan sistem yang hendak dibuat, UML menurut Fowler [15] adalah keluarga notasi grafis yang didukung oleh meta-model tunggal, yang membantu pendeskripsian dan desain sistem perangkat lunak, khususnya sistem yang dibangun menggunakan program berorientasi objek. UML telah menjadi sebuah bahasa standar dalam industri untuk memvisualisasi, merancang dan

mendokumentasikan sistem perangkat lunak. UML dapat digunakan untuk memodelkan berbagai jenis perangkat lunak, baik yang berjalan pada perangkat keras, sistem operasi, jaringan komputer maupun pada bahasa pemrograman. Namun konsep UML yang menggunakan *class* dalam konsep dasarnya, UML lebih cocok untuk menggambarkan perangkat lunak dalam bahasa pemrograman yang berorientasikan objek seperti C++, Java, C# dan VB.NET. namun walau demikian UML tetap dapat digunakan dalam aplikasi yang prosedural spserti C, Delphi atau VB.

2.14.1 Diagram UML

Dalam pemodelan UML terdiri dari beberapa jenis diagram, diantaranya : Use Case Diagram, Activity Diagram, Sequence Diagram, dan Class Diagram.

2.14.1.1 Use Case Diagram

Use case diagram merupakan permodelan untuk menggambarkan kelakuan (*behavior*) sistem yang akan dibangun. *Use case* mendeskripsikan sebuah interaksi antara satu atau lebih aktor dengan sistem yang akan dibangun. *use case* digunakan untuk mengetahui fungsi apa saja yang ada didalam sebuah sistem dan siapa saja yang berhak menggunakan fungsi-fungsi tersebut.

Syarat penamaan pada *use case* adalah nama didefinisikan sesimpel mungkindan dapat dipahami. Ada dua hal utama pada *use case* yaitu aktor dan *use case.*

1. Aktor merupakan orang, proses atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem yang akan dibangun.
2. *Use case* merupakan fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling bertukar pesan antarunit atau aktor.

2.14.1.2 Activity Diagram

Activity diagram adalah teknik untuk menggambarkan logika prosedural, proses bisis dan jalur kerja. Dalam beberapa hal, *activity diagram* memainkan peran yang mirip dengan sebuah diagram alir, namun memiliki perbedaan prinsip dengan notasi diagram ali karena *activity diagram* mendukung *behaviour paralel*. [15]

Activity diagram merupakan *state diagram* khusus, di mana sebagian besar *state* adalah *action* dan sebagian besar transisi di-*trigger* oleh selesainya *state* sebelumnya (*internal processing*). Oleh karena itu, *activity diagram* tidak menggambarkan *behaviour internal* sebuah sistem secara pasti, tetapi lebih menggambarkan proses-proses dan jalur-jalur aktivitas dari level atas secara umum.

2.14.1.3 Sequence Diagram

Sequence diagram menggambarkan interaksi antar objek di dalam dan di sekitar sistem berupa pesan yang digambarkan terhadap waktu. *Sequence diagram* terdiri atar dimensi vertikal (waktu) dan dimensi horizontal (objek-objek yang terkait). *Sequence diagram* biasa digunakan untuk menggambarkan skenario atau rangkaian langkah-langkah yang dilakukan sebagai respon dari sebuah kejadian untuk menghasilkan output tertentu. Diawali dari apa yang men-*trigger* aktivitas tersebut, proses dan perubahan apa saja yang terjadi secara internal dan output apa yang dihasilkan.

Masing-masing objek, termasuk aktor, memiliki *lifeline* vertikal. *Message* digambarkan sebagai garis berpanah dari satu objek ke objek lainnya. Pada fase desain berikutnya, *message* akan dipetakan menjadi metoda dari *class*. *Activation bar* menunjukkan lamanya eksekusi sebuah proses, biasanya diawali dengan diterimanya sebuah *message*.

Untuk objek-objek yang memiliki sifat khusus, standar UML mendefinisikan simbol khusus untuk *objek boundary*, *controller* dan *persistent entity*.

2.14.1.4 Class Diagram

Class Diagram merupakan sebuah diagram yang mendeskripsikan jenis-jenis objek dalam sistem dan berbagai macam hubungan statis yang terdapat diantara mereka. *Class diagram* juga menunjukkan properti dan operai dari sebuah *class*dan batasan-batasan yang terdapat dalam hubungan-hubungan objek tersebut [15]. Sebuah *class* dari *Class diagram* memiliki struktur sebagai berikut:

1. Nama kelas/*stereotype.*
2. Atribut, berupa variabel-variabel yang dimiliki oleh suatu *class.*
3. *Method*, berupa fungsi-fungsi yang terdapat di dalam *class*.

Class diagram menggambarkan struktur sistem dari segi pendefinisian *class* yang akan dibuat untuk sistem. *Class diagram* meiliki tiga *relationships*, yaitu:

1. *Association*

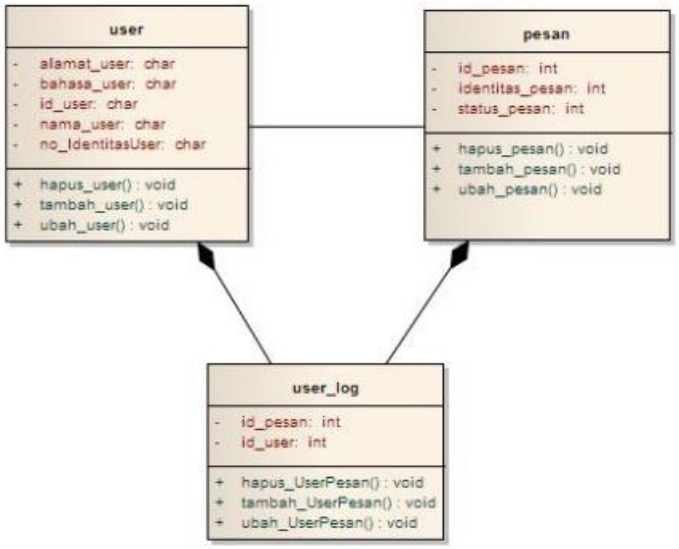
   Assocciation adalah hubungan antara bagian dari dua kelas. Terjadi *association* antara dua kelas jika salah satu bagian dari kelas mengetahui yang lainnya dalam melakukan suatu kegiatan. Di dalam diagram sebuah *association* adalah penghubung yang menghubungkan dua kelas.

2. *Aggregation*

   Aggregation adalah hubungan antara dua bagian kelas atau lebih dimana salah satu kelasnya merupakan bagian dari suatu kumpulan. *Aggregation* memiliki titik pusat yang mencakup keseluruhan bagian.

3. *Generalization*

   Generalization adalah hubungan turunan dengan mengasumsikan satu kelas merupakan suatu *super class* dari kelas lainnya. *Generalization* memiliki tingkatan yang berpusat pada *super class*



Gambar 2.13 Contoh Class Diagram

2.15 Perangkat Lunak Pendukung

2.15.1 Netbean IDE

IDE Netbeans merupakan perangkat lunak yang sering digunakan oleh pengembang aplikasi untuk pemrograman, kompilasi, mencari kesalahan, dan menjalankan aplikasi yang telah dibuat. [16]

Pada dasarnya IDE Netbeans dibangun menggunakan bahasa Java, namun untuk membuat aplikasi yang digunakan, baik untuk aplikasi komputer maupun *mobile version*, IDE Netbeans mendukung bahasa pemrograman lainnya.
Beberapa bahasa yang didukung oleh NetBeans IDE ini terdiri dari Java, C/C++, PHP, XML, HTML, Javadoc, Javascript, JSP, dan masih banyak lagi. Selain itu, pengguna dapat memasang *plugin*, maupun modul yang bisa didapatkan di komunitas untuk mendukung bahasa lain agar dapat dijalankan di NetBeans IDE ini. NetBeans IDE terbaru telah memasuki versi 8.0, dan telah mendukung Java 8. Selain itu, IDE ini bisa berjalan di sistem operasi Windows, Mac OS, dan Linux 32/64 bit. Untuk mengunduh NetBeans IDE ini pengguna dapat langsung mengunjungi halaman resmi NetBeans yang nantinya akan diberikan pilihan paket

unduhan NetBeans IDE yang terdiri dari paket JAVA SE, JAVA EE, C/C++, HTML5 & PHP, atau paket keseluruhan.

2.15.2 Bahasa Pemrograman Java

Bahasa Pemrograman Java dibuat pada tahun 1995 di Sun Microsystems. Java merupakan bahasa berorientasi objek yang serbaguna. Kode Java dikompilasi dalam format yang disebut *bytecode*. *Bytecode* dapat dijalankan di smua komputer yang telah dilengkapi dengan program Java Interpreter dan Java Virtual Machine. Java sangat populer karena pada masa awal internet menjadi populer Java telah menyediakan sarana untuk membuat program (disebut applet) yang berjalan pada *Web browser*. Bahasa ini mendukung koneksi ke database, menyediakan sarana untuk membuat aplikasi berbasis windows dan juga dapat dipakai untuk pemroraman jaringan.

2.15.3 Xuggler

Xuggler [19] merupakan library open-source untuk pengembangan pemrograman java yang dapat digunakakn untuk uncompress, memanipulasi dan kompresi video hasil rekaman atau video yang direkam langsung secara real time.