

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pemodelan dalam simulasi lalu lintas menggunakan Vissim kerap sering digunakan dikarenakan vissim dapat secara realistis mensimulasikan dalam keadaan sesuai asli yang terjadi pada lapangan. Dalam mensimulasikan perencanaan jalur sepeda kampus kita akan dapat melihat kondisi asli sebelum adanya jalur sepeda kampus dan kondisi dimana telah diterapkan jalur sepeda kampus di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

2.2.1. Penelitian Terdahulu

Fan *et al* (2013), melakukan penelitian mengenai simulasi menggunakan VISSIM dan *Surrogate Safety Assessment Model* (SSAM) untuk mengestimasi konflik lalu lintas yang terjadi pada area jalan bebas hambatan dengan menggabungkan area. Konflik yang dihasilkan pada simulasi VISSIM dan kemudian diidentifikasi SSAM, pendekatan dalam perbandingan ini diukur dari lapangan yang menggunakan teknik konflik lalu lintas secara tradisional. Dari penelitian ini untuk mengidentifikasi konsistensi apakah antara simulasi dan konflik lalu lintas yang diukur di lapangan dapat ditingkatkan dengan mengkalibrasi pada simulasi VISSIM dan menyesuaikannya pada prosedur SSAM. Prosedur yang diusulkan ialah dengan mengkalibrasi dan memvalidasi model simulasi pada VISSIM. Hasil dari transferabilitas model pada simulasi ditemukan bahwa prosedur kalibrasi dalam dua tahap ini mengurangi rata-rata mencegah kesalahan yang mutlak untuk konflik total dari 78,1% menjadi 33,4%.

Muchlisin *et al* (2017), melakukan studi penelitian mengenai analisis biaya kemacetan pada simpang condongcatur, Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini dianalisis melalui pemodelan menggunakan PTV. Vissim dan pendekatan hasil Tzedzakis, 1998. Analisis dari biaya kemacetan ini berdasarkan dari hasil running program PTV. Vissim yaitu panjang antrian, waktu tundaan dan nilai dari kinerja simpang tersebut. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata keterlambatan adalah 103,72 detik, panjang antrian rata-rata adalah 49,38 meter dan LOS adalah F yaitu

sangat buruk. Biaya kemacetan dihitung dengan menentukan Biaya Operasional Kendaraan (BOK). Oleh karena itu total biaya kemacetan adalah Rp. 5.663.790. -/ jam.

Liu *et al* (2016), melakukan studi penelitian mengenai pengaruh kecelakaan lalu lintas di terowongan jalan raya yang panjang dengan menganalisa dari simulasi lalu lintas. Pada daerah penelitian Provinsi Jiangxi adalah provinsi dengan medan selatan khas yang hampir dua pertiga darinya ditutupi oleh pegunungan, perbukitan, dan area berbatu. Terowongan merupakan jalan bebas hambatan yang menentukan integritas dan pengendalian jalan bebas hambatan. Banyak faktor tidak pasti ada dalam operasi kendaraan di terowongan, yang meningkatkan kemungkinan terjadinya berbagai kecelakaan dan dapat membawa risiko besar dan konsekuensi kecelakaan parah. Disamping akibat kecelakaan agak sulit, menyebabkan dampak yang cukup besar pada lalu lintas di terowongan. Berdasarkan pada situasi aktual, sangat penting untuk mempelajari keselamatan lalu lintas di terowongan maka dari itu pemodelan yang dibuat yaitu menggunakan Vissim, Vissim dapat menyediakan tiga jenis model tindak lanjut dan menyesuaikan parameter dasar perilaku mengemudi untuk mencapai pengembangan sekunder dari perangkat lunak dan dapat secara realistis mensimulasikan lingkungan mengemudi di terowongan jalan raya yang panjang dengan ukuran rasio mobil, volume lalu lintas, kecepatan, perlambatan untuk memberi jalan.

Pamusti *et al* (2017), mengevaluasi kinerja simpang jalan Jakarta – jalan Supratman dengan menggunakan metode MKJI 1997 dan software PTV Vissim. Analisis pada eksisting dilakukan menggunakan metode MKJI 1997 menghasilkan nilai derajat kejenuhan pada jalan Ahmad Yani sebesar 0,898 sehingga volume lalu lintas mendekati arus kapasitas jalan yang tidak stabil, untuk panjang antrian dan nilai tundaan simpang rata-rata sebesar 84,69% detik/smp. Analisis menggunakan *software* PTV Vissim menghasilkan antrian yang paling panjang dengan maksimal 182,97 meter pada lengan simpang Jalan Ahmad Yani dan menghasilkan nilai tundaan rata-rata sebesar 82,96%. Dengan adanya analisis ini maka dari itu diperlukan penanganan pada simpang tersebut agar kinerja simpang tersebut dapat berfungsi secara optimal.

Garcia *et al* (2013), melakukan studi penelitian perubahan dalam prevalensi mahasiswa yang bersepeda dikampus pada saat sebelum dan sesudah implementasi program sepeda kampus dan promosi penggunaannya. Data yang diambil melalui penyebaran kuisioner, penelitian dilakukan selama 8 bulan dalam studi *cross sectional* dengan sampel yaitu mahasiswa sarjana yang baru memasuki awal semester baru. Hasil menunjukkan peningkatan yang signifikan perubahan perilaku penggunaan sepeda kampus 14,6 % dan setelah 8 bulan peserta yang menggunakan sepeda kampus 19%. Dengan ini peneliti menyarankan pada universitas untuk lebih meningkatkan prasarana dan sarana sepeda kampus agar mendorong para mahasiswa untuk menggunakan fasilitas sepeda kampus yang disediakan oleh pihak kampus.

Tiyarattanachai *et al* (2016), melakukan studi dalam perbandingan mengenai universitas yang berpartisipasi dalam menerapkan *Green Campus* dan *Non-Green Campus* yang mempengaruhi persepsi dalam kualitas hidup civitas di dalamnya. Sistem penilaian yang dilakukan berdasarkan indikator yang tertera pada program UI (Universitas Indonesia) *GreenMetric World University* yang telah dipartisipasikan oleh banyak universitas di dunia. Salah satu program yang mempengaruhi dalam keberhasilan penilaian *Green Campus* adalah bagian dari sistem transportasi yang menjadi peran penting pada tingkat emisi karbon dan polutan di universitas. Indikator yang dipusatkan pada penilaian sistem transportasi adalah mendorong para civitas kampus menghindari penggunaan kendaraan pribadi dan beralih menggunakan sepeda dan berjalan kaki di sekitar kampus. Hasilnya menunjukkan universitas yang menerapkan *Green Campus* yang diteliti lebih puas dan memiliki kualitas hidup yang dipersepsikan secara signifikan lebih baik dibandingkan universitas *Non-Green Campus*.

Kajian yang dapat diterapkan bahwa dalam mensimulasikan arus lalu lintas menggunakan program PTV *Vissim 10 student version*, kita akan dengan mudah menganalisa permasalahan yang terjadi. Karena hasil dari simulasi menggunakan *Vissim* itu menunjukkan perilaku berkendara yang sebenarnya di lapangan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Software Vissim

Menurut PTV-AG (2017), VISSIM adalah perangkat lunak multi-moda lalu lintas aliran mikroskopis simulasi pola lalu lintas dengan tepat. Transportasi pribadi kendaraan bermotor, angkutan barang, angkutan umum terkait kereta dan jalan sebagai perangkat lunak terkemuka dunia untuk simulasi lalu lintas.

Aghabayk *et al.* (2013) menjelaskan bahwa model simulasi lalu lintas terbagi menjadi dua kategori yaitu simulasi mikroskopik atau mikrosimulasi. PTV Vissim menampilkan semua pengguna jalan dan interaksinya dalam satu model. Model gerak suara yang ilmiah memberikan pemodelan yang realistis dari semua pengguna jalan. Perangkat lunak ini menawarkan fleksibilitas dalam beberapa hal konsep tautan dan konektor memungkinkan pengguna untuk memodelkan geometri dengan tingkat kompleksitas apa pun. Atribut untuk karakteristik pengemudi dan kendaraan memungkinkan parameterisasi individu. Selain itu, sejumlah besar antarmuka menyediakan integrasi tanpa batas dengan sistem lain untuk pengontrol sinyal, manajemen lalu lintas, atau model emisi.

PTV Vissim dilengkapi dengan opsi analisis yang komprehensif, menciptakan alat yang kuat untuk evaluasi dan perencanaan infrastruktur transportasi perkotaan dan ekstra-perkotaan. Misalnya, perangkat lunak simulasi dapat digunakan untuk membuat hasil komputasi terperinci atau animasi 3D yang mengesankan untuk berbagai skenario. Ini adalah cara sempurna untuk menyajikan langkah-langkah infrastruktur yang meyakinkan dan komprehensif yang direncanakan kepada para pembuat keputusan dan publik.

2.2.2. Fungsi Software Vissim

Menurut Adiarso (2011) Vissim dapat diterapkan sebagai alat yang berguna dalam berbagai pengaturan masalah transportasi, pada daftar berikut ini merupakan gambaran dari aplikasi Vissim:

- a. Pengembangan, evaluasi dan pengaturan dari prioritas sinyal transit
- b. Vissim dapat digunakan pada berbagai tipe pengaturan sinyal. Selain pengontrolan control sinyal, fungsi pengaturan waktu juga ada untuk mengidentifikasi pengaturan sinyal kendaraan yang terdapat dipaket program untuk penerapan dilapangan. Pada Vissim beberapa dari program tersebut

sudah ada, beberapa program dapat digunakan didalam Vissim dengan melalui beberapa tambahan data dan beberapa lainnya dapat disimulasikan melalui pusat pengaturan sinyal eksternal negara (VAP) yang memungkinkan desain pengaturan sinyal yang dapat ditetapkan oleh si pengguna. Jadi hampir setiap pengaturan sinyal (SCATS, SCOOT, dll) dapat dimodelkan dan disimulasikan menggunakan Vissim.

- c. Vissim digunakan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi operasi lalu lintas yang dikombinasikan dengan koordinat jaringan dan pengaturan sinyal aktual.
- d. Vissim digunakan untuk mengevaluasi kelayakan dan dampak dari suatu kota kecil terhadap jaringan jalan perkotaan
- e. Vissim dapat digunakan untuk analisa kecepatan pada suatu area dan area yang digabungkan untuk dapat dianalisa
- f. Vissim memungkinkan untuk melakukan perbandingan dari alternatif desain termasuk sinyal dan pengaturan sinyal stop di persimpangan, *roundabouts* dan persimpangan bertingkat
- g. Analisa dari kapasitas operasi pada daerah kompleks stasiun untuk kereta ringan dan sistem bus dapat dianalisa dengan Vissim
- h. Solusi cara pengaturan pencegahan untuk permasalahan angkutan bus (contoh: *queue jumps, curb external, bus lane*) dapat dievaluasi di Vissim
- i. Dengan penerapan model *Dynamic Assignment*, Vissim dapat menjawab pertanyaan tentang pemilihan rute berdasarkan syarat dampak dari pesan variabel atau potensi pengalihan lalu lintas dari sebuah lingkungan kecil ke peningkatan jaringan menjadi kota berukuran menengah.

2.2.3. Interface Vissim

Vissim digunakan untuk menganalisis jaringan – jaringan dari segala jenis ukuran jarak persimpangan individual hingga keseluruhan daerah metropolitan. Dalam jaringan-jaringan transportasi berikut, Vissim mampu memodelkan semua klasifikasi fungsi jalan mulai dari jalan raya lintas untuk sepeda motor hingga jalan raya untuk mobil. Jangkauan aplikasi jaringan Vissim yang luas juga meliputi fasilitas-fasilitas transportasi umum, sepeda, hingga pedestrian. Selain itu Vissim juga bisa dapat mensimulasikan geometrik dan kondisi operasional

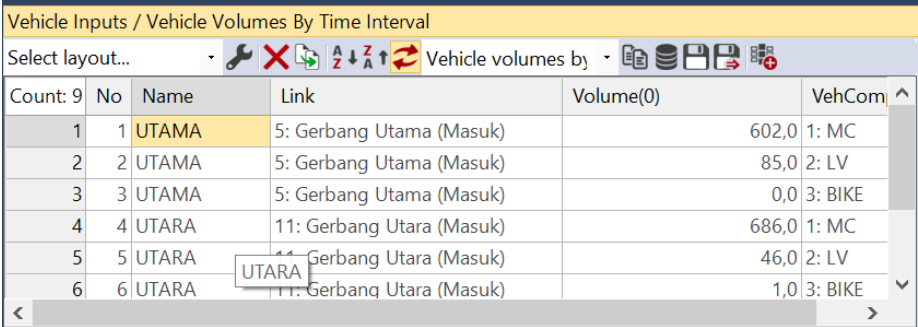
yang unik yang terdapat dalam sistem transportasi. Data-data yang ingin dimasukkan untuk dianalisis dilakukan sesuai keinginan pengguna, sehingga dapat menggambarkan kondisi asli pada wilayah yang akan di analisis. Perhitungan-perhitungan keefektifan yang beragam bisa dimasukkan pada *software* Vissim. Pada umumnya antara lain tundaan, kecepatan, antrean, waktu tempuh. Karena ada beberapa jenis evaluasi yang bisa kita dapatkan dari program Vissim ini sendiri.

Data dan parameter yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi lalu lintas adalah sebagai berikut:

1. *Base Data* untuk Simulasi Lalu Lintas

Kondisi lalu lintas yang saling terkait dan mempengaruhi satu sama lain, menyebabkan suatu keharusan untuk menyediakan variabilitas tersebut dalam *software* Vissim, dalam Vissim hal ini menjadikan penyatuan beberapa parameter dalam menggunakan distribusi stokastik. Dalam penelitian ini, parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

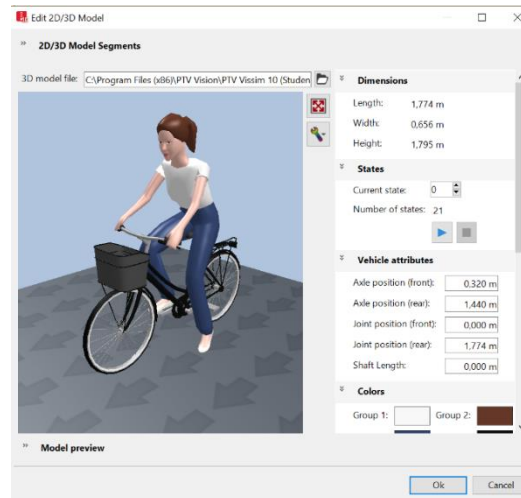
a. *Vehicle Input*, memasukkan jumlah arus lalu lintas atau volume kendaraan (kend/jam) sesuai dengan hasil survei di lapangan.



Count	No	Name	Link	Volume(0)	VehCom
1	1	UTAMA	5: Gerbang Utama (Masuk)	602,0	1: MC
2	2	UTAMA	5: Gerbang Utama (Masuk)	85,0	2: LV
3	3	UTAMA	5: Gerbang Utama (Masuk)	0,0	3: BIKE
4	4	UTARA	11: Gerbang Utara (Masuk)	686,0	1: MC
5	5	UTARA	11: Gerbang Utara (Masuk)	46,0	2: LV
6	6	UTARA	11: Gerbang Utara (Masuk)	1,0	3: BIKE

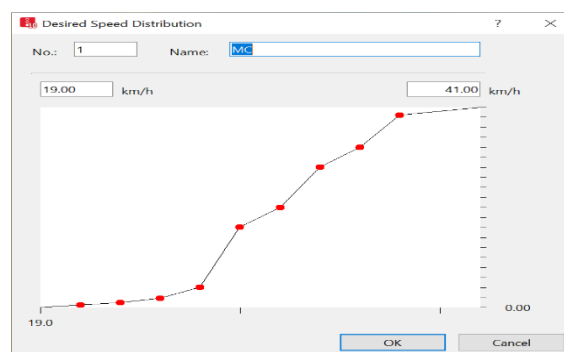
Gambar 2. 1 Tampilan menu pada *Vehicle Input Vissim 10 Student Version*

b. 2D/3D Model, pemilihan model-model kendaraan yang ingin dimasukkan dalam simulasi akan ada beberapa contoh jenis objek yang dapat kita tampilkan juga, seperti pertokoan, gedung, trotoar. Contoh tampilan 2D/3D Model dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Tampilan menu pada 2D/3D Model pada Vissim

- c. *Vehicle Composition*, pengaturan seberapa besar persentase tiap-tiap jenis kendaraan terhadap arus lalu lintas yang ada.
- d. *Desired Speed Distribution*, untuk semua jenis kendaraan berupa kecepatan kendaraan yang merupakan parameter penting karena mempunyai pengaruh yang signifikan pada kapasitas jalan raya dan kecepatan perjalanan yang dapat diraih. Jika tidak dihalangi oleh kendaraan lain, maka kendaraan yang dapat melakukan perjalanan pada *desired speed* nya sesuai dengan yang diatur oleh pengguna. Semakin banyak jenis kendaraan yang mempunyai *desired speed* yang berbeda dimana akan semakin banyak peleton kendaraan yang tercipta.



Gambar 2. 3 Tampilan menu *Desired Speed Distribution* pada Vissim

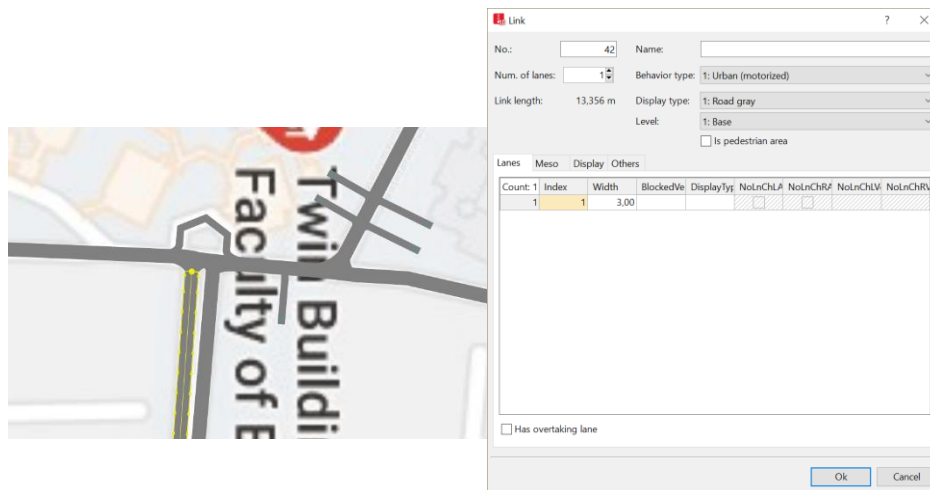
- e. *Driving Behavior* adalah parameter yang secara langsung mempengaruhi interaksi antar kendaraan sehingga bisa menyebabkan perbedaan yang substansial pada hasil simulasi lalu lintas. *Driving Behavior* dihubungkan

pada tiap lajur oleh jenis prilakunya. Untuk setiap kelas kendaraan, *driving behavior* yang berbeda dapat diterapkan bahkan dalam lajur yang sama. Penentuan *driving behavior* untuk tiap *Links* (lajur), bisa dilihat pada Gambar berikut ini, beserta parameter-parameter yang dapat disesuaikan.

2. Traffic Network

Elemen dasar dari jaringan lalu lintas dalam Vissim adalah sebuah penghubung atau *links* yang mempresentasikan satu atau lebih segmen lajur jalan dengan arah arus yang spesifik. Sebuah jaringan bisa dibuat dengan menghubungkan antar *links* dengan *connectors* yang diperbolehkan untuk melanjutkan lalu lintas.

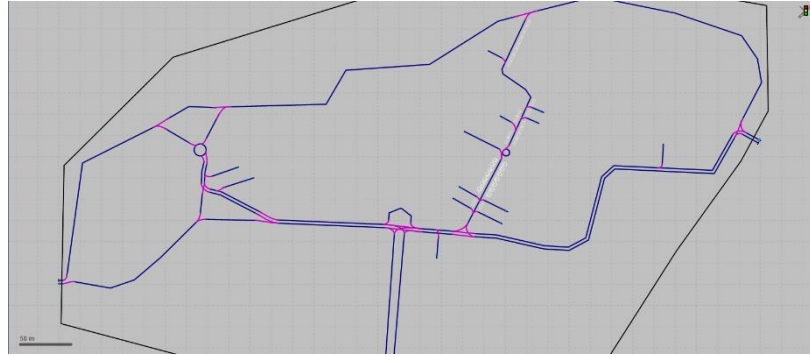
- a. *Link* merupakan input geometrik jaringan jalan, seperti lebar jalan dan jumlah lajur. Kemudian kita juga bisa menentukan kendaraan jenis apa saja yang bisa dilewati oleh jaringan jalan tersebut. Tampilan menu *Link* pada Vissim disajikan pada Gambar 2. 4. Gambar menunjukkan menu *link*, dimana pada saat sudah selesai membuat *link* dan ingin merubah data terkait *link* tersebut, bisa dilakukan dengan meng-klik kanan pada *link* berupa nomor *link*, nama *link*, panjang *link* dan perilaku berkendara pada links tersebut.



Gambar 2. 4 Tampilan menu untuk mengatur *Link* pada Vissim

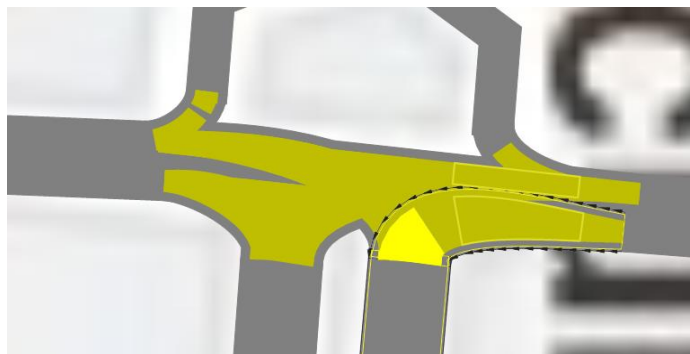
- b. *Connectors* merupakan input geometrik jalan yang mempunyai fungsi menghubungkan antar *link*. Tampilan menu connectors pada VISSIM, dapat dilihat pada Gambar dibawah ini. Pada menu tersebut dapat

dilakukan pengaturan terhadap beberapa data penting pada connectors, antara lain perilaku pengemudi, permukaan connectors, lajur-lajur yang dihubungkan, titik pada lajur yang dihubungkan, perubahan jalur dan lain-lain. Keterangan pada gambar dibawah ini adalah connectors adalah garis yang berwarna merah jambu.



Gambar 2. 5 Tampilan connectors pada Vissim

- c. *Background and scaling*, pengaturan *background* pada simulasi yaitu dengan mengambil gambar lokasi penelitian melalui *Google Earth*, kemudian diinput pada *software VISSIM*.
- d. *Conflict Areas* merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan pada *software VISSIM* untuk mengatur prioritas dalam hal menentukan prioritas kendaraan dari arah manakah yang akan melaju terlebih dahulu di persimpangan. Prinsip dari *conflict areas* ini dapat didefinisikan jika ada dua *link* atau *connector* (penghubung) pada suatu jaringan di *software VISSIM* mengalami *overlap* atau tumpang tindih.



Gambar 2. 6 Tampilan menu pada *Vehicle Input Vissim*

Warna kuning merupakan *define area* pada *conflict areas* masih pasif sedangkan pada *define state* terdapat beberapa warna seperti hijau yang berarti *main road* yang menyatakan arus kendaraan dari arah

tersebut yang didahulukan. Warna merah adalah *minor road* yang menyatakan arus kendaraan dari arah tersebut harus mengalah. Jika kedua arah dari *define state* berwarna merah, maka kemungkinan konflik tersebut adalah *branching conflict* dimana kendaraan pada posisi diam kemudian saling melihat kendaraan arah lainnya.

- e. *Reduce Speed Areas* merupakan area perlambatan yang dialami oleh kendaraan. Area ini biasanya terletak di mulut pendekat atau pertemuan antara *link* dan *connector*.
- f. *Priority Rules* digunakan untuk melakukan pengaturan titik dimana kendaraan harus menunggu sampai kendaraan dari ruas lain sudah tidak ada. *Priority Rules* biasanya digunakan dalam permodelan yang tidak menggunakan sinyal lalu lintas.
- g. *Pavement Markings* digunakan untuk membuat tanda pada jalan yaitu marka jalan seperti *zebracross* ataupun arah di persimpangannya.
- h. *Static 3D Models* merupakan untuk memasukkan objek 3D yang bertujuan untuk memperindah tampilan seperti gedung, pohon, tanaman dan lain-lain.

3. *Parking Lots*

Parking Lots merupakan menu untuk membuat lajur parkir di badan jalan dengan mengatur posisi, ukuran SRP (Satuan Ruang Parkir) masing-masing kendaraan dan kapasitas yang dapat ditampung. Pada menu ini juga dapat diatur jenis kendaraan yang parkir pada suatu parking lots dan komposisi persentase kendaraan yang parkir dari keseluruhan volume lalu lintas.

4. *Evaluation*

Menurut PTV Group (2018), untuk penjelasan parameter yang dihasilkan setelah pemodelan dapat disimpulkan berikut ini:

- a. *Simulation Run* yaitu total dari pemodelan yang dijalankan
- b. *Time interval* yaitu interval waktu data yang diperoleh
- c. *Movement* yaitu pergerakan dari beberapa link, contohnya konektor parallel
- d. *Queue Length* yaitu panjang antrian rata-rata per satuan waktu
- e. *Queue length max* yaitu panjang antrian maksimum per satuan waktu

- f. *Vehicles* yaitu jumlah kendaraan yang termodelkan
- g. *Persons (all)* yaitu jumlah total pengguna kendaraan
- h. *Level of Service Value (LoSV)* yaitu tingkat kualitas persimpangan yang diberikan nilai dari A sampai F
- i. *Vehicle Delay (all)* yaitu rata-rata tundaan semua kendaraan. Tundaan terjadi ketika kendaraan meninggalkan pengukuran waktu perjalanan
- j. *Person Delay (all)* yaitu rata-rata tundaan pengguna kendaraan .

2.2.4. Kalibrasi dan Validasi data.

Kalibrasi adalah proses dimana komponen model simulasi disesuaikan kembali sehingga model simulasi dapat secara akurat mewakili atau mendekati dengan yang akan diamati. Validasi adalah perbandingan parameter yang diperoleh dari lapangan terhadap hasil simulasi dengan menggunakan Vissim. Menurut Irawan dan Putri, (2014) proses kalibrasi dilakukan secara trial and error dengan mempertimbangkan perilaku pengemudi yang agresif sehingga menyerupai kondisi di Indonesia dapat dilihat proses dari kalibrasi pada PTV Vissim dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Kalibrasi *driving behavior* pada PTV. Vissim
(Irawan dan Putri, 2014)

Kalibrasi ke	Parameter yang diubah	Sebelum	Sesudah
1	a. <i>Desired position at free flow</i> (lajur yang diinginkan oleh pengemudi saat kondisi arus bebas)	Middle of lane (lajur tengah)	Any (dimanapun)
	b. <i>Overtake on same lane; on left and on right</i> (dapat menyiap dari lajur manapun)	off	On
2	(lanjut dari <i>trial</i> ke-1)		
	a. <i>Distance standing in</i> meter (Jarak antar kendaraan saat berhenti)	1 meter	20 centimeter
	b. <i>Additive part of safety distance</i> (koefisien penambah jarak aman)	1 meter	0,4 meter
3	(lanjut dari <i>trial</i> ke-2)		
	a. <i>Average standstill distance</i> (jarak antar kendaraan berurutan saat	2 meter	1 meter

	berhenti di simpang)	2 meter	1 meter
	b. <i>Additive part of safety distance</i> (koefisien penambah jarak aman)		
	c. <i>Multiplicative part of safety distance</i> (koefisien pengali jarak aman)	3	2
4	(lanjut dari <i>trial</i> ke-3)		
	a. <i>Average standstill distance</i> (jarak antar kendaraan berurutan saat berhenti di simpang)	1 meter	0,5 meter
	b. <i>Additive part of safety distance</i> (koefisien penambah jarak aman)	1 meter	0,5 meter
	c. <i>Multiplicative part of safety distance</i> (koefisien pengali jarak aman)	2	1
5	lanjut dari <i>trial</i> ke-4)		
	a. <i>Average standstill distance</i> (jarak antar kendaraan berurutan saat berhenti di simpang)	0,5 meter	0,55 meter
	b. <i>Additive part of safety distance</i> (koefisien penambah jarak aman)	0,5 meter	0,55 meter
	c. <i>Multiplicative part of safety distance</i> (koefisien pengali jarak aman)	1	1
6	lanjut dari <i>trial</i> ke-5)		
	a. <i>Average standstill distance</i> (jarak antar kendaraan berurutan saat berhenti di simpang)	0,5 meter	0,6 meter
	b. <i>Additive part of safety distance</i> (koefisien penambah jarak aman)	0,5 meter	0,6 meter
	c. <i>Multiplicative part of safety distance</i> (koefisien pengali jarak aman)	1	1

2.2.5. Green Campus

Kampus hijau merupakan kampus yang peduli dan berbudaya lingkungan yang melakukan pengelolaan lingkungan secara sistematis dan berkesinambungan dengan melibatkan seluruh civitas akademika yang berada di dalam lingkungan kampus. Menurut Artisna (2018) *Green Campus* merupakan salah satu upaya dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan sehingga dapat diterapkan

dalam mengatasi lingkungan. *Green Campus* dapat didefinisikan sebagai kampus berwawasan lingkungan yang mengintegrasikan pengetahuan lingkungan dan tata nilai lingkungan ke dalam misi dan programnya dan disalurkan kepada kebijakan, manajemen dan kegiatan tridharma perguruan tinggi (Puspadi, 2016). Iskandar (2004) dalam pengelolaan *Green Campus* berwawasan lingkungan dilakukan melalui penerapan prinsip ekologi yang terintegrasi dimana zona tersebut dirancang untuk kepentingan lingkungan, sosial ekonomi dan budaya seluruh civitas akademika. Tiyyarattanachai (2016) berpendapat bahwa green campus lebih mengutamakan sistem transportasi yang mengutamakan para pejalan kaki dan pengguna sepeda.

2.2.6. Konsep Transportasi Berkelanjutan

Transportasi berkelanjutan didefinisikan sebagai suatu sistem transportasi yang penggunaan bahan bakar, emisi kendaraan, tingkat keamanan, serta akses sosial dan ekonominya tidak menimbulkan dampak negatif yang tidak dapat diantisipasi oleh generasi yang akan datang (Brotodewo, 2010). Transportasi berkelanjutan merupakan bagian dari konsep pembangunan yang berkelanjutan dalam sektor transportasi. Ada beberapa faktor pemicu sehingga perlu adanya strategi transportasi berkelanjutan dalam pembangunan sistem transportasi, yaitu:

- a. Pertumbuhan yang meningkat pesat dalam era ekonomi global lebih banyak menuntut pelayanan transportasi yang lebih beragam baik dalam kualitas maupun kuantitas
- b. Kurangnya kajian mengenai transportasi yang komprehensif
- c. Sejauh ini kebijakan pemerintah masih berfokus pada pengembangan jaringan jalan untuk pengguna kendaraan pribadi
- d. Menurunnya kualitas lingkungan sehingga dapat memperburuk keadaan lingkungan sekitar.

Bila dikaitkan dengan pengertian pembangunan berkelanjutan, konsep transportasi berkelanjutan pada dasarnya merupakan pengembangan secara berkelanjutan yang tidak menimbulkan kerugian pada generasi yang akan datang. *Organization Of Economic Transportation and National Round Table On The*

Environment And The Economy (OECD, 1996 dan NRTEE, 1996) mendefinisikan transportasi berkelanjutan dalam tiga aspek, yaitu:

- a. Lingkungan, transportasi yang tidak membahayakan kesehatan publik dan ekosistem serta menyediakan sarana mobilitas dengan memanfaatkan sumber daya yang dapat diperbaharui atau dengan kata lain transportasi yang tidak menimbulkan polusi air, udara, dan tanah serta menghindari penggunaan sumber daya yang berlebihan
- b. Ekonomi, transportasi yang dapat menjamin pemenuhan biaya transportasi yang melalui pembebanan ongkos yang layak bagi masyarakat pengguna sarana transportasi dan dapat mewujudkan keadilan dalam sistem transportasi
- c. Sosial, transportasi yang dapat meminimalisasi tingkat kebisingan, kecelakaan, waktu tempuh kerugian akibat kemacetan, dan dapat meningkatkan keadilan sosial dan tingkat kesehatan dalam komunitas (transportasi yang dapat mendukung terwujudnya lingkungan sosial yang sehat, komunitas yang layak untuk didiami dan kaya akan modal sosial)

(*The Centre for Sustainable Transportation*, 2002) menjelaskan bahwa sistem transportasi berkelanjutan merupakan transportasi yang memaksimalkan kebutuhan akses dasar baik individu maupun masyarakat dapat terpenuhi secara aman, nyaman, konsisten terhadap kesehatan manusia dan ekosistem lingkungan. Transportasi dapat beroperasi secara efisien, terjangkau dan menawarkan pilihan dalam penggunaan moda transportasi yang dapat mendukung pertumbuhan ekonomi dan lingkungan sekitar serta dapat meminimalisir penggunaan sumber daya tak terbarukan dan serta mencari solusi agar emisi dan limbahnya mampu diserap bumi agar terciptanya lingkungan yang lebih nyaman.

2.2.7. Jalur Sepeda

Jalur sepeda (*bicycle lane*) adalah lajur yang khusus diperuntukkan untuk pengguna sepeda dan kendaraan tidak bermesin bertenaga manusia. Fasilitas ini biasanya satu arah sesuai dengan lalu lintas jalan utama. Jalur sepeda diadakan apabila ada potensi tinggi pada penggunaan sepeda, biasanya jalur sepeda disediakan pada daerah perkotaan, pinggiran perkotaan dan jalan desa yang dekat

dengan perkotaan. Bahu jalan dapat digunakan sebagai jalur sepeda dengan memasang rambu jalur sepeda, namun bahu jalan yang akan digunakan untuk jalur sepeda harus memenuhi kriteria.

Jalur sepeda bertujuan untuk memberikan jarak pandang yang bagus untuk memberikan jarak pandang yang bagus untuk pengendara sepeda dan sepeda motor agar memudahkan untuk memprediksi pergerakan mereka. Jalur sepeda memungkinkan pengendara sepeda untuk berkendara dengan kecepatan yang mereka inginkan, bahkan saat lalu lintas lambat ataupun cepat. Jalur sepeda juga memudahkan pengendara kendaraan lain melihat posisi mereka saat akan masuk atau keluar dari jalan. Jalur sepeda tidak dimaksudkan untuk dapat mengakomodasi semua pengguna sepeda, karena jalur sepeda harus mengikuti jalur lalu lintas.

Menurut Rahmawati (2014) dalam perencanaan jalur sepeda juga ada beberapa kriteria dalam memberi fasilitas yang sesuai bagi pengguna sepeda yang harus dipenuhi untuk mendukung perencanaan jalur sepeda dan mendorong masyarakat untuk dapat menggunakan jalur sepeda tersebut yaitu:

- a. Penyediaan fasilitas sepeda memiliki peran yang sangat vital dalam keinginan bersepeda, sehingga untuk meningkatkan jumlah penggunaan bersepeda sebagai alat transportasi sehari-hari, perlu disediakan fasilitas sepeda yang menjamin keamanan, keselamatan dan kenyamanan dalam bersepeda.
- b. Fasilitas sepeda juga berupa jaringan jalur sepeda dan fasilitas pendukung lainnya seperti parkir sepeda dan rambu sepeda.

Jalur sepeda harus mampu mengakomodasi seluruh kalangan usia dengan kemampuan bersepeda yang berbeda, sehingga harus tersedia jalur sepeda yang aman serta mampu meminimalkan terjadinya konflik ruang. Salah satu caranya dengan memberi pembatas antara jalur sepeda dengan jalur kendaraan bermotor, serta jaringan yang bersambung. Fasilitas sepeda yang aman dan nyaman harus didukung dengan adanya pengawasan serta sanksi yang tegas bagi pelanggar. Selain itu, juga perlu adanya sosialisasi/ kampanye bersepeda guna meningkatkan kesadaran pentingnya bersepeda dan juga meningkatkan etika berkendara baik bagi pesepeda maupun pengguna kendaraan bermotor.

2.2.8. Jenis Jalur Sepeda

Jalur sepeda harus dapat didesain seefektif mungkin agar dapat mengakses semua tujuan dengan aman dan bebas hambatan. Pemilihan untuk jalur transportasi pengendara sepeda perlu diperhatikan agar menghindari terjadinya kecelakaan. Setiap jalur transportasi dapat digunakan bagi pengguna sepeda kecuali dilarang secara khusus yang ditunjukkan oleh rambu lalu lintas. Berdasarkan *AASHTO Guide for the Planning, Design, and Operation of Bicycle Facilities (2010)* Jenis pada jalur sepeda dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Jalur sepeda pada jalan 2 jalur

Dalam kebanyakan kasus, jalur sepeda harus disediakan di kedua sisi jalan dua arah. Jalur sepeda yang hanya menyediakan di satu sisi jalan dapat mengundang penggunaan yang salah. Pengecualian dapat dilakukan di jalan dengan kemiringan yang cukup tinggi. Di jalan yang menurun kecepatan sepeda akan sama dengan kecepatan penggunaan sepeda motor, maka jalur untuk jalanan menurun ditempatkan simbol jalur sepeda di jalur utama untuk berbagi pengguna jalan dengan kendaraan yang lainnya.

b. Jalur sepeda pada jalan 1 jalur

Dalam kasus ini biasanya jalur sepeda berada disebelah kanan jalan raya, jalur sepeda dapat diletakkan disebelah kiri apabila banyak pengguna sepeda yang ingin berbelok ke kiri atau jika sisi kiri terdapat jalan turunan dan menimbulkan rasa tidak aman. Jalur sepeda disediakan di setiap lajur untuk memenuhi kebutuhan pengendara sepeda apabila ingin ke arah yang berlawanan dari lalu lintas, apabila keadaan tidak bisa memenuhi kebutuhan jalur sepeda maka perlu diadakan jalur sepeda bersama dimana satu jalur sepeda diperuntukkan menjadi 2 arah pada 1 jalur. Pada jalur sepeda yang berlawanan arah maka akan dipisahkan dengan garis ganda berwarna kuning agar para pengguna jalan lainnya mengetahui bahwa jalur tersebut untuk pengguna sepeda yang berlawanan arah dengan lalu lintas jalan raya.

Sedangkan ada 3 jenis jalur sepeda yang tertuang dalam (Direktorat Jendral Bina Marga, 1992).

- a. Lajur sepeda (*Bike Path*) adalah lajur terpisah dari jalan raya dan biasanya dipadukan dengan fasilitas pejalan kaki. Bersinggungan dengan jalan raya biasanya membuat jalur sepeda harus memotong jalan atau simpang. Lajur ini memberikan pelayanan terbaik karena aman bagi penggunaanya, lajur sepeda seperti ini sudah banyak diterapkan di negara maju baik itu di lingkungan perkotaan maupun dalam lingkungan kampus, tapi penerapan konsep lajur sepeda jenis ini harus memiliki lahan yang lebih luas untuk memenuhi kriteria dan faktor pendukung lainnya.



Gambar 2.4 Jalan lajur sepeda *bike path*

- b. Lajur sepeda (*Bike Line*) yaitu lajur sepeda yang terletak pada badan jalan dan ditandai dengan marka sebagai pembatas antara jalan milik pengendara sepeda motor dan jalan milik sepeda. Biasanya jalan ini dibuat searah dengan dengan arus lajur kendaraan bermotor, meski bisa didesain juga untuk berlaku dua arah pada salah satu sisi jalan. Lajur sepeda jenis ini dipisahkan dengan garis tak terputus pada ruas jalan dan dipisahkan dengan garis terputuh pada area mendekati simpang, yang mengindikasikan bahwa pengguna kendaraan sepeda dan sepeda motor mungkin akan saling berpindah lajur untuk berbelok.



Gambar 2.5 Jalan lajur sepeda *bike line*

- c. Lajur sepeda (*Bike Route*) adalah jalan yang digunakan dan didesain bersamaan dengan lajur sepeda motor tanpa pembatas marka jalan, biasanya jalan sepeda seperti ini di rancang pada arus lalu lintas yang lebih sedikit agar tidak terjadinya kecelakaan antara pengguna sepeda dan sepeda motor. Desain seperti ini sesuai untuk lajur dengan kecepatan kurang dari 40 km/jam dengan volume kendaraan kurang dari 3000 kendaraan perhari.

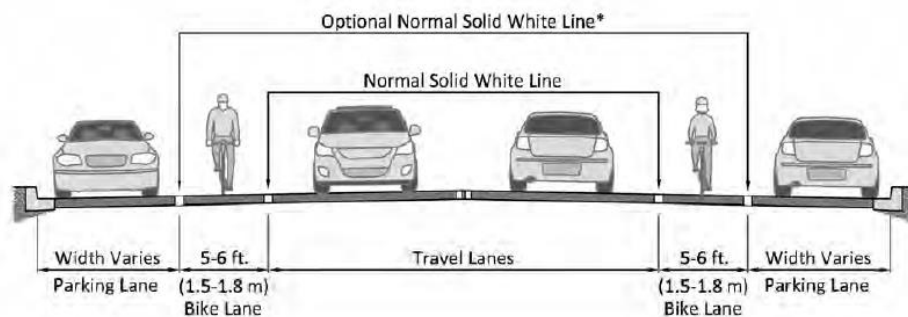


Gambar 2.6 Jalan lajur sepeda *bike route*

2.2.9. Lebar Jalur Sepeda

Lebar jalur sepeda dipengaruhi oleh kecepatan, volume, dan tipe dari kendaraan yang akan lewat pada jalur tersebut sehingga dapat diperkirakan ruang pemisah yang baik agar tidak terjadinya kecelakaan. Secara umum lebar jalur sepeda sebesar 1,5 meter, dimana lebar tersebut sangat direkomendasikan. Jalur sepeda yang lebih lebar diberikan apabila memenuhi ketentuan dibawah ini:

- a. Berdekatan dengan jalur parkir, maka jalur sepeda yang dibutuhkan yaitu sebesar 1,8 – 2,1 meter untuk memberikan ruang para pesepeda dari jangkauan bukaan pintu mobil.



Gambar 2. 7 Lebar jalur sepeda secara umum

- b. Di area dengan penggunaan sepeda yang tinggi maka jalur sepeda dibuat selebar 1,8 – 2,4 meter, diperuntukkan agar para pesepeda dapat berkendara bersebelahan tanpa meninggalkan garis.
- c. Di jalan raya yang memiliki kecepatan tinggi dalam berkendara atau dimana jalan tersebut sering dilewati kendaraan berat, maka diperlukan jalur sepeda yang lebar dan juga pemisah antara pengguna motor dan sepeda.

Dimana lebar jalur sepeda melebihi standar (1,5 meter) maka diperlukan rambu agar tidak disalahgunakan untuk parkir motor ataupun mobil. Untuk jalan raya yang tidak memiliki selokan atau pinggiran jalan maka minimum lebar jalur sepeda sebesar 1,2 meter.

2.2.10. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang kendaraan bermotor diukur dalam gram per kendaraan per km dari suatu perjalanan dan terkait dengan beberapa faktor seperti tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperatur ketinggian. Kendaraan dengan usia dan jenis bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kadar emisi yang berbeda (Muziansyah et al, 2015). Adapun komposisi emisi gas buang adalah sebagai berikut:

1. CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas yang tak berwarna dan tidak beraroma maka dari itu lingkungan yang telah tercemar oleh gas CO tidak dapat dilihat oleh mata. Karbon monoksida secara praktis diproduksi oleh proses yang diduga berasal dari asap kendaraan bermotor, gas ini terjadi bila bahan bakar atau unsur C tidak mendapatkan ikatan yang cukup dengan senyawa O₂ artinya udara yang masuk ke ruang silinder kurang atau suplai bahan bakar berlebihan. Pengaruh karbon monoksida (CO) terhadap tubuh manusia ternyata tidak sama untuk manusia satu dan manusia lainnya, daya tahan tubuh manusia ikut serta dalam menoleransikan tubuh terhadap pengaruh adanya karbon monoksida.

2. NO (Nitrogen Oksida)

Gas nitrogen oksida ada 2 macam, yaitu gas nitrogen monoksida (NO) dan gas nitrogen dioksida (NO₂). Udara yang telah tercemar oleh gas nitrogen oksida tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan saja, namun juga berbahaya bagi tanaman. Pengaruh gas NO_x pada tanaman antara lain adanya bintik yang terjadi pada permukaan daun dengan kondisi gas yang lebih tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan daun.

Nitrogen dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Reaksi NO₂ terbentuk dari NO dan O₂ yang akan terjadi dalam jumlah yang relatif sangat kecil. Kecepatan reaksi ini sangat dipengaruhi oleh keadaan suhu dan konsentrasi NO. Sedangkan Nitrogen monoksida (NO) tidak berwarna, tidak berbau, tidak terbakar, dan sedikit larut dalam air. Kendaraan bermotor memproduksi nitrogen oksida dalam bentuk NO sebanyak 98%. Diudara NO akan membentuk dan menjadi NO₂. NO₂ adalah gas yang toksik bagi manusia, efek yang terjadi tergantung pada dosis dan lamanya paparan yang diterima oleh seseorang (Rosianasari, 2016).

3. HC (Hidro Karbon)

Hidrokarbon adalah pencemaran udara yang berupa gas, cairan maupun padatan. Sumber buatan utama hidrokarbon ditimbulkan dari asap kendaraan bermotor. hidrokarbon total yang ada di dalam atmosfer menunjukkan korelasi yang positif dengan kepadatan lalu-lintas. Kondisi mesin yang kurang baik akan menghasilkan hidrokarbon di udara dengan jumlah yang tinggi, namun pada siang hari akan menurun kemudian pada sore hari kadar hidrokarbon akan meningkat lagi dan menurun pada malam hari.

4. CO₂ (Karbon dioksida)

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak beraroma, gas ini terjadi dari pembakaran yang sempurna antara bahan bakar dan oksigen. Gas karbondioksida ini berasal dari pembakaran hutan, industri, pesawat terbang, kapal dan mesin –mesin seperti motor, mobil dan kereta api. Hasil pembakaran tersebut itulah yang akan meningkatkan kadar CO₂, sehingga udara menjadi tercemar. Apabila kadar CO₂ diudara terus mengalami peningkatan dan tidak segera diubah oleh tumbuhan menjadi oksigen, maka

dapat menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca yang efeknya akan meningkatkan pemanasan global suhu bumi (global warming). Hal tersebut terjadi karena sebagian sinar matahari yang masuk kedalam bumi dipantulkan kembali ke keluar angkasa karena tertahan adanya rumah kaca.

5. SO₂ (Oksida Belerang)

Oksida Belerang merupakan gas beracun dengan bau menyengat berasal dari pemrosesan kegiatan industri, transportasi dan lain sebagainya. Senyawa ini juga dikenal sebagai gas yang tidak memiliki warna, bersifat iritan kuat bagi kulit dan selaput lendir. Senyawa ini mudah diserap oleh selaput lendir pada saluran pernapasan. Selain mempengaruhi kesehatan, pengaruh SO₂ terhadap hewan sangat menyerupai pengaruh pada tumbuhan terutama pada tampak daun yang menjadi putih atau terjadi nekrosis yaitu daun yang hijau dapat menjadi kuning ataupun bercak-bercak putih.

6. PM₁₀ (Particulate Matter)

Particulate matter adalah debu partikulat yang terutama dihasilkan dari emisi gas buangan kendaraan. Sekitar 50% - 60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10 um. Debu PM₁₀ ini sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga PM₁₀ dikategorikan sebagai Respirable Particulate Matter (RPM). Akibatnya akan mengganggu sistem pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (alveoli). Pada alveoli terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau sistem jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10 um akan menyebabkan iritasi pada mata.

2.2.11. Faktor-faktor yang mempengaruhi Emisi Gas Buang

Faktor-faktor yang menyebabkan pencemaran udara yang berasal dari transportasi antara lain:

a. Jumlah kendaraan

Meningkatnya penggunaan jumlah kendaraan bermotor yang pesat mengakibatkan kebutuhana akan pemakaian bahan bakar minyak juga semakin meningkat khususnya bahan bakar bensin dan solar. Maka dari itu penggunaan bahan bakar yang banyak akan meningkatkan hasil emisi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor tersebut. Bertambahnya volume lalu

lintas membuat bertambahnya juga emisi polusi udara sehingga dapat menurunkan kualitas udara.

b. Umur kendaraan

Pembatasan usia pada kendaraan dapat mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas dan emisi gas buang. Kemacetan yang terjadi akan memperbesar emisi gas CO karena pembakaran yang tidak sempurna didalam mesin kendaraan bermotor. semakin tua umur mesin kendaraan bermotor maka komponen mesin yang berperan penting dalam pembakaran telah banyak mengalami proses keausan selain itu banyak kotoran-kotoran yang menempel di saringan udara.

c. Perawatan kendaraan

Kadar gas yang berbahaya seperti CO dan NO_x pada gas buang kendaraan bermotor dapat di minimalisir dengan perawatan yang baik terhadap mesin kendaraan tersebut.

d. Kecepatan kendaraan

Pada arus lalu lintas yang konstan emisi yang ditimbulkan tidak sebanyak apabila terjadi kemacetan. Jika arus lalu lintas mendekati kapasitas dalam kondisi turbulen yaitu berhenti dan berjalan yang disebabkan dari kemacetan terjadi maka ini menyebabkan kenaikan emisi gas buang. Alinyemen jalan yang tidak diinginkan seperti tikungan tajam dan kelandaian jalan yang curam akan menaikkan kebisingan dan emisi gas buang.

e. Jenis bahan bakar

Dalam penggunaan bahan bakar, maupun bensin atau solar pengolahan dalam mesin itu sama hanya berbeda pada proporsi karena perbedaan cara masing-masing operasi pada mesin kendaraan tersebut.

f. Jumlah bahan bakar

Pada sektor transportasi sangat bergantung pada sumber energi yang tinggi dalam penggunaan bahan bakar minyak. Pola berkendara dengan peluang pada saat kendaraan berjalan atau berhenti yang umumnya terjadi di persimpangan, membutuhkan bahan bakar yang semakin besar bila dibandingkan dengan kendaraan yang melaju dengan kecepatan yang konstan.

g. Kapasitas mesin

Kapasitas mesin pada kendaraan dipengaruhi dalam konsumsi bahan bakar dikarenakan semakin besar kapasitas pada mesin kendaraan, semakin besar pula bahan bakar yang akan dibutuhkan kendaraan tersebut. Perbedaan pada kapasitas silinder juga dapat mempengaruhi konsentrasi emisi gas buang. Maka dari itu mesin kendaraan dengan kapasitas silinder yang lebih besar akan mengeluarkan emisi gas buang yang lebih besar