

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Urbanisasi

Merlin et. al. (2005: 910), menjelaskan bahwa terminologi urbanisasi memiliki dua makna yang berbeda, dimana dalam makna pertama yang paling digunakan, urbanisasi didefinisikan sebagai proses peningkatan dan pembangunan kota yang sering diikuti dengan proses perluasan ruang kota, dan dalam makna yang kedua didefinisikan sebagai proses peningkatan konsentrasi penduduk di kota-kota atau daerah perkotaan. Soetomo (2013) menjelaskan bahwa urbanisasi adalah suatu proses terbentuknya kehidupan perkotaan dan pengertiannya dapat dipahami melalui pengertian kota itu sendiri. Utarra et. al. (2012 : 1638) menjelaskan bahwa Urbanisasi mengacu pada peningkatan populasi secara umum dan jumlah meningkatnya jumlah pemukiman, ini melambangkan pergerakan orang dari pedesaan ke daerah perkotaan sehingga kepadatan di perkotaan semakin tinggi.

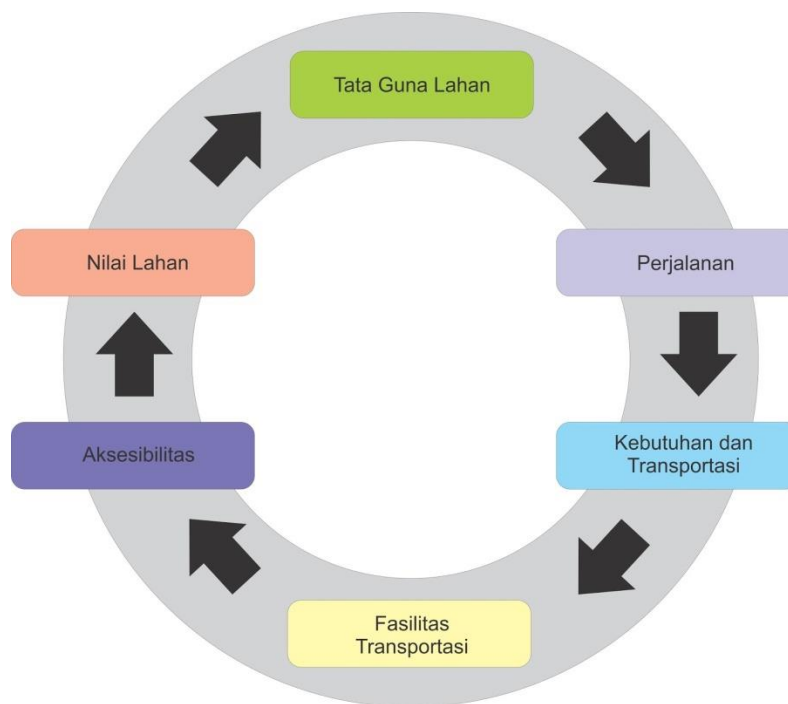
Seto dan Shepherd (2012) menjelaskan bahwa pada tahun 2050 yang akan datang, 70% dari populasi penduduk di dunia, sebesar 70% akan tinggal di perkotaan, dan lebih dari 50% lainnya adalah berada di Asia. UN (2014) mempertegas bahwa saat ini urbanisasi terus berlanjut dan pertumbuhan populasi dunia secara keseluruhan diproyeksikan akan bertambah 2,5 miliar orang ke populasi perkotaan pada tahun 2050, dan dari jumlah tersebut hampir 90 persen dari peningkatan terkonsentrasi di Asia dan Afrika. Sedangkan pada saat yang bersamaan proporsi populasi global yang tinggal di daerah perkotaan diperkirakan akan meningkat, mencapai 66% pada tahun 2050. Berdasarkan penjelasan diatas dapat diketahui bahwa perkembangan kota mengalami pertumbuhan yang signifikan sehingga perlu disampikan terkait bagaimana pengendalian

B. Tipologi Kota dan Transportasi

Handajani (2011 : 57) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pada daerah kepadatan penduduk rendah, penggunaan BBM per kapita makin tinggi, sebaliknya pada daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, penggunaan BBM per kapita semakin rendah. Jenis tata guna lahan di daerah perkotaan pada jam-jam tertentu menjadi tujuan dan asal gerakan transportasi dan arahnya akan berbalik pada jam-jam tertentu lain. Menurut Goro et. al. (2003) menjelaskan bahwa konsumsi BBM di daerah Perkotaan juga dipengaruhi oleh sistem dan pola jaringan jalan. Sementara sistem jaringan jalan atau titik kegiatan yang terpecah konsumsi BBM lebih tinggi, dapat dikatakan bahwa ada pengaruh yang erat antara jaringan jalan terhadap pola jaringan jalan dan konsumsi BBM.

Aktivitas pada suatu lahan merupakan kemampuan atau potensi untuk membangkitkan lalu lintas, maksudnya jika potensi tata guna lahan dari sepetak lahan yang memiliki aktivitas tertentu, akan membangkitkan sejumlah arus lalu lintas tertentu pula. Analisis tata guna lahan merupakan cara praktis untuk mempelajari aktivitas-aktivitas yang menyebabkan terjadinya pembangkitan perjalanan karena pola perjalanan (rute dan arus lalu lintas) dipengaruhi oleh jaringan transportasi dan tata guna lahan

Gambar 1 menjelaskan bagaimana aktivitas pada suatu tata guna lahan menjadikan potensi dalam bangkitan lalu lintas, maksudnya jika potensi tata guna lahan dari suatu lahan tertentu akan memiliki aktivitas tertentu, yang berarti akan membangkitkan sejumlah arus lalu lintas tertentu pula baik itu angkutan umum maupun kendaraan pribadi. Semakin tinggi tingkat aksesibilitas suatu guna lahan akan mempengaruhi nilai lahan tersebut. Semakin beragam tata guna lahan yang ada di suatu wilayah kota semakin tinggi interaksi, semakin rendah konsumsi BBM. Pada daerah yang semakin padat, jarak perjalanan lebih pendek atau dapat ditempuh dengan berjalan kaki dan tidak tergantung dengan motor.



Gambar 1. Siklus Tata Guna Lahan dan Transportasi
 Sumber: Khisty dan Lall, 2005

Dengan demikian, pengaruh tata guna lahan tidak hanya pada jenis dan intensitasnya tetapi juga kemampuan menjadi daya tarik dan daya dorong kegiatan lalu lintas sebagai wujud dari interaksi tata ruang sehingga menjadi daya bangkit lalu lintas. Sedangkan menurut Sutandi (2007), bahwa penelitian yang dilakukan di Bandung diketahui bahwa konsumsi BBM di ruas jalan daerah pusat kota (CBD) lebih tinggi bila dibandingkan konsumsi BBM di ruas jalan pada daerah perumahan.

Kecepatan adalah laju perjalanan, dinyatakan dalam kilometer per jam (km/jam). Menurut Rodrigue, J., P. (2004) dijelaskan bahwa kecepatan pada umumnya dibagi menjadi 3 (tiga) macam yaitu:

- a. Kecepatan setempat (*speed*) adalah kecepatan kendaraan pada suatu saat diukur dari suatu tempat yang ditentukan;

- b. Kecepatan bergerak (*running speed*) adalah kecepatan kendaraan rata-rata pada suatu jalur pada suatu saat kendaraan bergerak dan didapat dengan cara membagi panjang jalur dengan lama waktu kendaraan bergerak menempuh jalur tersebut.
- c. Kecepatan perjalanan (*journey speed*) adalah kecepatan efektif kendaraan dalam perjalanan antara dua tempat dibagi dengan lama waktu kendaraan menyelesaikan perjalanan antara dua tempat tersebut, dengan lama waktu ini mencakup setiap waktu berhenti yang ditimbulkan oleh hambatan / tundaan lalu lintas.

Dijelaskan juga bahwa konsumsi BBM semakin meningkat pada kecepatan rendah (10-20 km/jam). Pada kondisi lalu lintas terjadi kemacetan (0-5 km/jam atau berhenti), konsumsi BBM yang dibutuhkan paling banyak. Konsumsi BBM rendah apabila kendaraan berjalan antara 50-70 km/jam. Apabila kendaraan bergerak dengan kecepatan diatas 80 km/jam, maka konsumsi BBM menunjukkan peningkatan lagi.

Hal tersebut juga selaras dengan penelitian yang dilakukan Muhammad (2008), dan Sutandi (2007) yang menyatakan bahwa penggunaan BBM paling minimum pada kecepatan 60 km/jam. Adapaun rata-rata konsumsi BBM pada kecepatan konstan dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Konsumsi BBM rata-rata pada kecepatan konstan

Kecepatan (km/jam)	Konsumsi BBM (litr/100km)
10	22,22
20	21,74
30	15,63
40	8,93
50	8,62
60	7,35
70	7,35
90	10,9
120	11,3

Sumber: Sutandi Caroline. A. (2007)

Menurut Rodrigue (2004) bahwa rata-rata waktu perjalanan orang di beberapa benua baik itu USA, Eropa, Jepang, Asia lainnya dan Australia dimana Indonesia masuk di benua Asia memiliki waktu perjalanan rata-rata adalah 30 menit.

Menurut Prayudyanto (2008) model konsumsi BBM dalam fungsi digunakan estimasi nilai konsumsi BBM (mL) di dalam simulasi, interval (durasi – 1 detik).

$$\Delta F = \{\alpha + \beta_1 R_T v + (\beta_2 M v a^2 / 1000) \text{ if } R_T > 0 \dots (1)$$

$$\text{if } R_T \leq 0 \dots (2)$$

$$\Delta F = \alpha \Delta t$$

Catatan:

- RT = Total kuat tarik (KN)
- Mv = berat kendaraan (kg) termasuk penumpang dan beban lain
- V = Kecepatan (m/s) = v (km/h) /3.6
- a = Percepatan (M/S²), negatif untuk perlambatan
- α = konsumsi BBM konstan berhenti (mL/s)
- β₁ = parameter efisiensi, konsumsi BBM per unit (mL/kJ)
- β₂ = parameter efisiensi, konsumis BBM positif (mL/ (kJ.m/s²))

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan model dasar konsumsi BBM Model Konsumsi BBM lain yang juga melihat dari kecepatan, percepatan, dan perlambatan adalah dari Caroline (2007) :

$$F_a = (c_1 + c_2 a v) \dots (3)$$

Keterangan:

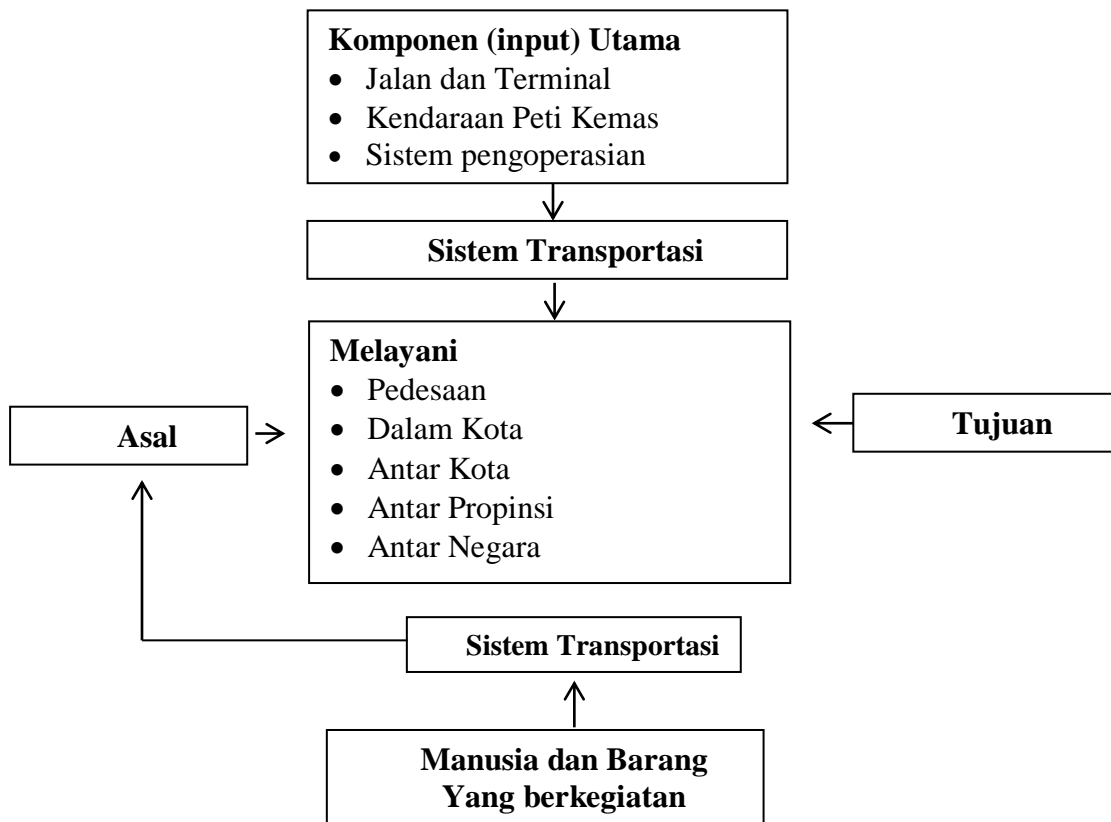
- c₁ dan c₂ konstan
- v adalah kecepatan kendaraan
- a adalah kecepatan kendaraan

C. Sistem Transportasi

Sistem transportasi menurut Miro (2012), dapat diartikan sebagai suatu kesatuan dari komponen yang saling mendukung dan bekerjasama dalam pengadaan pelayanan jasa transportasi yang melayani wilayah mulai dari tingkat lokal (desa sampai dan kota) sampai ke tingkat nasional dan internasional. Sedangkan menurut Menheim (1979), sistem transportasi dalam suatu lingkup kawasan tertentu, mulai dari yang sempit sampai luas, mempunyai hubungan yang erat dengan sistem kegiatan sosial ekonomi manusia. Bagan alir sistem transportasi dapat dijelaskan pada gambar 2. berikut.

Sistem transportasi dari waktu ke waktu juga mengalami perkembangan sejalan dengan perkembangan dan perubahan sistem kegiatan sosial ekonomi manusia. Dilain pihak, perubahan yang terjadi dalam sistem kegiatan sosial ekonomi manusia juga akan menuntut perubahan dalam sistem transportasi tersebut. Perkembangan dan perubahan pada pada kedua sistem tersebut tentu harus seimbang agar tidak timbul persoalan seperti hambatan mobilitas manusia, kemacetan, dan lain sebagainya.

Miro (2012) menjelaskan bahwa untuk menjaga keseimbangan antar sistem transportasi dan sistem kegiatan manusia dibutuhkan suatu sistem untuk mengaturnya. Sistem pengatur tersebut disebut dengan sistem kelembagaan. Dalam jangka pendek, pola pergerakan (arus/volume lalu lintas) dipengaruhi dan sangat ditentukan oleh sistem kegiatan sosial ekonomi masyarakat dan sistem transportasi yang melayaninya. Dengan kata lain, permintaan dan penawaran sistem transportasi mempengaruhi bentuk pola sistem lalu lintas. Dalam jangka panjang, sistem kegiatan dan kehidupan sosial ekonomi manusia (kebutuhan perjalanan) akan berubah sesuai dengan perubahan pola sistem pergerakan (lalu lintas).



Gambar 2. Bagan Alir Sitem Transportasi
Sumber: Miro (2012)

D. Perencanaan Transportasi

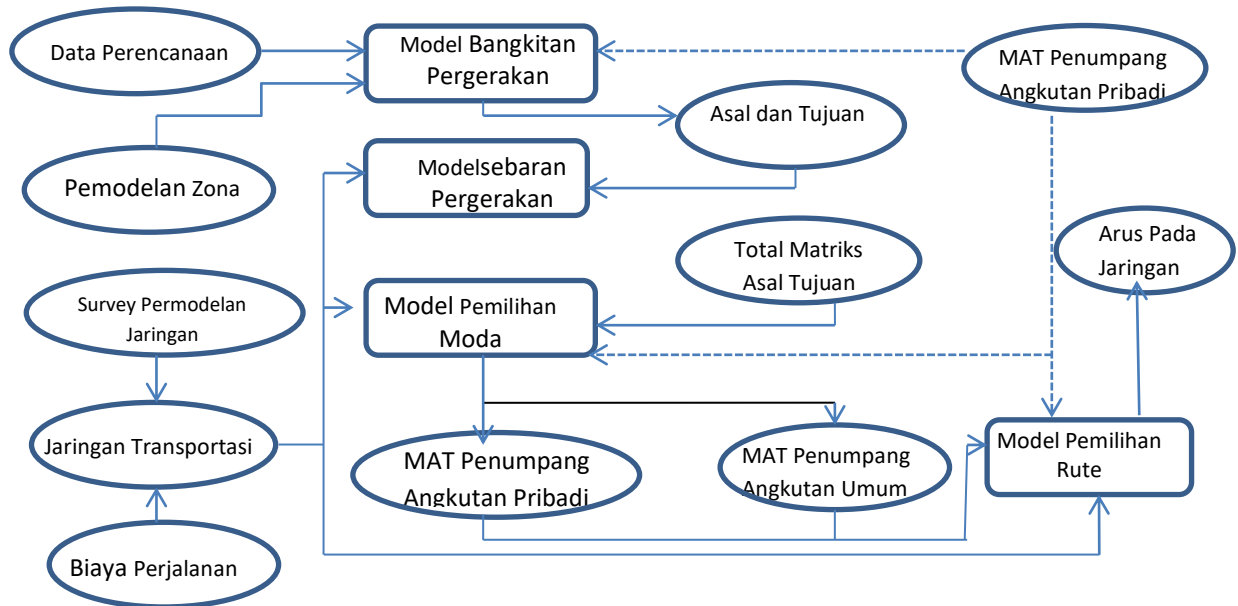
1. Perencanaan Transportasi Empat Tahap

Tamin (2000), menjelaskan bahwa perencanaan transportasi bertujuan memperkirakan jumlah serta lokasi kebutuhan akan transportasi (jumlah perjalanan, untuk angkutan umum maupun angkutan pribadi) pada masa mendatang (tahun rencana) untuk kepentingan kebijaksanaan investasi perencanaan transportasi.

Miro (2005), memperkirakan jumlah arus perjalanan yang berpotensi timbul dari suatu tata guna lahan dilakukan melalui konsep perencanaan transportasi empat tahap yaitu:

- a. Bangkitan dan tarikan perjalanan (Trip Generation);
- b. Distribusi pergerakan lalu lintas (Trip Distribution);
- c. Pemilihan moda dan rute (Modal Choice);

d. Pemilihan rute atau pembebanan jaringan jalan (Trip assignment).



Gambar 3. Perencanaan Transportasi Empat Tahap
Sumber: Miro, 2005

Menurut Sabari (2002) tiga proses perluasan area perkotaan yang lebih terstruktur yaitu sebagai berikut:

- Pola Konsentris: Kota Meluas secara merata dari satu titik ke titik lainnya.
- Pola sektoral: Pengelompokan tata guna lahan di kota menyebar dari pusat ke arah luar kota.
- Pola inti Ganda (Multiple Nuclear): Terjadi pembentukan inti-inti ganda yang merupakan gejala lanjut dari kota yang berplata sektoral, sedangkan semakin ke pusat kota semakin jelas pola konsentrasinya.

Faktor – Faktor yang berpengaruh dalam pergerakan perjalanan diantaranya adalah:

- Tata Guna Lahan

Menurut Weisel (1980) Pengaruh pola pertumbuhan kota yang berkembang dengan pola struktur konsentrik (pusat kota tunggal) lebih hemat dalam konsumsi BBM

dibandingkan dengan struktur kota dengan banyak pusat kota. Pengaruh tata guna lahan terhadap sistem transportasi kota dalam hal konsumsi BBM tidak hanya terjadi dari jenis penggunaan lahan, tetapi juga dari intensitas penggunaan lahan yang ditunjukkan dari kepadatan penduduk dari suatu wilayah.

b. Interaksi Tata Ruang

Rodrigue (2004) menjelaskan bahwa interaksi tata ruang yang diwujudkan dalam pergerakan transportasi disajikan dalam empat sub kategori model yaitu:

- 1) Batas administrasi,
- 2) Tata Guna Lahan,
- 3) Interaksi ruang,
- 4) Jaringan transportasi,

c. Jaringan Jalan

Menurut Morlok (1984) terdapat enam jenis jaringan transportasi ideal yaitu:

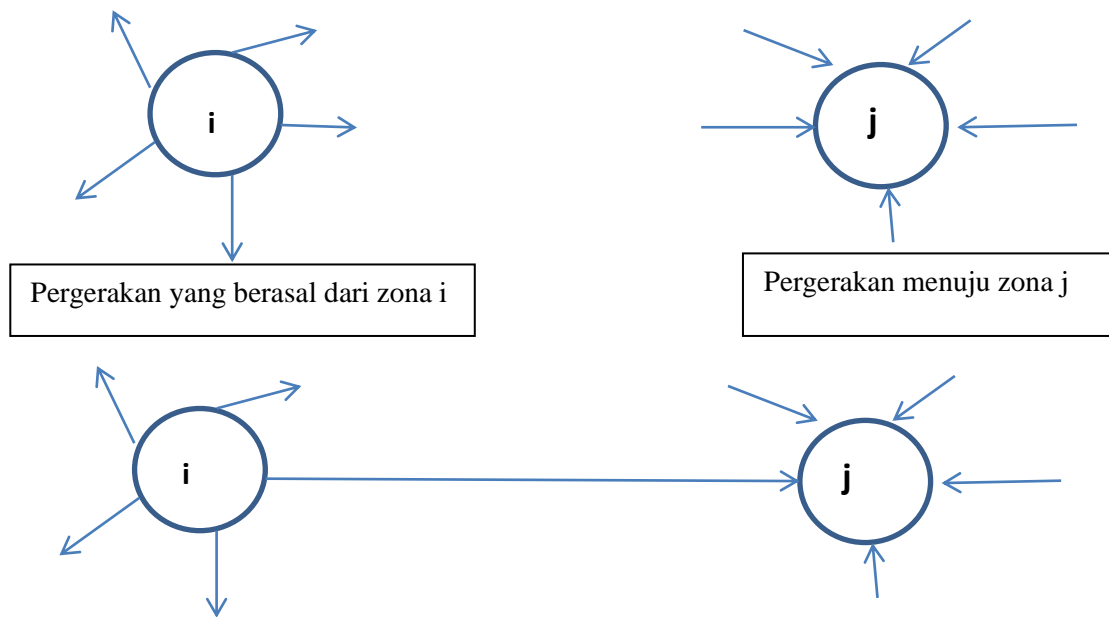
- 1) jaringan jalan grid,
- 2) jaringan jalan radial,
- 3) jaringan cincin radial,
- 4) jaringan spiral,
- 5) jaringan heksagonal, dan
- 6) jaringan jalan delta.

2. Bangkitan dan Tarikan pergerakan (*Trip Generation*)

Bangkitan pergerakan adalah model yang memperkirakan pergerakan yang berasal dari suatu zona atau tata guna lahan dan jumlah pergerakan atau lalu lintas yang tertarik atau menuju ke suatu zona tata guna lahan. Bangkitan pergerakan ini mencakup :

- a. Lalu lintas yang meninggalkan atau bangkit dari suatu lokasi (*trip production*)
- b. Lalu lintas yang menuju ke suatu lokasi (*trip attraction*)

Bangkitan dan tarikan pergerakan dapat dilihat pada gambar berikut:



Untuk setiap pasang zona (ij), arus dari zona I ke J

Gambar 4. Bangkitan dan tarikan pergerakan
Sumber: Wells, 1975

3 Distribusi Pergerakan Lalu Lintas (*Trips Distribution*)

Distibusi pergerakan lalu lintas adalah tahapan permodelan yang memperkirakan sebaran pergerakan yang meninggalkan suatu zona atau menuju suatu zona. Distribusi pergerakan dapat direpresentasikan dalam bentuk garis keinginan (*desire line*) atau dalam bentuk Matriks Asal Tujuan, MAT (*Origin Destination Matriks/ O-D Matrix*).

4. Pemilihan Moda dan Rute (*Modal and Route Choice*)

Terjadinya interakis antara dua tata guna lahan seseorang unutkan memutuskan bagaimana interaksi terjadi dilakukan dan interaksi tersebut mengharuskan terjadinya sutu perjalanan. Dalam kasus ini keputusan harus ditentukan dalam hal pemilihan moda dan rute mana yang akan dipilih:

- a. Pilihan pertama antara jalan kaki atau menggunakan kendaraan;

- b. Jika kendaraan yang harus digunakan, pilihanya kendaraan pribadi apakah sepeda, sepeda motor atau angkutan umum (bus, angkot);
- c. Jika angkutan umum yang digunakan, jenis apa yang akan digunakan (angkot, bus, keretaapi, pesawat, kapal);
- d. Setelah menggunakan moda yang digunakan kemudian biasanya dilakukan pemilihan route perjalanan.
- e. Pemilihan moda dan rute transportasi tergantung dari:
 - 1). Tingkat ekonomi / *income* : kepemilikan
 - 2). Biaya transport

5. Pembebanan Lalu lintas (*Trip Assignment*)

Pemilihan rute sangat berkaitan dengan pemilihan moda, karena jika pemilihan moda dengan menggunakan kendaraan pribadi, maka rute yang dipilih sembarang. Sedangkan jika pemilihan moda dengan menggunakan kendaraan umum, maka rute sudah ditentukan.

Pemilihan rute tergantung dariii alternatif terpendek, tercepat, termurah, dan juga diasumsikan bahwa pemakai jalan mempunyai informasi yang cuku tentang kemacetan, kondisi jalan dan juga lainnya, sehingga mereka dapat menentukan rute terpendek. Hasil akhir dari tahap ini adalah diketahuinya volume lalu lintas pada setiap rute.

E. Pendekatan Sistem Untuk Perencanaan Transportasi

Pendekatan sistem menurut Tamin (2000) adalah pendekatan secara umum untuk suatu perencanaan atau teknik dengan menganalisis semua faktor yang berhubungan dengan permasalahan yang ada. Contohnya adalah perbaikan secara loal adalah kemacetan lokal yang disebabkan oleh penyempitan lebar jalan. Pendekatan sistem mencoba menghasilkan pemceahan yang terbaik dari beberapa laternatif pemecahan yang ada dengan batasan tertentu

(waktu dan biaya). Selain itu struktur kota juga berpengaruh dalam pemilihan pendekatan sistem untuk perencanaan transportasi.

1. Konsep struktur Kota

Branch (1984) menjelaskan bahwa suatu kota merupakan suatu komponen yang memiliki unsur yang terlihat nyata secara fisik seperti perumahan dan prasarana umum, dan juga komponen non fisik yang tidak terlihat seperti politik dan hukum yang mengarah pada kegiatan dan pembentukan kota itu sendiri.

Menurut Yunus (2000) ada tiga macam proses perluasan area perkotaan menjadi lebih terstruktur yaitu sebagai berikut:

a) Pola Konsentris

Pola ini didasarkan pada satu inti yang kemudian meluas, sehingga tumbuh zona-zona yang masing-masing meluas sejajar dengan bertahap dalam bentuk kolonisasi ke arah zona yang letaknya paling luar. Dengan demikian dapat ditemukan beberapa zona yang letaknya konsentris dan strukturnya terbentuk seperti gelang.

b) Pola Sektoral

Hommer Hoyt (1939) menjelaskan pengelompokan tata guna lahan di kota yang menyebar dari pusat ke arah luar berupa sektor. Hal ini disebabkan oleh sifat masyarakat kotanya, latar belakang ekonomi, dan kondisi fisik geografis kotanya.

c) Pola Inti Ganda

Harris dan Ullman (1945) menjelaskan pola konsentris dan sektoral itu akan ada, namun dalam kenyataannya di lapangan sifatnya lebih rumit. Pertumbuhan Kota dimulai dari satu inti yang kemudian berkembang dengan pusat-pusat tambahan yang sifatnya lebih rumit.

Kota Semarang memiliki struktur kota yang berpola inti ganda (multiple nuclei), perkembangan sub-sub pusatnya tidak merata dan masih menunjukkan ketergantungan dengan pusat kota.

2 Sebaran Panjang Pergerakan

Sebaran panjang pergerakan merupakan informasi tentang sebaran pergerakan yang berdasarkan pada panjang atau biaya perjalanan.

F. Konsep Permodelan Distribusi Perjalanan

Tamin (2000) menjelaskan bahwa Matriks Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antara lokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Baris pertama menyatakan zona asal dan kolom menyatakan zona tujuan, sehingga sel matriksnya menyatakan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan.

Tabel 3. Matriks asal Tujuan (MAT)

Tujuan (ke) Asal (dari)	Zona 1	Zona 2	Zona j	....	Total O_i
Zona 1	T_{11}	T_{12}	....	....	O_1
Zona 2	T_{21}	T_{22}	....	....	O_2
Zona i	...	...	T_{ij}	....	O_i
.
Total D_j	D_1	D_2	D_3	....	Total Perjalanan

Keterangan:

Zona i : Baris dari Matriks yang menjelaskan asal perjalanan

T_{ij} : Pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan j

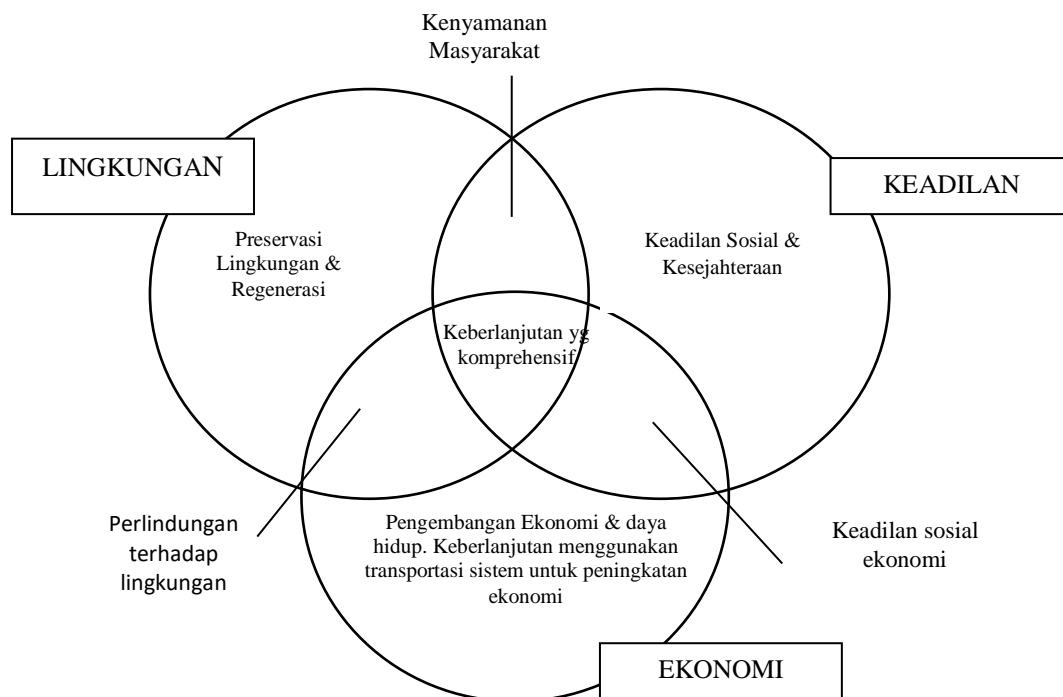
Zona i : Kolom dari matriks yang menjelaskan tujuan perjalanan

O_i : Jumlah pergerakan yang berasal dari Zona asal i

D_j : Jumlah Pergerakan yang menuju ke Zona tujuan j

G. Transportasi Berkelanjutan

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pada dasarnya konsep transportasi yang berkembang dalam satu perkotaan dengan sistem transportasinya yang terpadu dan memberikan manfaat yang besar di masa yang akan datang. Transportasi berkelanjutan juga berarti bagaimana menggunakan energi atau sumber daya yang ada hemat dan efisien namun tetap memberikan manfaat yang besar.



Sumber: Hall (2002)

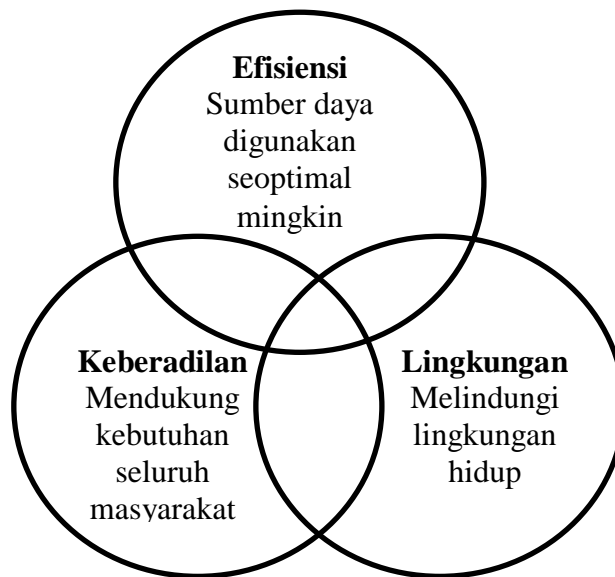
Gambar 5. Visualisasi Definisi Transportasi yang berkelanjutan

Definisi transportasi berkelanjutan berdasarkan *Organization of Economic Cooperation and Development* dan *National Round Table on The Environment and the Economy* (OECD dan NRTEE) (1996) yang mendefinisikan keberlanjutan transportasi dalam

3 aspek yakni : a) lingkungan : yaitu transportasi yang tidak memberikan dampak berbahaya bagi kesehatan publik dan ekosistem serta mampu memberikan manfaat sumber daya yang dapat diperbahurui dengan kata lain transportasi yang tidak menyebabkan polusi air, udara dan tanah dan menghindari penggunaan sumberdaya yang berlebihan; b) ekonomi:transportasi yang dapat menjamin kemampuan biaya transportasi dan mewujudkan keadilan dalam sistem transportasi; c) sosial: transportasi yang tidak bising, rendah tingkat kecelakaan, waktu tempuh yang rendah, tingkat kemacetan yang rendah dan meningkatkan keadilan sosial dan kesehatan masyarakat. Transportasi yang dimaksud dapat mewujudkan lingkungan sosial yang sehat, masyarakat yang layak dan kaya akan modal sosial.

Center of Sustainable Transportation (2012: 4) juga menjelaskan bahwa *sustainable transportation* adalah sistem transportasi yang : a) menciptakan keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dengan ekosistem yang sehat dan bersih; b) terjangkau, operasionalnya efisien, menawarkan berbagai pilihan moda transportasi dan mendukung pembangunan dalam skala regional; c) membatasi emisi dan hasil pembuangannya agar tidak melampaui kemampuan bumi dalam mengelolanya, meminimalisasi dampak penggunaan lahan dan polusi suara. Tujuan transportasi berkelanjutan berdasarkan definisi ini adalah untuk menjamin dari segi sosial, ekonomi dan lingkungan dalam merumuskan untuk dapat menjaga keseimbangan bumi.

Dari penelitian Hall (2002) di mana disampaikan bahwa definisi dari *Sustainable Transportasi* adalah apabila konsep transportasi yang memenuhi tiga hal yaitu lingkungan, ekonomi dan keadilan dimana di dalamnya adalah masalah sosial dan kesejahteraan. Hal ini juga dipertegas oleh Sutip (2011) bahwa transportasi yang berkelanjutan harus memenuhi tiga pilar utama yaitu pilar efisiensi, pilar keberadilan dan pilar lingkungan. Seperti pada penjelasan gambar berikut ini.



Sumber: Sutip, 2011

Gambar 6. Tiga Pilar Transportasi berkelanjutan

Zietsma et. al. (2002) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa apa yang disebut Transportasi berkelanjutan adalah bagaimana sebuah konsep perencanaan Transportasi yang mencoba untuk mengatasi pembangunan ekonomi, pengelolaan lingkungan, dan keadilan sosial generasi sekarang dan masa depan.

Menurut Zhou (2012) mendefinsikan transportasi yang berkelanjutan adalah bukan lagi hanya berfokus pada menipisnya sumber daya alam dan polusi udara, melainkan juga kepada ekonomi, kesejahteraan sosial, keadilan, kesehatan manusia dan integritas ekologi. Dijelaskan juga bahwa Sustainable Transportasi menjadi beberapa hal yaitu: tentang pengukuran, tentang perubahan, bagian dari pembangunan yang berkelanjutan, merupakan pemikiran kedepan.

Menurut Deakin (2001) strategi transportasi menuju pembangunan yang berkelanjutan adalah sebagai berikut:

- a. Teknologi pada Kendaraan / Bahan bakar
 - 1) Improvisasi tentang efisiensi / konvensional

- 2) Teknologi kendaraan baru
- 3) bahan bakar baru
- b. Improvisasi operasi untuk jalan/ kendaraan
 - 1) Improvisasi secara konvensional traffic flow
 - 2) Improvisasi *Intelligent Transportation System*(ITS)
 - 3) Pembelajaran menyupir
 - 4) Improvisasi *logistics and Fleet Management*
- c. Demand Management
 - 1) Substitusi moda transportasi
 - 2) substitusi telekomunikasi
 - 3) Biaya Insentif dan Disinsentif
 - 4) Strategi Tata Guna Lahan – Transportasi

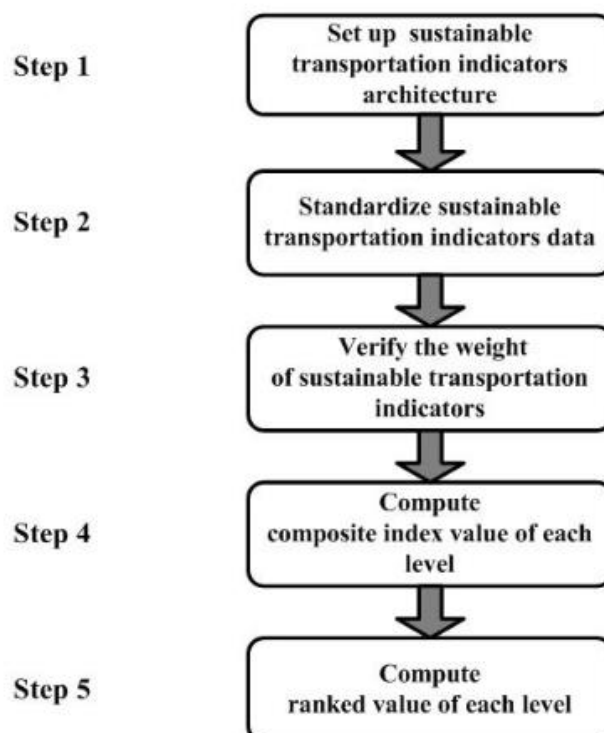
Menurut Kapoen (2005 : 207) bahwa dalam mencapai transportasi yang berkelanjutan harus terintegrasi dengan rencana tata guna lahannya, sehingga konsep keberlanjutan yang mencakup ekonomi, sosial dan lingkungannya dapat tercapai. Sedangkan beberapa ahli lainnya menjelaskan bahwa hubungan antara transportasi juga erat sekali hubungannya dengan pembangunan yang berkelanjutan. Seperti hasil kajian dari Daikin, (2011), yang menjelaskan bahwa transportasi berkelanjutan erat hubungannya dengan pembangunan yang berkelanjutan dimana dalam hal transportasi yang berkelanjutan disebutkan tentang manajemen kebutuhan, operation management, kebijakan biaya, improvisasi teknologi kendaraan, bahan bakar yang bersih, dan integrasi tata guna lahan dan perencanaan transportasi.

Miro (2012) melihat kondisi tersebut dalam pemahaman suatu sistem transportasi yang dapat diartikan sebagai suatu kesatuan unit, atau integritas yang bersifat komprehensif yang terdiri dari komponen-komponen yang saling mendukung dan bekerja sama mengintegrasikan tersebut terjadi kerusakan atau bermasalah.

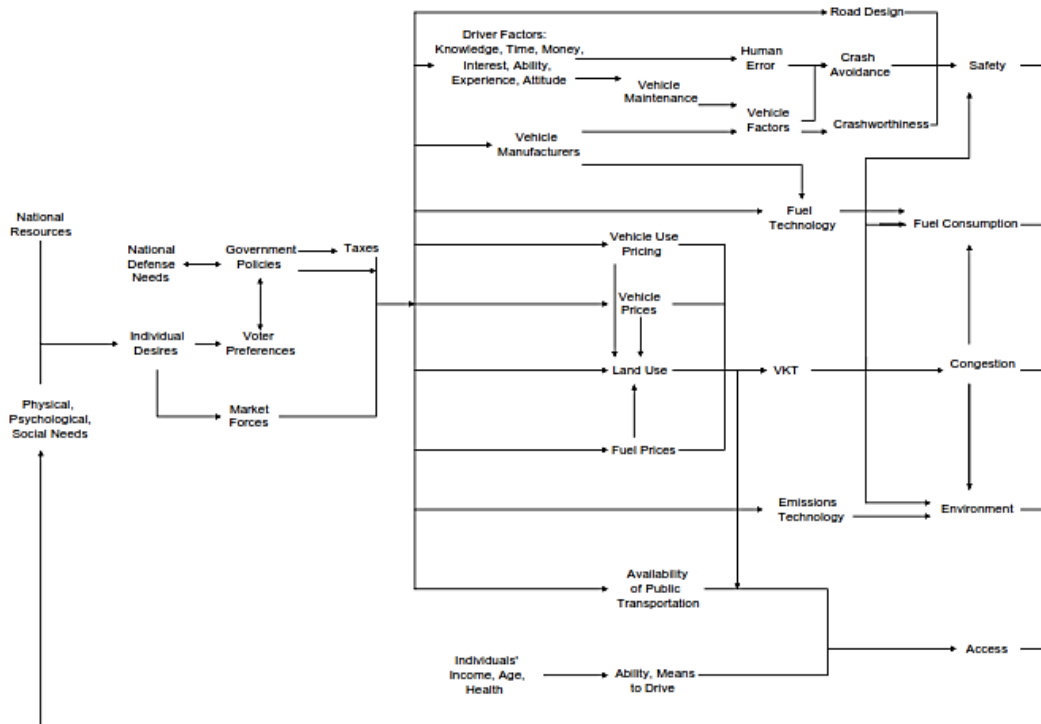
Carol et. al. (1997) menjelaskan bahwa salah satu butir tantangan dalam transportasi berkelanjutan adalah kegiatan yang melindungi sumber / *urban resource conseviting mobily.* Sedangkan menurut William (2005) bahwa pada penjelasan transportasi yang berkelanjutan adalah satu dalam menangani permasalahan konsumsi BBM, emisi, keselamatan, kemacetan dan sosial ekonomi menuju tingkat keberlanjutan dalam waktu yang akan datang tanpa menyebabkan permasalahan pada generasi berikutnya. Jika konsumsi BBM dapat dianggap sebagai salah satu faktor yang berbanding lurus dengan emisi gas buang kendaraan bermotor yang dihasilkan, maka konsumsi BBM meningkat pada kecepatan rendah atau terjadi kemacetan.

Selain dari pemahaman transportasi berkelanjutan diatas, ada beberapa model transportasi berkelanjutan yang telah diaplikasikan dinegaranya masing-masing antara lain:

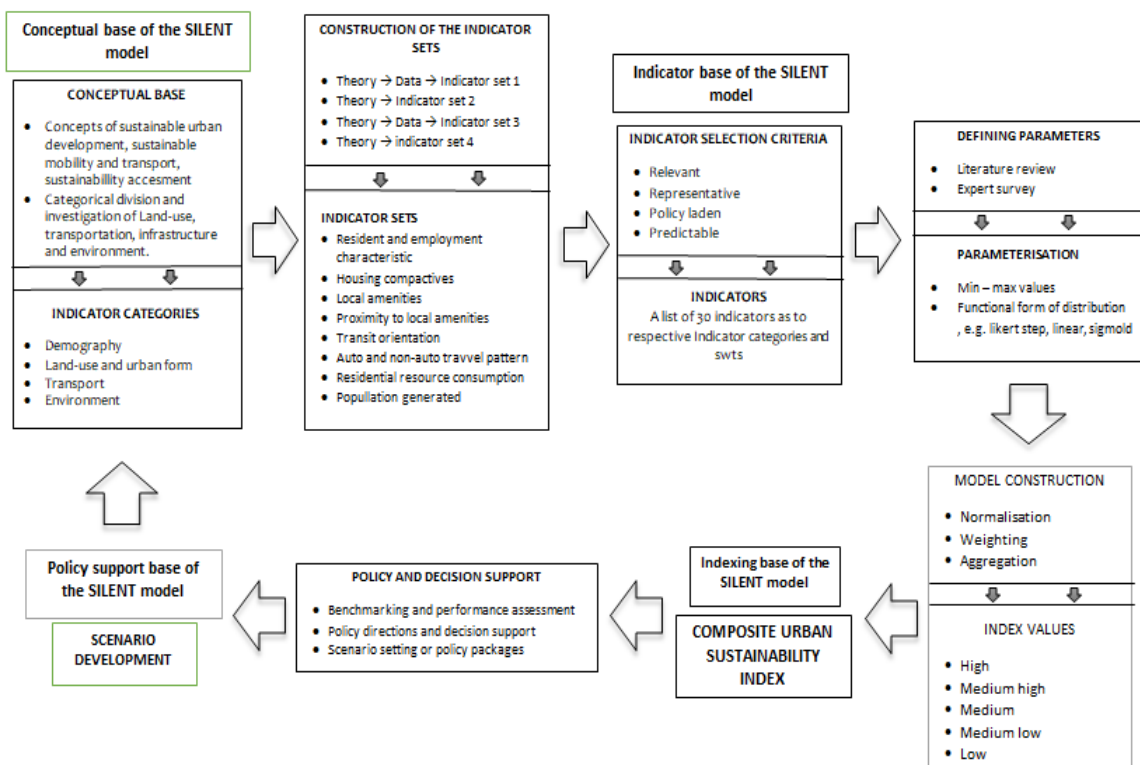
1. Tao dan Hung (2003:8) tentang pendekatan komparasi model kuantitaif untuk Transportasi yang berkelanjutan.



2. Richardson (2004 : 7) tentang Analisa kerja tentang *Sustainable Transportation*

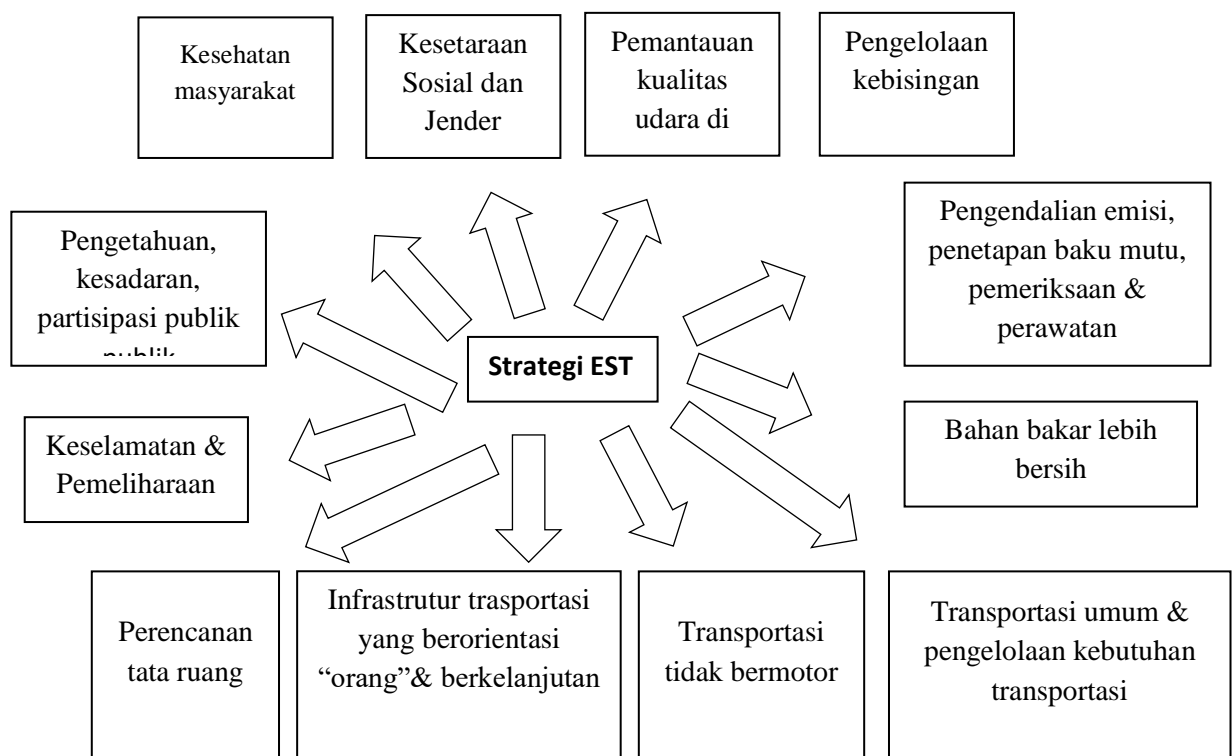


3. Yigitchaniar dan Dur (2010: 327) tentang membangun model penilaian *sustainable transportation*



Emisi gas buang kendaraan bermotor menurut KLH (2012) dipengaruhi oleh 4 faktor utama yaitu: 1) teknologi kendaraan, 2) karakteristik bahan bakar, 3) perilaku berkendara, 4) pengguna kendaraan. Artinya pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor meliputi pengendalian setiap langkah berikut yaitu peningkatan teknologi kendaraan dan pengetatan ambang batas baku mutu emisi, penggunaan bahan bakar lebih bersih, pemeriksaan dan perawatan kendaraan dan peningkatan perencanaan transportasi dan pengelolaan transportasi.

CAI-ASIA, 2010, mengembangkan lebih lanjut kedalam unsur-unsur *Environmentally Sustainable Transportation (EST)* sebagai berikut:



Sumber: Aichi Statment (2005)

Gambar 7. Unsur-unsur *Environmentally Sustainable Transportation (EST)*

H. Strategi *Traffic Demand Management* (TDM)

Pertambahan kendaraan yang tidak akan mungkin akan terus imbangi dengan pertumbuhan ruang jalan akan menimbulkan masalah dalam transportasi perkotaan baik aspek lingkungan, sosial dan ekonomi. Dari aspek lingkungan masalah transportasi akan menimbulkan polusi udara, kebisingan dan kesehatan. Sementara itu dari aspek sosial, kemacetan mengakibatkan masyarakat kehilangan banyak kesempatan dalam mengembangkan kehidupan sosial, menjadi pengendara yang lebih *offensif* (menyerang) yang mengarah pada perilaku tidak peduli kepada orang lain, hal ini berakibat terjadinya disintegrasi sosial atau rusaknya ikatan sosial. Sedangkan dari aspek ekonomi kemacetan yang terjadi di beberapa lokasi mengakibatkan kerugian waktu dan bahan bakar yang menurunkan daya beli masyarakat sebagai roda ekonomi.

Bappenas (2014) dalam kebijakan TDM dapat diaplikasikan melalui beberapa acara antara lain:

- a. Keseimbangan *Push and Pull* : Penerapan TDM yang komprehensif dapat menghasilkan efektivitas dan manfaat yang maksimal dengan seimbang sehingga mampu mengalihkan pengguna kendaraan pribadi ke moda angkutan umum serta berjalan kaki dan bersepeda;
- b. Transportasi yang terpadu dan Tata Guna Lahan : Sistem angkutan umum yang baik dan keragaman faktor dalam layout kota berpengaruh terhadap perilaku pelaku perjalanan sehingga penduduk yang tinggal di daerah padat dengan berbagai macam aktivitas dan mobilitas tinggi cenderung memanfaatkan angkutan umum daripada kendaraan pribadi;
- c. Peningkatan pelayanan angkutan umum : Koordinasi dalam penyelenggaraan angkutan umum akan meningkatkan kualitas pelayanan.

I. Transportasi dan Emisi CO₂

Gas yang diproduksi oleh pembakaran lengkap bahan *carbonaceous*, oleh pembusukan organisme dekomposer seperti aerobik, oleh fermentasi, dan oleh tindakan asam kapur. Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu, karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Ciri-ciri CO₂ (Karbon dioksida) dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. Ciri-ciri Gas Karbon Dioksida

Nama Lain	Carbonic Acid Gas Carbonic Anlydride	Kelarutan dalam Air	1.716 ft³ CO₂ gas/ft³ H₂O @STP
Ikatan Molekul	CO ₂	Tidak leleh	216 K
Berat mol	44,01 g/mol	Titik didih	195 K
Densitas: Fase Cair Fase Gas	1032 kg/m ³ @ -20°C 1.976 kg/m ³ @STP	Viskositas: Gas Cair	13.72 μN s/m ² @STP 99μN/s/m ² @STP
Sifat	Odorless, Colorless	Molekul shape	Linear
Temperatur kritis	31.1°C	Tekanan kritis	73.9 bar
Densitas kritis	467 kg/m ³	Titik Sublimasi	-78,5°C

Sumber: IPCC (2007)

Sumber yang berasal dari aktifitas manusia meliputi pembakaran bahan bakar fosil (70-90%) sebagai sumber tenaga dan konversi penggunaan lahan (10-30%). Selain itu, terdapat sumber alami penghasil gas CO₂ seperti gas vulkanik, pembakaran material organik, proses respirasi organisme aerobik. Sumber penghasil CO₂ juga dapat dibedakan berdasarkan kegiatan aktivitas manusia, dimana industri energi merupakan penghasil gas CO₂ terbesar dengan kontribusi sebesar 36% yang diikuti oleh kegiatan transportasi (27%) dan industri (21%). Hal ini juga menegaskan informasi dari IPCC (2007) bahwa sumber utama penghasil gas CO₂ berasal dari aktifitas manusia.

Faktor emisi adalah massa dari suatu polutan yang dihasilkan relatif untuk setiap unit proses. Ini mungkin per satuan massa bahan bakar yang dikonsumsi, atau per unit produksi (Porteous, 1996). Ada juga yang menyebutkan koefisien yang menghubungkan suatu aktivitas dengan jumlah senyawa kimia tertentu yang kemudian menjadi sumber emisi (*Climate Change Information Center*).

Tabel 5. Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan

Tipe kendaraan/bahan bakar	Faktor emisi (gram/liter)						Catatan (km/l)
	NO _x	CH ₄	NM VOC	CO	N ₂ O	CO ₂	
Bensin: Kendaraan							
	21.35	0.71	53.38	426.63	0.04	2597.86	Ass 8.9
Kendaraan kecil	24.91	0.71	49.82	295.37	0.04	2597.86	Ass 7.4
Kendaraan besar	32.03	0.71	28.47	281.14	0.04	2597.86	Ass 4.4
Sepeda motor	7.12	3.56	85.41	427.05	0.04	2597.86	Ass 19.6
Diesel: Kendaraan							
	11.86	0.08	2.77	11.86	0.16	2924.90	Ass 13.7
Kendaraan kecil	15.81	0.04	3.95	15.81	0.16	2924.90	Ass 9.2
Kendaraan besar	39.53	0.24	7.91	35.57	0.12	2924.90	Ass 3.3
Lokomotif	71.15	0.24	5.14	24.11	0.08	2964.43	

Sumber : dikompilasi dari IPCC, 1996 diperbarui 2009

Faktor emisi dapat didefinisikan sebagai jumlah berat polutan tertentu yang dihasilkan oleh proses pembakaran dalam kurun waktu tertentu. Definisi tersebut diketahui bahwa jika faktor emisi suatu polutan diketahui, maka banyaknya polutan yang lolos dari proses pembakaran dapat diketahui jumlahnya persatuan waktu. Di kebanyakan kasus, faktor ini merupakan rata-rata dari semua data yang tersedia yang menggambarkan kualitas udara dan umumnya diasumsikan sebagai data rata-rata representative dalam jangka waktu yang lama untuk berbagai sumber kategori. Tabel 5 memperlihatkan faktor emisi (gram/liter) untuk masing-masing jenis kendaraan bermotor berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan.

1. Jumlah kendaraan

Jumlah kendaraan rata-rata dari tiap jenis jalan yang akan dianalisa adalah total jumlah kendaraan rata-rata yang telah disurvei pada tiap jenis jalan kemudian dikonversi ke smp dengan cara mengalikan jumlah kendaraan yang telah disurvei dengan faktor konversi. Perhitungan dilakukan dengan cara berikut:

$$n = m \times FK \dots\dots\dots(4)$$

- dimana, n = Jumlah kendaraan (smp/jam)
- m = Jumlah kendaraan (kendaraan/jam)
- FK = Faktor Konversi (smp/kendaraan)

Menurut Indonesia *Highway Capacity Manual Part 1 Urban Road* No. 09/T/BNKT/1993 pemakaian praktis nilai smp tiap jenis kendaraan digunakan nilai standar seperti ditunjukkan pada Tabel:

Tabel 6. Faktor Konversi Jenis Kendaraan ke smp (satuan mobil penumpang)

No	Jenis Kendaraan	Smp
1	Kendaraan Ringan	1.00
2	Kendaraan Berat	1.20
3	Sepeda Motor	0.25

Sumber: MKJI(1997)

2. Perhitungan Emisi Rata-rata tiap Jenis Jalan

Perhitungan emisi akan dihitung dengan rumus berikut:

$$Q = n \times FE \times K \dots\dots\dots(5)$$

- Dimana, Q = Jumlah emisi (g/jam.km)
- n = Jumlah Kendaraan (smp/jam atau kendaraan/jam)
- FE = Faktor emisi (g/liter)
- K = Konsumsi bahan bakar (liter/100 km)

Nilai faktor emisi dengan tipe bahan bakar dan jenis kendaraan dapat dilihat dari Tabel sebelumnya. Sedangkan untuk konsumsi bahan bakar yang telah disesuaikan dengan jenis kendaraannya dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 7. Konsumsi Bahan Bakar

No	Jenis Kendaraan	Konsumsi Energi Spesifik (liter/100km)
1	Mobil Penumpang	
	- Bensin	11,79
	- Diesel/solar	11,36
2	Bus Besar	
	- Bensin	23,15
	- Diesel/Solar	16,89
3	Bus Sedang	13,04
4	Bus Kecil	
	- Bensin	11,35
	- Diesel/solar	11,83
5	Bemo. Bajaj	10,99
6	Taxi	
	- Bensin	10,88
	- Solar/diesel	6,25
7	Truk Besar	15,82
8	Truk sedang	15,15
9	Truk Kecil	
	- Bensin	8,11
	- Diesel / Solar	10,64
10	Sepeda Motor	2,66

Sumber: Jinca et al(2009)

J. Efek Gas Rumah Kaca (Green House Gas Effect)

Transportasi merupakan penyumbang GRK terbesar kedua setelah industri. Emisi CO₂ ekuivalen sektor transportasi di dunia diperkirakan berjumlah 13% dari total emisi CO₂ ekuivalen dunia. Menurut Atabani et. al. (2011) sektor transportasi merupakan pengguna energi terbesar ke dua setelah sektor industri dan menggunakan 30% dari kebutuhan dunia. Sedangkan bila di hitung dari total emisi CO₂ yang berasal dari penggunaan energi saja, maka

kontribusi Transportasi adalah 23%. Diprediksikan bahwa emisi sektor transportasi akan naik sebesar 120% (dari level tahun 2000) pada tahun 2050. Prediksi lain menyatakan bahwa emisi sektor transportasi pada tahun 2030 akan meningkat sebesar 57% dari level tahun 2005, dimana 80% dari kenaikan tersebut terjadi di negara-negara berkembang. Parikesit, 2005, melihat 20 tahun mendatang, dengan pertumbuhan 3,4% lebih tinggi dari sektor penghasil emisi lainnya, maka transportasi akan menjadi penghasil GRK terbesar dengan 25% dari total emisi GRK Indonesia. Penelitian di 10 (sepuluh) kota di Indonesia adalah antara 4-9% untuk kota-kota industri dan 15-19% untuk kota-kota jasa.

Atabani et.al (2011: 4587) menunjukkan bahwa pada tahun 2008 di sektor transportasi menghasilkan sekitar 22% dari emisi global CO₂ yang juga bertanggung jawab terhadap penggunaan 60% kebutuhan minyak. Dalam hal ini, kendaraan bermotor mendominasi konsumsi minyak dan mewakili 81% dari kebutuhan energi transportasi. Menurut I Made Astra (2010: 10), menjelaskan bahwa di Amerika Serikat yang merupakan negara penghasil gas rumah kaca terbesar, yakni lebih dari 5 ton karbon dihasilkan tiap orang tiap tahun. Sumber terbesar dari emisi gas rumah kaca adalah transportasi. Tiap liter bensin yang terbakar oleh kendaraan memproduksi sekitar 2,5 kg CO₂. Rata-rata mobil di Amerika Serikat dikendarai sekitar 20.000 km tiap tahun, dan mengkonsumsi sekitar 2300 liter bensin.

Oleh karena itu, mobil menghasilkan sekitar 5500 kg CO₂ ke atmosfer tiap tahun, yaitu sekitar empat kali berat mobil khusus. Hao et. al, 2011 dalam penelitiannya menjelaskan bahwa di China, sektor transportasi meningkat sekitar 9% pada saat bersamaan konsumsi minyak nasional mencapai 30%. Dan diprediksikan kebutuhan minyak dari transportasi darat waktu terus meningkat dengan rata-rata 6% dari total konsumsi minyak sebesar 363 miliar ton pada tahun 2030 apabila kebijakan konservasi energi tidak dijalankan,

mengidentifikasi bahwa sektor transportasi darat di China akan menjadi yang dominan dalam kebutuhan bahan bakar minyak.

Susandi (2004: 38) menerangkan bahwa untuk Negara Indonesia sendiri sektor transportasi menyumbang kurang dari 5% dari total nasional emisi, karena emisi Indonesia sebagian besar berasal dari sektor Kehutanan (kebakaran, perusakan) dan alih fungsi lahan. Bila ditinjau dari emisi yang berasal dari penggunaan energi (BBM, batubara, gas, panas bumi, energi terbarukan) maka sektor transportasi menyumbang emisi sekitar 26%. Namun bila ditinjau dari penggunaan BBM saja, maka sektor transportasi mengkonsumsi sekitar 50% BBM nasional setiap tahunnya. Saat ini diperkirakan bahwa konsentrasi CO₂ di atmosfer telah mengakibatkan lebih 50% dari total efek GRK. Sementara itu di Indonesia total gas CO₂ di atmosfer adalah tidak kurang dari 70 juta metrik ton karbon.

Departemen ESDM (2004) menunjukkan penggunaan BBM untuk transportasi di Indonesia melonjak secara tajam. Jika pada tahun 1993 konsumsi BBM, sekitar 200 juta setara barel minyak (sbm), pada tahun 2030 menjadi dua kali lipat yakni 400 juta sbm. Sedangkan bila dibandingkan, BBM sektor industri relatif stagnan apabila dibanding dengan konsumsi BBM sektor transportasi. Hal tersebut menjelaskan bahwa sektor transportasi merupakan konsumen yang paling banyak menggunakan BBM, sedangkan konsumsi BBM untuk kegiatan transportasi tersebut merupakan salah satu penyumbang GRK yang perlu untuk diperhatikan.

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor saat ini disebabkan oleh kondisi sistem transportasi yang tidak berpihak pada pelayanan umum dan mudahnya dalam kepemilikan kendaraan pribadi. Dampaknya sudah terasa saat ini, bagaimana kemacetan sering terjadi hampir disetiap ruas jalan, waktu tempuh semakin lama, dan polusi udara yang mengganggu

kesehatan serta emisi buang CO₂ yang dapat memicu terjadinya GRK semakin parah. Jika konsumsi BBM dapat dianggap berbanding lurus dengan emisi gas buang kendaraan bermotor yang dihasilkan sebagai salah satu unsur penyebab GRK, maka perlu diperhatikan konsumsi BBM.

Menurut Morlok dan Chang (2005: 173), transportasi didefinisikan sebagai suatu sistem yang terdiri dari fasilitas tertentu dengan tujuan lokasi dan sistem control yang memungkinkan orang atau barang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain dengan efisien dalam setiap waktu guna mendukung aktivitas manusia. Sistem transportasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, manusia sebagai pengguna jalan, barang yang dibutuhkan manusia, kendaraan yang dipakai sebagai sarana, jalan sebagai prasarana dan pengelolaan transportasi kota. Sedangkan Paul et. al. (2002) menjelaskan bahwa untuk mengetahui besarnya emisi GRK perlu diperhitungkan konsumsi BBM dan jumlah kendaraan serta tingkat kemacetan. Konsumsi BBM dipengaruhi oleh tata guna lahan, jumlah penduduk dan kepadatan serta tingkat penduduk.

Dalam dokumen Kementerian Lingkungan Hidup (2011) beberapa tahun terakhir isu perubahan iklim yang disebabkan GRK telah menjadi salah satu isu strategis di dunia internasional, tidak terkecuali di Indonesia. Komitmen Indonesia terhadap perubahan iklim telah disampaikan pada pertemuan G-20 Pittsburgh dan COP15 dengan 26 % pengurangan GRK menggunakan sumberdaya dalam negeri dan 41% pengurangan GRK dengan kerjasama internasional di tahun 2020. Komitmen tersebut telah ditindaklanjuti melalui penyusunan Prioritas Nasional dan Rencana Aksi tahun 2010-2014 oleh BAPPENAS. Pemerintah berupaya mengintegrasikan perubahan iklim melalui pengarusutamaan isu ini ke dalam 3 (tiga) prioritas nasional yaitu pemenuhan ketersediaan pangan, energi, dan manajemen bencana dan lingkungan. Masing-masing prioritas tersebut telah difokuskan kepada program

mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (khususnya ketersediaan pangan), pengembangan energi alternatif, dan program konversi gas (khususnya energi).

Selain itu komitmen pemerintah pusat dalam pengarusutamaan perubahan iklim telah dicantumkan dalam Rencana Aksi Nasional Percepatan Tujuan Pembangunan Milenium (MDGs) dan melalui perumusan Rencana Aksi Nasional (RAN) – Gas Rumah Kaca (GRK). Pemerintah juga menyusun kebijakan dengan adanya Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN GRK) sebagai tindak lanjut dari komitmen Pemerintah Indonesia di event G-20 di Pittsburgh yang berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK di tahun 2020 sebesar 26% dengan menggunakan sumber daya dalam negeri dan 41% dengan bantuan internasional dan Peraturan Presiden No 71 tahun 2011 tentang Inventarisasi Gas Rumah Kaca untuk mengamankan pemerintah daerah (sampai ke pemerintah kabupaten/kota) tidak terkecuali Pemerintah Kota Semarang untuk dapat melakukan kegiatan inventarisasi GRK.

Secara visual Hickman (1999) menjelaskan pada knalpot kendaraan dengan bahan bakar solar terlihat asap, namun hal tersebut tidak terlihat pada kendaraan berbahan bakar bensin. Emisi kendaraan bermotor berupa nitrogen, karbon dioksida dan uap air bukan gas yang berbahaya namun selain dari gas-gas tersebut bahwa emisi kendaraan bermotor mengandung karbon monoksida (CO), senyawa hidrokarbon (HC), berbagai oksida nitrogen (HC), berbagai oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (Sox) dan partikulatdebu termasuk timbal (Pb).

Senyawa karbon monoksida (CO) yang terbentuk dari emisi gas buang adalah akibat dari tidak sempurnanya pada sistem pembakaran di mesin kendaraan bermotor. Untuk menurunkan kadar karbon monoksida menjadi karbon dioksida. Hasil penelitian Sudrajad

(2005), menjelaskan Karbon monoksida yang meningkat di beberapa perkotaan berdampak pada turunya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi dan kerusakan otak.

Frey (1997) menjelaskan tentang inventarisasi emisi mempunyai beberapa tujuan yaitu untuk mengidentifikasi kecenderungan pola emisi tahunan, perbandingan emisi saat ini dengan *baseline*; memperkirakan konsentrasi polutan ambient.

Torok, 2005 menjelaskan bahwa kendaraan bermotor yang digunakan sekarang ini adalah penyebab polusi. Sebagian besar kendaraan bermotor mengubah fosil menjadi energi mekanik dan 40% energi fosil diubah menjadi energi panas yang dampaknya adalah memanaskan lingkungan.

Dalam penelitiannya Liu (2006) melaporkan hasil penelitiannya tentang polusi udara di kawasan perkotaan adalah bersumber dari gas buang kendaraan bermotor. Emisi kendaraan bermotor akan berbeda dari satu daerah dengan daerah lain karena perbedaan desain jalan dan kondisi lalu lintas dengan tingkat kemacetan yang berbeda.

Penelitian Hung (2006) juga menyampaikan bahwa emisi kendaraan bermotor antara satu daerah dengan daerah lain tidaklah sama hal ini disebabkan karena perbedaan desain jalan dan kondisi lalu lintasnya. Tiga faktor yang mempengaruhi emisi adalah volume total kendaraan bermotor, karakteristik kendaraan bermotor, dan kondisi lalu lintas atau tingkat kemacetan. Menurut Slanina dan Yuanhang, 2005, formula dasar untuk menghitung estimasi emisi dengan memakai emisi faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{Emission (g)} = \text{emission factor (g/km)} * \text{Vehicle kilometers traveled (km)} \dots\dots(6)$$

Untuk ruas jalan arteri dengan panjang L, karakteristik lalu lintas dianggap tetap, maka intensitas emisi sumber garis dihitung dengan formula berikut:

$$E_p = \sum_{i=1}^n L * Ni * Fpi \dots\dots\dots(7)$$

Di mana:

L = Panjang jalan yang diteliti

Ni = Jumlah kendaraan bermotor tipe i yang melintas ruas jalan (kendaraan/jam)

Fpi= Faktor emisi kendaraan bermotor tipe i (g/Km)

I = Tipe kendaraan bermotor (1 .n)

Ep = Intensitas emisi dari suatu ruas (g/jam/km)

P = Jenis polutan yang diestimasi

1. Konsep Konsumsi BBM

Energi Fosil adalah jenis energi yang tak terbarukan, jenis energi yang tak terbarukan, jenis energi tersebut selama ini dikenal sebagai bahan bakar minyak (BBM). Sementara ini, cadangan BBM ini terbatas sifatnya, karena merupakan energi yang tak terbarukan, maka pada saatnya akan tidak mencukupi kebutuhan atau bahkan habis sama sekali (Dephubat, 2008). Haryono (2006) menjelaskan selain dari perlu adanya penghematan konsumsi BBM juga perlu adanya inovasi dalam bahan bakar yang terbaharukan. Konsumsi BBM dalam operasi kendaraan sangat mendominasi dari seluruh konsumsi BBM pada seluruh sektor transportasi. Analisis tentang konsumsi BBM dalam transportasi sangat penting dan strategis. Hal ini sebagai upaya dalam pengelolaan (manajemen) lalu lintas dan transportasi agar terjadi penghematan BBM juga bagi pengelolaan perekonomian negaran dan pembangunan berkelanjutan.

Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebagai penggerak dari kendaraan bermotor terus meningkat secara signifikan. Indonesia sendiri jika pada tahun 1993 konsumsi BBM sebesar 200 juta barel minyak (sbm), pada tahun 2003 menjadi dua kali lipat yakni 400 juta sbm (Departemen ESDM, 2004). Kondisi ini berbeda dengan konsumsi BBM industri dimana

konsumsi sektor transportasi lebih mengalami peningkatan yang signifikan, oleh karena itu perlu adanya perhatian yang serius.

Departemen Perhubungan Darat (2006) menyampaikan beberapa hal yang mempengaruhi jumlah konsumsi BBM di jalan raya adalah karakteristik kendaraan, karakteristik jalan dan aspek pengguna kendaraan. Jika konsumsi BBM dianggap berbanding lurus dengan emisi gas buang kendaraan bermotor yang dihasilkan, maka konsumsi BBM meningkat pada kecepatan rendah atau terjadi kemacetan. Handajani, 2011 menjelaskan konsumsi BBM rendah bila kendaraan berjalan dengan kecepatan antara 50-70 km /jam. Jika Kecepatan diatas 80 km/jam konsumsi BBM menunjukkan peningkatan lagi.

Pengaruh sistem transportasi kota terhadap konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Kota Metropolitan dilakukan dengan menggunakan pendekatan model yang terdiri dari 3 komponen model yaitu Tipologi Kota (y1) dan Sistem Transportasi Kota (y2) dan konsumsi BBM (y3). Model tipologi kota dipengaruhi oleh variabel bebas kepadatan penduduk (x13), jumlah penduduk (x14), luas daerah (x5) kondisi jalan rusak sekali (x6), MPU (mobil penumpang umum) (x7), bus umum (x8), mobil penumpang pribadi (x9), bus pribadi (x10), truk (x11), sepeda motor (x12). Konsumsi BBM diasumsikan dipengaruhi oleh premium (x17), solar (x18). Apabila dimodelkan regresinya seperti persamaan berikut ini:

$$y1 = b0+b1x13+b2x14+b3x15+b4x16 \dots\dots\dots(8)$$

$$y2 = b0+b1x1+b2x2+b3x3+b4x4+b5x5+b6x6+b7x7+b8x8+b9x9+b10x10+b11+x11+b12x12 \dots\dots\dots(9)$$

$$y3= b0+x17+b2x18 \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan : Y1, Y2, Y3 = Variabel dependen, b0 = konstanta/intersep; b1 sampai b12 efisien variabel independent.

Dari permodelan diatas Handajani, 2011, menjelaskan bahwa pengaruh sistem transportasi kota terhadap konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Kota Metropolitan sebesar 70%, sedangkan Kota sebesar 14,2%, dan sedang mengkonsumsi 15,67% hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari oleh Jumlah Penduduk, PDRB, jumlah kendaraan, dan Panjang Jalan.

2. Parameter Faktor dan Variabel Penting yang Berpengaruh

Dishubdat (2008) konsumsi BBM untuk transportasi kota jalan raya dipenaguhi oleh faktor utama yaitu (a) karakteristik kendaraan, (b) karakteristik jalan, (c) aspek pengguna kendaraan , (d) pengelolaan yang mengkoordinasikan ketiga unsur tersebut. Sedangkan faktor yang menentukan konsumsi angkutan umum kota dipenagruhi oleh karakteristik kendaraan, right of way, aspek operasional. Tanara, 2003, menambahkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi BBM adalah (a) jumlah penduduk, (b) panjang jalan, (c) jumlah kepemilikan kendaraan (d) jumlah kendaraan berdasar kan bahan bakar, (e) pendapatan perkapita. Sedangkan menurut Asri dan Hidayat, 2005, kebutuhan BBM dipenagruhi oleh beberapa atribut seperti kendaraan, jalan, dan faktor regional pengoperasionalannya. Disisi lain BBM sendiri dipengaruhi oleh (a) efektifitas pemakaian kendaraan, (besaran perbandingan antara jumlah kendaraan yang beroperasi dengan jumlah otyal keseluruhan tiap hari9cnya (b) rata-rata perjalanan per hari (jarak rata-rata yang ditempuh diap kendaraan dalam sehari), (c) frekuensi pemakaian kendaraan, (besaran yang menunjukkan berapa kali rata-rata kendaraan dipakai setiap harinya); (d) faktor penunjang perjalanan (besar perbandingan jarak sebenarnya yang ditempuh dengan panjang sebenarnya yang terdekat). (e) konsumsi bahan bakar pada jarak tertentu untuk setiap jenis kendaraan (salah satu faktornya dipengaruhi oleh perubahan kecepatan).

Sedangkan Iskandar (2001) menyatakan pemborosan BBM disebabkan oleh (a) bertambahnya jumlah kendaraan, (b) tidak adanya angkutan umum yang nyaman dan terjangkau, terutama di Kota Besar, sehingga mendorong masyarakat untuk menggunakan kendaraan pribadi, (c) faktor perawatan kendaraan dan cara mengemudi yang benar tidak banyak diterapkan oleh pengguna jalan dan pemilik kendaraan, akhirnya menimbulkan pemborosan energi.

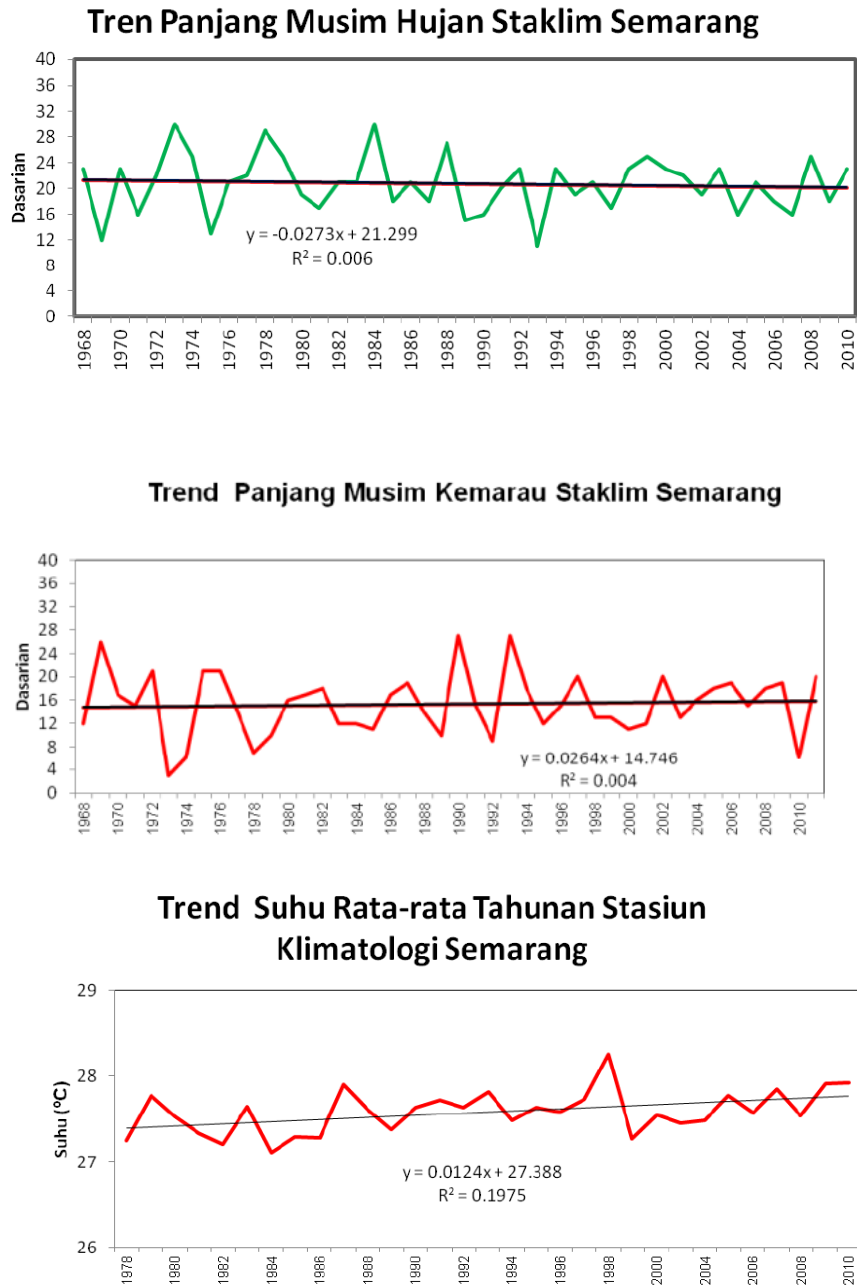
K. Trend Iklim di Kota Semarang

BMKG (2012) menjelaskan adanya tren perubahan iklim dari analisis kondisi panjang curah hujan dan musim kemarau. Data yang digunakan adalah mulai tahun 1968 hingga 2010. Stasiun Klimatologi Kota Semarang menjelaskan bahwa panjang musim hujan (PMH) menunjukkan tren penurunan dari tahun ke tahun dengan peningkatan sebesar 0,03 dasarian artinya ada tren musim hujan semakin pendek dari tahun ke tahun. Musim hujan terpanjang terjadi pada tahun 1973 yang mencapai nilai 30 dasarian, sedangkan yang terpendek yaitu pada musim 1992 yaitu sebesar 11 dasarian.

Pada tahun 1968 sampai 2011, panjang musim kemarau (PMK) di Stasiun Klimatologi Semarang menunjukkan tren peningkatan dari tahun ke tahun dengan tren sebesar 0.026 dasarian. Kondisi ini menunjukkan bahwa ada tren musim kemarau yang panjang. Musim kemarau terpendek terjadi pada musim kemarau 1973 selama 3 dasarian dan terpanjang pada musim kemarau 1993 yang mencapai 28 dasarian.

Pada tahun 1978 sampai 2010, tren suhu rata-rata tahunan di Stasiun Klimatologi Semarang menunjukkan tren peningkatan suhu sebesar 0,01°C pertahun. Pada tahun 1998 terjadi suhu rata-rata tertinggi yaitu 28,3°C dan suhu rata-rata terendah terjadi pada tahun

1984 yaitu sebesar 27,1°C. Keterangan terkait klimatologi tersebut dijelaskan pada gambar dibawah ini.

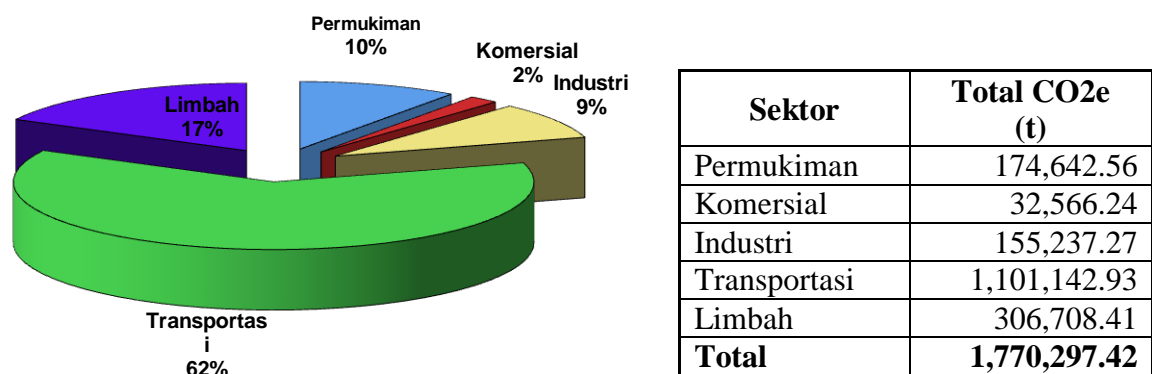


Sumber: BMKG (2012)

Gambar 8. Grafik Panjang Musim Hujan, Kemarau dan Suhu rata-rata tahunan

L. Perhitungan Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Semarang

Berdasarkan draft Laporan Inventaris Gas Rumah Kaca Kota Semarang 2010-2020 (Pemerintah Kota Semarang, Giz-Paklim, 2011) menjelaskan bahwa sektor yang menyumbangkan emisi terbesar di lingkup masyarakat adalah sektor transportasi yaitu setara dengan 1,101,142.93 t CO₂e. Hal ini bisa dimaklumi karena data ini diperoleh dari Pertamina Kota Semarang yang berupa data konsumsi BBM yang pembeliannya dari wilayah Kota Semarang, sedangkan konsumsi BBM ini sendiri tidak spesifik dipergunakan oleh masyarakat Kota Semarang untuk melakukan transportasi dalam Kota saja. Karakteristik Kota Semarang yang juga sebagai kota transit dan Ibukota Provinsi Jawa Tengah juga berarti konsumsi BBM yang tercatat tidak hanya untuk melayani Kota Semarang saja namun besar kemungkinan lintas wilayah baik itu Jawa Timur maupun Jawa Barat. Lebih jelasnya tentang perhitungan emisi CO₂ dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Sumber: Pemerintah Kota Semarang, Giz-Paklim (2012)

Gambar 9. Persentase emisi lingkup masyarakat dari sektor energi

Pada umumnya memang lebih mudah untuk menghitung gas rumah kaca pada sektor transportasi karena termasuk pembakaran bahan bakar fosil, maka gas rumah kaca di sektor transportasi yang paling utama adalah karbondioksida (CO₂). Namun demikian ada beberapa

penelitian yang menghitung emisi gas buang dengan beberapa metode. Adapun metode-metode dalam penghitungan emisi gas buang kendaraan sebagai berikut:

Formulasi perhitungan emisi gas rumah kaca diatas berdasarkan konsumsi bahan bakar dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{GHG(inKg)} &= \text{Penjualan Bahan Bakar(Liter)} \times \text{Faktor Emisi (KgGHGperLiter)} \\ \text{TotalGHG(dalamCO2 eq)} &= \text{CO}_2 + (310 \times \text{N}_2\text{O}) + (21 \times \text{CH}_4) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Menghitung emisi dengan carabatas bawah ke batas atas (*bottomup*) adalah untuk menurunkan tingkat emisi CO₂ pada kegiatan transportasi dalam bentuk konsumsi bahan bakar kendaraan. Berdasarkan jumlah kendaraan dan rata-rata jarak tempuhnya, total kilometer kendaraan dari semua moda dapat dihitung. Dengan mengalikan total kilometer armada kendaraan dengan konsumsi bahan bakar rata-rata kendaraan akan menghasilkan jumlah konsumsi bahan bakar. Kemudian (seperti dalam bahan bakar berbasis pendekatan *top-down*), konsumsi bahan bakar total dapat diubah menjadi CO₂ melalui penerapan faktor-faktor emisi tertentu per liter bahan bakar. Menurut SUTIP (2010) kedua pendekatan tersebut dapat digunakan untuk memeriksa dan memverifikasi data.

$$\text{GHG(CO}_2\text{)} = \text{jumlah kendaraan} \times \frac{\text{ØKilometer Kendaraan}}{\text{ØKonsumsi Bahan Bakar (in}\frac{\text{km}}{\text{T}}\text{)}} \times \text{faktor emisi (kg}\frac{\text{CO}_2\text{}}{\text{L}}\text{)} \dots\dots\dots(11)$$

Sumber: SUTIP, 2010

Perhitungan gas emisi kendaraan CO₂ diatas dalam prosesnya dianggap cukup mewakili dalam memberikan status informasi besarnya CO₂e yang ada di Kota Semarang. Namun dalam perkembangannya, informasi tersebut akan menjadi kendala karena informasi yang global dari kebutuhan BBM tidak dapat mewakili kondisi riil yang terjadi dilapangan. Terbatasnya informasi ini tidak dapat mewakili tentang jumlah kendaraan, panjang perjalanan, topografi jalan, tingkat kemacetan dan sistem transportasi yang mempengaruhi jumlah emisi CO₂ tersebut.

Oleh karena itu pada penelitian ini dimaksudkan untuk dapat melakukan pendalaman tentang emisi CO₂ dari sektor transportasi dengan pendalaman informasi yang lebih akurat. Mulai dari jumlah kendaraan, panjang perjalanan, tingkat kemacetan dan sistem transportasi yang ada. Dari informasi tersebut akan dapat dilakukan permodelan guna mengetahui tren kenaikan emisi CO₂ per tahun dan bagaimana konsep pengendalian emisi CO₂ secara berkelanjutan.

Adapun beberapa referensi tentang transportasi dan emisi CO₂ dapat dirangkum dalam beberap tabel di bawah ini dengan beberapa penjelasannya.

Tabel 8. Penulusuran jurnal terkait dengan Emisi CO₂ dan Sustainable Transportasi

Peneliti	Judul/Tema Penelitian
Green House Gas - Emisi CO₂	
Al-Hinti,et.al., 2007	Penyimpanan energi dan CO ₂ mitigasi dalam merekstrukturas sektor transportasi di Jordan : Skenario penggunaan kendaraan diesel.
Bart, 2007	<i>Urban Sprawl</i> dan perubahan iklim: Pencarian statistik dari kasus dan efek dengan pilihan kebijakan dari EU
Zeman and Keith , 2008	<i>Carbon Netral Hydrocarbons</i>
Morrow et.al., 2009	Analisa kebijakan dalam menurunkan penggunaan oli dan emisi gas karbon dari sektor transportasi di US
Silva,et.al., 2009	Berbagai pandangan tentang mobilitas perkotaan yang berkelanjutan: studi kasus Brazil
Baerra et. al, 2011	Distribusi teritorial target penurunan emisi dai sudut pandang lingkungan, ekonomi dan sosial
Nocera dan Cavallaro, 2011	Kebijakan efektif untuk emisi CO ₂ di sektor transportasi
Takeshita, 2012	Menilai manfaat mitigasi CO ₂ terhadap polusi emisi udara dari kendaraan bermotor

Trappey et. al., 2012	Evaluasi model untuk kebijakan pulau emisi karbon: studi kasus kebijakan Transportasi Hijau di Taiwan
Qingqi et.al.,2013	Analisa kuantitatif penurunan emisi karbon dari optimalisasi struktur transportasi di China
Zhou et. al.,2013	Studi Performance Emisi Karbondioksida pada sektor transportasi di China
Girod et. al., 2013	Pengaruh dari perilaku berkendara dalam Emisi CO ₂ global
Haque et. al., 2013	Berkelanjutan, aman dan cerdas – tiga elemen yang berkembang dalam kebijakan transportasi di Singapore
Permodelan CO₂	
Cortes et. al., 2002	Platform Simulasi untuk perhitungan konsumsi energi dan emisi di jaringan transportasi
Lu et.al., 2009	Peningkatan jumlah kendaraan, kebutuhan energi dan emisi CO ₂ dari sektor transportasi di Taiwan
Frank., 2010	Carbonless footprints: Promosi kesehatan dan Stabilisasi perubahan iklim melalui transportasi yang aktif
Ismayanti et. al., 2010	Kajian Emisi CO ₂ menggunakan persamaan Mobile 6 dan Mobile Combustion dari sektro transportasi di Kota Surabaya
Tamin O. Z. dan Dharmowijoyo., 2010	Pemilihan metode perhitungan penurunan emisi CO ₂ di sektor transportasi
Almodovar et.al., 2011	Kerangka model untuk estimasi optimal pajak CO ₂ untuk kendaraan pribadi
Ong, et. al., 2011	Review dalam Emisi dan Strategi Mitigasi untuk transportasi darat di Malaysia
Brondfield, et al, 2011	Model dan Validasi dari inventarisasi Emisi CO ₂ di Jalan skala regional perkotaan.
Mazzoldi et. al., 2011	Menilai resiko untuk CO ₂ sektor transportasi menggunakan proyek Carbon Caputure Storage (CCS)

	Model Gaussian Computational Fluid Dynamic (CFD)
Tang et. al., 2012	Model emisi CO ₂ dan energi yang disimpan dari Energi kendaraan baru yang berdasarkan pada <i>logistic-curve</i>
Zahabi et.al., 2012	Emisi GHG pada transportasi dan kaitannya dengan perkotaan, aksesibilitas perpindahan dan teknologi hijau: Studi Kasus Monreal
Zuo et.al., 2013	Model transportasi dari agregat utama di England dan Wales: Mencari inisiatif menurunkan emisi CO ₂
Sustainable Transportasi	
Deakin dan Elizabeth, 2001	Pembangunan yang berkelanjutan dan Transportasi yang berkelanjutan : Strategi untuk ekonomi kemakmuran, Kualitas lingkungan dan kewajaran
Shiftan dan Kaplan , 2003	Skenario membangun sebagai alat dalam perencanaan sistem transportasi yang berkelanjutan
Colvile et.al., 2004	Pembangunan sistem transportasi perkotaan yang berkelanjutan dan human exposure terhadap polusi udara
Bertolin dan Kapoen, 2005	Aksesibilitas yang berkelanjutan: Kerangka pikir yang terintegrasi antara tata guna lahan dan transportasi di Netherland
Lund dan Musnter, 2006	Integrasi transportasi dan kontrol di sektor energi CO ₂ emisi
Miranda dan Silva, 2010	Benchmarking pergerakan kota yang berkelanjutan, studi kasus Brazil.
Taipo, 2012	Langkah kecil kedepan dalam transportasi berkelanjutan, pembahasan media tentang pajak kendaraan untuk karbon dioksida.
Paramesti dan Wulandari, 2013	Analisis Distribusi Perjalanan Menggunakan Model Gravitasi Dua Batasan Dengan Optimasi Fungsi Hambatan, Studi kasus: Kota Semarang dan Kota Surakarta
Wu et. al., 2013	Desain sistem O-D survey dalam perumahan berbasis mobilitas penduduk

M. Pemanasan Global

IPCC (2007) menyatakan bahwa Pemanasan Global (Global Warming) adalah dampak dari meningkatnya efek gas rumah kaca yang terus menerus terjadi. Secara nyata dibuktikan dan perhitungan para ahli bahwa efek gas rumah kaca (GRK) ini disebabkan oleh meningkatnya aktivitas manusia salah satunya adalah dari sektor transportasi. Dampak dari GRK adalah suhu udara yang terus menerus meningkat atau bertambah panas, sehingga menyebabkan terjadinya gelombang udara panas yang semakin ganas, dan menyebabkan pencairan es di kutub utara dan selatan serta sejumlah glester (sebagai salah satu sumber air bersih) habis. Suhu dan level permukaan air laut pun terus bertambah. Pemanasan global ini menyebabkan terjadinya perubahan iklim (Climate Change) yang begitu ekstrem, perubahan cuaca memiliki panas yang lebih lama pada suatu musim terjadi sebaliknya. Akibatnya, bencana alam dan kerusakan lingkungan yang dahsyat terjadi dimana-mana. Hal ini berdampak pada terjadinya kerusakan hebat dan tidak terpicirkan di muka bumi ini.

UNFCCC (1998) menyatakan bahwa penyebab terjadinya perubahan iklim ini tidak lain adalah akibat oleh ulah manusia itu sendiri. Perubahan iklim global diakibatkan oleh efek emisi gas-gas seperti CO₂, CH₄, N₂O, CF₄, C₂F₆. Gas ini yang menyebabkan terjadinya suhu udara seperti dirumah kaca di atmosfer yang kemudian dikenal dengan Gas Rumah Kaca (GRK). Emisi gas tersebut diproduksi oleh kegiatan industri, transportasi dan aktivitas manusia lainnya yang mempergunakan sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas serta berkurangnya kemampuan hutan dalam menyerap CO₂ akibat tingginya deforestasi. Kementerian Lingkungan Hidup, 2009, menjelaskan bahwa Pemanasan Global dan

perubahan iklim adalah fenomena meningkatnya konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer akibat berbagai aktifitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan dan hutan, serta kegiatan pertanian dan peternakan. Salah satu GRK yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap pemanasan global dan perubahan iklim adalah CO₂. Susandi, 2004, menyampaikan bahwa saat ini diperkirakan bahwa konsentrasi CO₂ di atmosfer telah mengakibatkan lebih 50% dari total efek GRK. Sementara itu di Indonesia total gas CO₂ di atmosfer adalah tidak kurang dari 70 juta metrik ton karbon.

Berdasarkan pengamatan IPCC (2007) dalam *assessment report* menyampaikan bahwa selama 157 tahun terakhir, suhu dipermukaan bumi awalnya hanya mengalami peningkatan sebesar 0,05°C per dekade (10 tahun). Namun selama 25 tahun belakangan ini peningkatan suhu 0,18°C. Sementara itu, Kobert, 2006, melaporkan selama musim panas 2002, telah terjadi pencairan es di kutub utara termasuk kawasan terdekatnya, yakni Greenland, dimana merupakan daerah yang 80% wilayahnya tertutup es. Sedangkan Direktur National Center for Scientific Research (NCSR, Paris Perancis), Jean-Claude Gascard yang mengungkapkan penelitian bahwa pada musim panas 2008 pencairan es di kutub utara dan Greenland semakin membesar, dan menemukan fakta pada penelitian di Arktik selama 16 bulan bahwa dalam 20 Tahun terakhir sudah 20% lapisan es mencair. Menurut para ilmuwan juga menyatakan bahwa dengan mencairnya es di kutub utara dan Greenland mencair maka kenaikan permukaan air laut bisa mencapai 7 meter. Data Kementerian Lingkungan Hidup (KLH, 2010) kenaikan permukaan air laut 1 meter saja bisa menyebabkan Indonesia kehilangan 346.808 hektare lahan persawahan dan akan menyebabkan para petani kehilangan pekerjaannya dan produksi turun sekitar 2.080.848 ton.

N. Perubahan Iklim

Menurut Intergovernmental Panel in Climate Change (IPCC) (2007) perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi pada kondisi iklim yang merupakan hasil dari penggunaan uji statistik dari perubahan-perubahan pada nilai rata-rata atau variabilitas iklim, dengan memperhatikan adanya perubahan yang terjadi pada periode panjang, yaitu decade atau lebih. Perubahan iklim dapat disebabkan oleh proses-proses internal alami (*natural internal process*) atau di picu oleh proses eksternal yang besar (*external forcings*) atau oleh perubahan persetan pada komposisi atmosfer atau guna lahan (*land use*) akibat aktivitas manusia (*anthropogenic*).

Kementrian Lingkungan Hidup (2001) menjelaskan bahwa perubahan iklim adalah perubahan kondisi fisik atmosfer bumi yang berupa suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan manusia. Jangka waktu perubahan tidak hanya terjadi sesaat namun juga dalam kurun waktu yang panjang (Kementrian Kesehatan, 2011).

United Nations Framework Convetion on Climate Change (UNFCC, 1992) dalam artikel 1 menyebutkan bahwa pengertian perubahan iklim adalah perubahan pada iklim yang secara langsung maupun tidak langsung dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang berakibat pada perubahan komposisi atmosfer secara global dan menambah variabilitas iklim alami dalam periode waktu tertentu.

LAPAN (2002) mendefinisikan perubahan iklim adalah perubahan rata-rata salah satu atau lebih elemen cuaca pada suatu daerah tertentu. Sedangkan istilah perubahan iklim skala global adalah perubahan iklim dengan acuan wilayah bumi secara keseluruhan pada variasi rata-rata kondisi iklim suatu tempat atau pada varibilitas yang secara statistik untuk jangka waktu yang panjang (biasanya dekade atau lebih). Murdiyoso (2003) bahwa perubahan iklim

mungkin karena proses alam internal maupun ada kekuatan eksternal atau ulah manusia yang terus menerus mengubah komposisi atmosfer dan tata guna lahan. Menurut Gernowo dan Yulianto (2010), Perubahan iklim dijelaskan sebagai berubahnya kondisi atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi hujan yang memberikan dampak dan pengaruh terhadap berbagai sektor kehidupan manusia. Perubahan fisik ini tidak terjadi hanya sesaat tetapi dalam kurun waktu dan dekade yang panjang.

BMKG (2012) menyampaikan bahwa kondisi iklim yang ada di bumi sangat dipengaruhi oleh keseimbangan panas yang terjadi di Bumi sendiri Aliran panas yang ada saat ini berada dalam sistem iklim di bumi adalah bekerja karena adanya proses radiasi dan sumber utama radiasi adalah matahari. Dari seluruh jumlah radiasi matahari yang menuju ke permukaan bumi, sepertiganya dipantulkan ke ruang kasa oleh atmosfer dan permukaan bumi.

Dua pertiga radiasi yang tidak dipantulkan, besarnya energi sekitar 240 Watt/m^2 , diserap oleh permukaan bumi dan atmosfer. Agar menjaga kesetimbangan panas, bumi memancarkan kembali panas yang diserap tersebut dalam bentuk radiasi gelombang pendek. Sebagian radiasi gelombang pendek yang dipancarkan oleh bumi diserap oleh gas-gas tertentu di dalam atmosfer yang dikenal sebagai gas rumah kaca. Selanjutnya gas rumah kaca meradiasikan kembali panas tersebut kembali ke bumi. Mekanisme ini dikenal sebagai efek rumah kaca. Efek rumah kaca inilah yang menyebabkan suhu bumi relatif hangat dengan rata-rata 14°C , tanpa efek rumah kaca suhu bumi hanya sekitar -19°C .

Gas rumah kaca yang paling dominan adalah uap air (H_2O), kemudian disusul oleh karbondioksida (CO_2). Gas rumah kaca yang lain adalah methana (CH_4), dinitro-oksida (N_2O), ozone (O_3) dan gas-gas lain dalam jumlah yang lebih kecil. Dengan demikian pengertian dari Pemanasan global pada dasarnya adalah peningkatan suhu rata-rata atmosfer

di dekat permukaan bumi dan laut selama beberapa dekade terakhir dan proyeksi untuk beberapa waktu yang akan datang.

Berdasarkan pengamatan selama 157 tahun terakhir oleh IPCC (2007) menunjukkan bahwa suhu permukaan bumi global mengalami peningkatan sebesar 0,05°C/dekade. Dan selama 25 tahun terakhir peningkatan suhu semakin tajam, yaitu sebesar 0,18°C/dekade. Gejala pemanasan juga terlihat dampaknya dengan adanya peningkatan suhu laut, naiknya permukaan laut, pencairan es dan berkurangnya salju di belahan kutub utara.

O. Model Matematis perhitungan emisi CO₂

1. Motor Vehicle Emission Inventory (MVEI) : model deskripsi and paramaters

Menurut El-Fadel dan Bou-Zeid, 1999 dengan model MVEI, yang dikembangkan dari California Air Resources Board (CARB) atau Lembaga Sumber Daya Udara Kalifornia. Model ini digunakan untuk melakukan estimasi jumlah polutan dari sektor transportasi jalan. Model persamaan dasar yang mengatur persamaan tersebut adalah:

$$Q_T = \sum q_i a_i \dots\dots\dots (12)$$

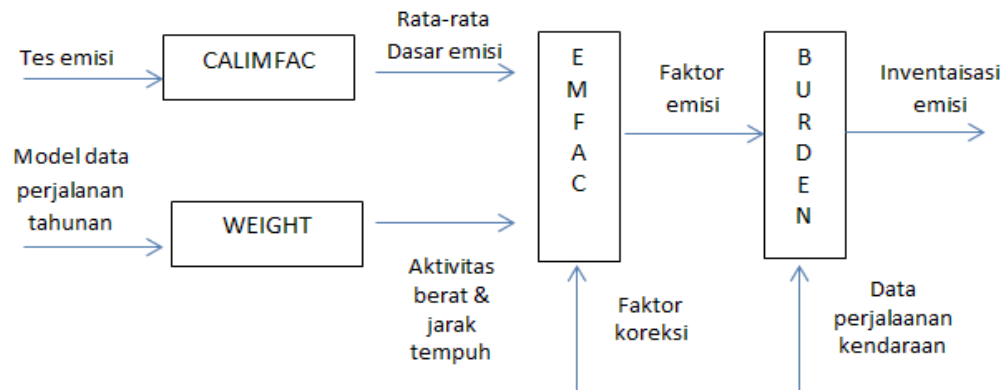
Dimana :

Q_T : jumlah total gas emisi (grams),

Q_i : faktor emisi dari jenis kendaraan (i) (gram/mil) (1 mil = 1,6093 km)

a_i : kegiatan berdasarkan kelas (i) (mil) atau (km)

Faktor emisi dan aktivitas dihitung untuk kelas kendaraan berdasarkan pada teknologi, usia dan paramter armada. Model ini sendiri memiliki empat modul, masing-masing memiliki fungsi yang berbeda. Fungsi ini dan alur data dalam MVEI digambarkan pada gambar dibawah ini.



CALMFAC : Menghasilkan emisi dasar rata-rata untuk masing-masing model tahunan, kelas kendaraan dan gup teknologi.

WEIGHT : menghitung akumulasi jumlah jarak dan bobot relatif untuk setiap kategori di bahas di dalam CALIMFAC

EMFAC : menghasilkan faktor dasar produksi komposit armada dalam informasi dari pertama menjadi ke dua dalam submodels.

BURDEN : kombinasi faktor emisi dengan data aktivitas untuk inventarisasi penurunan emisi

Sumber: Fadel dan Zeid (2009)
Gambar 10. Skema Model perhitungan CO₂

ARB, 1996 menjelaskan bahwa versi MVE17 G yang digunakan diluncurkan pada tahun 1996 dan merupakan versi pertama dari model estimasi emisi CO₂. Selain itu, ini juga mengestimasi jumlah emisi CO₂ dan bahan bakar. Untuk bahan bakar gas mobil, truk (dengan perhitungan 80% emisi CO₂), modelnya dibangun faktor emisi CO₂ dan perhitungan konsumsi bahan bakar oleh keseimbangan karbon dengan rumus sebagai berikut:

$$C_F : C_{CO_2} + C_{CO} + C_{VOCs} \dots\dots\dots (13)$$

dimana:

- C_F : konten karbon dari bahan bakar (g)
- C_{CO₂} : emisi karbon sebagai CO₂ (g)
- C_{CO} : emisi karbon sebagai CO (g)
- C_{VOCs} : emisi karbon sebagai VOCs (g)

2. Model COPERT

Ariela et. al., 2010, menjelaskan sebuah pendekatan dari jarak perjalanan di implemenasikan dan dikembangkan secara terpisah dalam melakukan inventarisasi emisi untuk tahun 2006. Emisi tahunan diestimasikan menggunakan metode COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000a,b). Dimana total emisi berdasarkan kategori dan spesies diestimasikan dalam kontribusi terhadap penguapan emisi, panas, dingin. Emisi Panas dan dingin dalam proses pemanasannya (warming up) dapat diperhatikan dari di hitung sebagai dasar dari perhitungan sebagai berikut:

$$E_{i,j,k} = N_j \times VKT_{j,k} \times EF_{i,j,k} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

- $E_{i,j,k}$: Emisi dari jenis i, kategori kendaraan j, dan jenis jalan tipe k, mesin yang berterminal stabil
- N_j : jumlah dari jumlah kendaraan yang beredar, kategori j,
- $VKT_{j,k}$: Jarak Km perjalanan, kendaraan kategori j, tipe jalan k,
- $EF_{i,j,k}$: Faktor emisi panas, jenis i kategorikendaraan j, jenis jalan tipe k.

3. Model Penggunaan Energi dan Emisi CO₂

He et.al., 2013, Pada penelitian ini dijelaskan bahwa emisi gas yang dihasilkan berdasarkan pada jumlah perilaku penumpang dengan dasar perilaku perjalanan. Adapaun model persamaan dalam menentukan jumlah penggunaan energi dan emisi CO₂ dari sektor penumpang perkotaan yang digunakan dalam hal ini adalah sebagai berikut:

$$Fuel_j = \sum_i \frac{Trips \times Residents \times P_{ij} \times Distance_{ij}}{Load_{ij}} \times Fe_{ij} \times density_j \times 10 \dots\dots\dots(15)$$

$$CO_2 = \sum_j Fuel_j \times Carbon_intensity_j \times 44/12$$

Dimana:

- a) i, j menunjukkan mode perjalanan i dengan bahan bakar j ,
- b) Bahan bakar j adalah Konsumsi Bahan bakar j (dalam ton / hari),
- c) Perjalanan dan jumlah penduduk dalam perjalanan per trip per orang per hari, dan jumlah penduduk dalam kota (juta) masing-masing.
- d) $P_{i,j}$, jarak i, j dan muatan diwakili dalam mode terpisah (%), jarak perjalanan untuk masing-masing mode (km) dan faktor muat masing-masing mode (orang)
- e) $F_{e_{i,j}}$ dan (Kg/L). Co_2 adalah emisias CO_2 (ton), intensitas karbon j , adalah konten karbon dari bahan bakar j (dalam jumlah).

Metodologi ini dimungkinkan untuk:

1. Estimasi dari jumlah bahan bakar emisi CO_2 di kota atau region untuk penumpang transportasi dan mendapatkan jumlah total nasional emisi CO_2 dengan sistem “bottom-up”.
2. Memanfaatkan sebanyak mungkin data kota seperti jumlah penduduk, berapa rata-rata panjang perjalanan masing-masing orang
3. Membuat asumsi lebih realitis di kota dimana menggunakan data relevan dari kota dengan ukuran yang sama digunakan dan level pembangunan
4. Menggabungkan secara komprehensif skenario kebijakan perkotaan dengan emisi karbon melalui perubahan perilaku perjalanan.

4. Model Mobile Combustion

IPCC, 2007, menggunakan Mobile Combustion sebagai suatu permodelan udara dengan suatu perhitungan matematis untuk memprediksi emisi CO_2 . Perhitungan emisi CO_2 menggunakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi dan jenis bahan bakar dikalikan dengan faktor emisi CO_2 .

Berikut adalah persamaanya = $[Fuel_a \times EF_a]$

$$Fuel_a = \text{Jumlah bahan bakar } \times \text{Energy Content} \dots\dots\dots (16)$$

$$Emission = \sum [Fuel_a \times EF_a] \dots\dots\dots (17)$$

Dimana :

- Energy Content bensin = 34,66 MJ/l
- Energy Content solar = jumlah bahan bakar (TJ)
- EF_a = factor emisi CO₂ untuk tiap jenis bahan bakar (kg/TJ)
- Emission = emisi CO₂ total (kg)
- a = jenis bahan bakar (bensin, solar, dll)

Dalam persamaan mobile combustion ini terdapat beberapa input data, beberapa input data, beberapa input tersebut antara lain:

1. Jumlah bahan bakar

Jumlah bahan bakar didapatkan dari keseluruhan jumlah bahan bakar yang ada data di Kota Semarang dan data tersebut diperoleh dari PT Persero Pertamina di Semarang.

2. Faktor emisi CO₂ untuk tiap jenis bahan bakar (kg/TJ) didapat dari jurnal yang dikelurakan berdasarkan IPCC (2007).

5. Model Mobile 6

Menurut Ismiyanti, et. al. 2010, Mobile 6 adalah suatu permodelan udara dengan suatu perhitungan matematis untuk memprediksi emisi CO₂ dari mobil, truk, sepeda motor dalam berbagai kondisi yang mempengaruhi tingkat emisi yang digunakan, misalnya temperatur udara ambien, kecepatan rata-rata lalu lintas dan lainnya. Adapaun persamaan dalam model Mobil 6 adalah sebagai berikut:

$$\text{Fraksi Kendaraan} = \frac{\text{Jumlah Satu Jenis Kendaraan (mobil)}}{\text{Total Seluruh kendaraan yang berbahan bakar sama}} \dots\dots\dots (18)$$

$$ER_n = [\text{Faktor Emisi} \times \text{Densitas}] \dots\dots\dots(19)$$

$$E = \sum_{n=1}^n (TG_n \times O \times ER_n) \dots\dots\dots (20)$$

Dimana :

Faktor Emisi (g/kg BBM)

Densitas bensin = 0,63 kg/L

Densitas solar = 0,7 kg/L

- ER_n = Faktor emisi CO₂ untuk tiap jenis kendaraan bermotor (g/l)
- e = emisi untuk 1 liter kendaraan CO₂ (smp.kg/l)
- TG = fraksi kendaraan
- O = total jumlah kendaraan bermotor (smp)
- n = jenis kendaraan

Jennifer and Ata dalam Boedisantoso, 2010, perhitungan total emisi kendaraan berdasarkan jenis bahan bakar :

$$\text{Fuel} = \frac{\text{Jumlah bahan bakar (liter)}}{\text{Jumlah kendaraan per bahan bakar (smp)}} \dots\dots\dots (21)$$

$$E = e \times \text{Fuel} \dots\dots\dots (22)$$

E = Total emisi kendaraan (kg)

e = emisi untuk 1 liter kendaraan CO₂ (smp.kg/l)

Fuel = rata-rata bahan bakar per kendaraan (l/smp)

P. Kota yang kompak (*Compact City*)

Compact city adalah suatu model bentukan kota yang mengedepankan kepadatan tinggi dan penggunaan lahan campuran, serta dilengkapi fasilitas transportasi publik yang baik demi mencapai kesejahteraan sosial dan keberlanjutan kehidupan kota. Mendorong masyarakat untuk berjalan dan bersepeda, kebutuhan energy yang rendah dan mengurangi polusi (Williams, 2000 cited in Dempsey 2010).

Compact city menjadi salah satu alternatif yang relevan sebagai salah satu konsep yang menentang pembangunan kota yang acak (*urban sprawl*) yang sebagian besar terjadi di Negara-negara berkembang. Saat ini *urban sprawl* dianggap menjadikan pola hidup yang

boros energy, merusak lingkungan. Hal ini menjadikan konsep compact city sebagai salah satu konsep yang cocok dengan kebutuhan pembangunan kota saat ini.

Q. Hipotesis pengelolaan emisi CO₂ dan transportasi berkelanjutan

Dari beberapa referensi yang telah dijelaskan diatas akan dilakukan model pengelolaan emisi CO₂ yang dapat menjelaskan kondisi sebelum adanya konsep sistem transportasi yang berkelanjutan dan sesudah adanya konsep transportasi yang berkelanjutan. Dengan demikian rencana penggabungan model dari referensi yang ada dapat dijelaskan sebagai berikut:

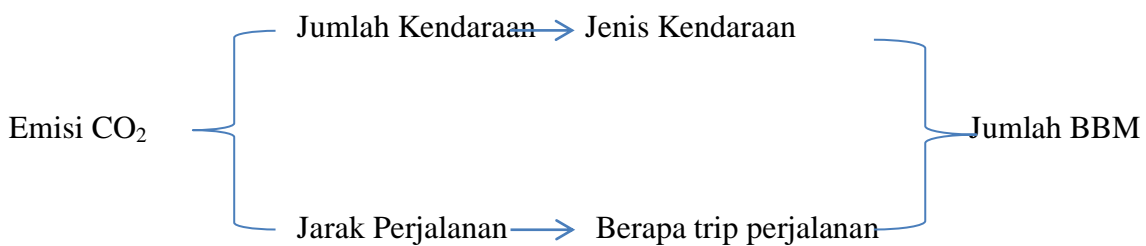
Tabel 9. Kajian tentang Permodelan CO₂ (Litertur ditambah ke Daftar Pustaka)

Permodelan CO₂	
Lu et.al., 2009	<p>Kajian ini membahas bagaimana pengaruh peningkatan jumlah kendaraan di Taiwan terhadap emisi CO₂. Dengan rumus GM sbb</p> $X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$ <p>...</p> <p>Dengan metode ini Pemerintah Taiwan dapat menggunakan kebijakan mitigasi dalam mengurangi emisi CO₂</p>
Almodovar et. al., 2011	<p>Kajian yang membahas estimasi pajak lalu lintas di perkotaan dalam membatasi emisi CO₂. Kerangka kerjanya berdasarkan pada model bi-level terdiri kombinasi model equilibrium dengan kebutuhan elastis dan moodel estimasi “Pajak tentang Polusi” yang dasarnya adalah jarak perjalanan dan emisi yang dihasilkan.</p> $\alpha r_k = P \sum_{a \in k} t_a^0$ <p>dimana model pajak tersebut berdasarkan pada jarak perjalanan</p>

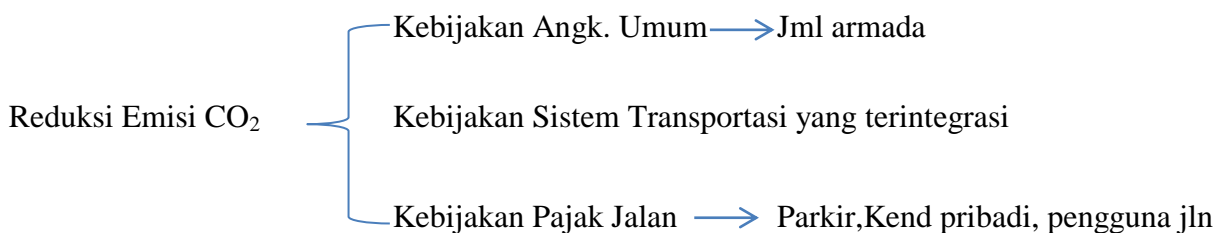
Ismayanti et.al., 2010	Perhitungan emisi CO ₂ menggunakan persamaan Mobile 6 yang berdasarakan jenis kendaraan yang dikelompokkan menurut jenis bahan bakarnya dan Mobile Combustion yang menghitung emisi CO ₂ berdasarkan jumlah dan jenis bahan bakar.
Zahabi et.al., 2012	Menghitung emisi CO ₂ yang merupakan Efek dari perkotaan dan karakter akses perpindahan pada emisi GHG tingkat perumahan dibandingkan dengan efek dengan penggunaan teknologi hijau. Hasilnya dijelaskan dengan pergantian moda menggunakan kereta elektrik dan bus hibrid dapat mengurangi sekitar 32% GHG Emisi dan mberkurang 7% apabula peralihan menggunakan dari mobil ke kendaraan bermotor.
Ong et.al., 2011	Mengkaji tentang penggunaan model COPERT 4 dan kemungkinan strategi mitigasi emisi dimana hasilnya menjelaskan bahwa mobil pribadi menjadi penyumbang utama emisi CO ₂ , No2 dan CO sedangkan kendaraan bermotor menyumbangkan emisi hidrocarbon yang besar. Dengan strategi promosi penggunaan transportasi publik dapat menurunkan sebesar 7% emisi CO ₂ sedangkan strategi lainnya yang ditwarkan adalah perbaruan armada dan promosi akan penggunaan kendaraan gas akan dapat meningkatkan pengurangan emisi di Malaysia.
Brondfield et.al., 2012	Menggabungkan model antara emisi CO ₂ dengan Spatial parameter yang terkait. Adapun dalam model yang ada rumus yang digunakan adalah: $E = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 P + \beta_3 WR + \beta_4 I * P + \beta_5 I * WR + \beta_6 P * WR + \beta_7 I *$ Dimana E adalah emisi CO ₂ harian dan I adalah impervious surface area % dan P adalah kepadatan penduduk (per km ²) dan WR adalah volume lalu lintas km ² . Selain itu juga ada dua metode dengan menggunakan ISA, dan metode Vulcan

	dan TAZ. Hasil dari kedua metode ini berbeda dalam segi pemetaan untuk menggambarkan hasil permodelan yang ada. Dan pendekatan Vulcan dan TAZ dianggap paling mewakili kaitannya spatial dan emisi CO ₂ .
Mazzoldi et.al., 2011	Membandingkan perhitungan gas karbon sektor transportasi menggunakan CCS dan model CFD. EU menggunakan model CFD dalam mengurangi tingkat resiko emisi karbon dari sektor transportasi dengan sistem CCS

Dari beberapa referensi hipotesa tentang permodelan CO₂ terkait dengan Sistem transportasi yang berkelanjutan adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram Emisi CO₂ dan Jumlah BBM



Gambar 12. Diagram Reduksi Emisi CO₂

Reduksi emisi ini merupakan gabungan antara kebijakan-kebijakan pemerintah yang dapat memberikan perubahan signifikan terhadap laju pertumbuhan kendaraan bermotor

seperti peningkatan pajak kendaraan, pajak jalan raya, parkir, ATCS, dan juga peningkatan angkutan umum yang mampu mengalihkan pengguna kendaraan pribadi ke angkutan umum.

Sedangkan rumus untuk penggunaan bahan bakar bagi setiap kendaraan juga perlu dikaji dalam menentukan sejauh mana besar kendaraan bermotor yang beroperasi berbanding lurus dengan kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) dan dampaknya terhadap emisi. Adapun rumus tersebut adalah:

$$\text{Fuel}_{ij} = \frac{\text{Jarak Perjalanan} \times \text{Jumlah kendaraan} \times \text{jenis Kendaraan}}{\text{Jumlah angkutan umum}} \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Fuel}_{ij} \times \text{faktor emisi} \dots\dots\dots(24)$$

Sehingga Hipotesa rumus peemodelannya adalah (24) + (25) sebagai berikut:

$$\text{Strategi Penurunan CO}_2 = \frac{\text{Emisi CO}_2}{\text{ReduksiEmisi CO}_2} \times 100\% \dots\dots\dots (25)$$

Keterangan :

Fuel_{ij} = Bahan bakar yang dibutuhkan dalam suatu perhjalanan

Emisi CO₂ = besarnya emisi CO₂ yang diakbitan dari sektor transportasi

Strategi CO₂ = Besarnya emisi CO₂ yang dikombinasikan antara hasil dengan emisi CO₂