



Sumber gambar: Reuters



WRI INDONESIA



Webinar

**Di Balik Aplikasi EMISI: Memahami,
Menghitung, dan Menyerap Emisi dari
Transportasi Darat**

Metodologi Perhitungan Emisi CO₂ dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Dipresentasikan di

Webinar: Metodologi di Balik Aplikasi EMISI
Kamis, 15 Oktober 2020



Daftar Isi Presentasi

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

1 Emisi GRK dan Polutan udara dari transportasi

2 Alur perhitungan dalam aplikasi EMISI

3 Metodologi perhitungan emisi GRK (CO₂)

4 Metodologi perhitungan polutan udara

5 Pengembangan selanjutnya



Sumber gambar: channelnewsasia.com/

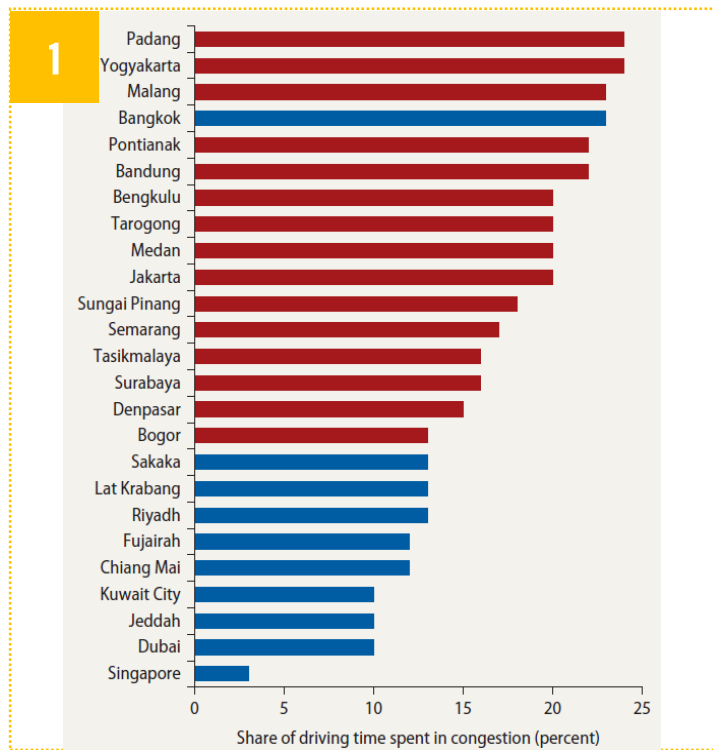


Emisi GRK dan Polutan Udara dari Sektor Transportasi (1/2)

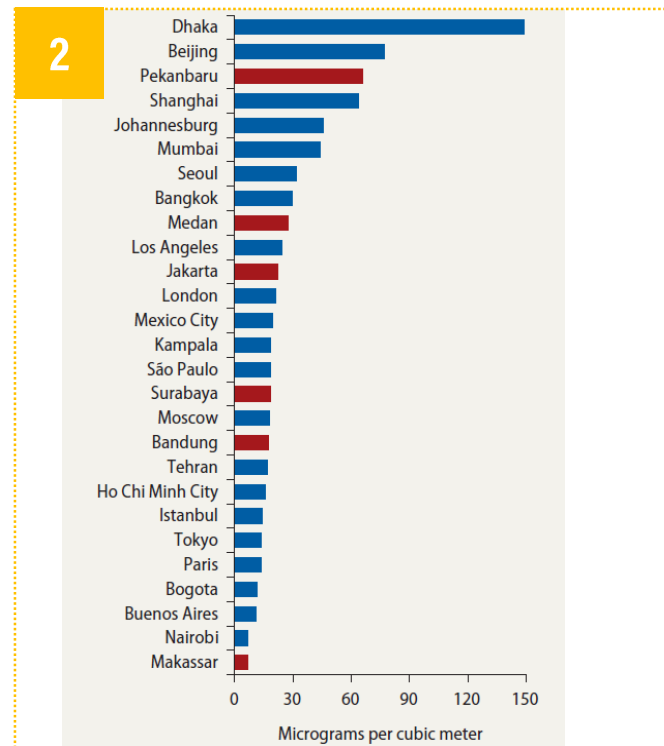
Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Transportasi menghubungkan kita kepada berbagai kesempatan.

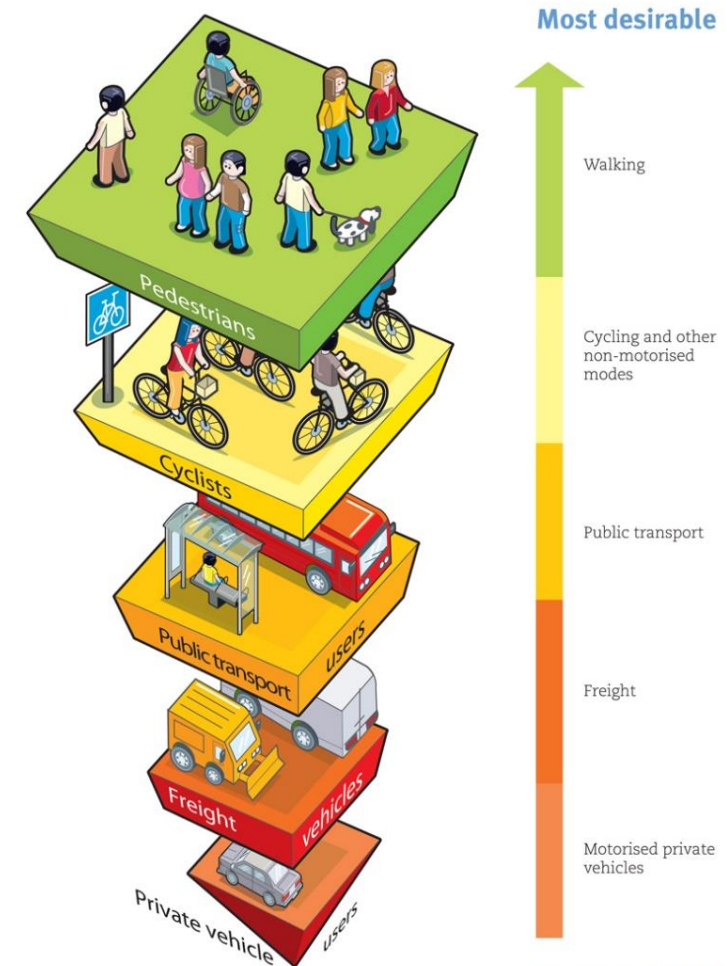
Namun, transportasi juga berkontribusi terhadap perubahan iklim.



Biaya kemacetan di perkotaan Indonesia mencapai 100 juta USD di 6 kota dan 2,6 milyar USD di DKI Jakarta.

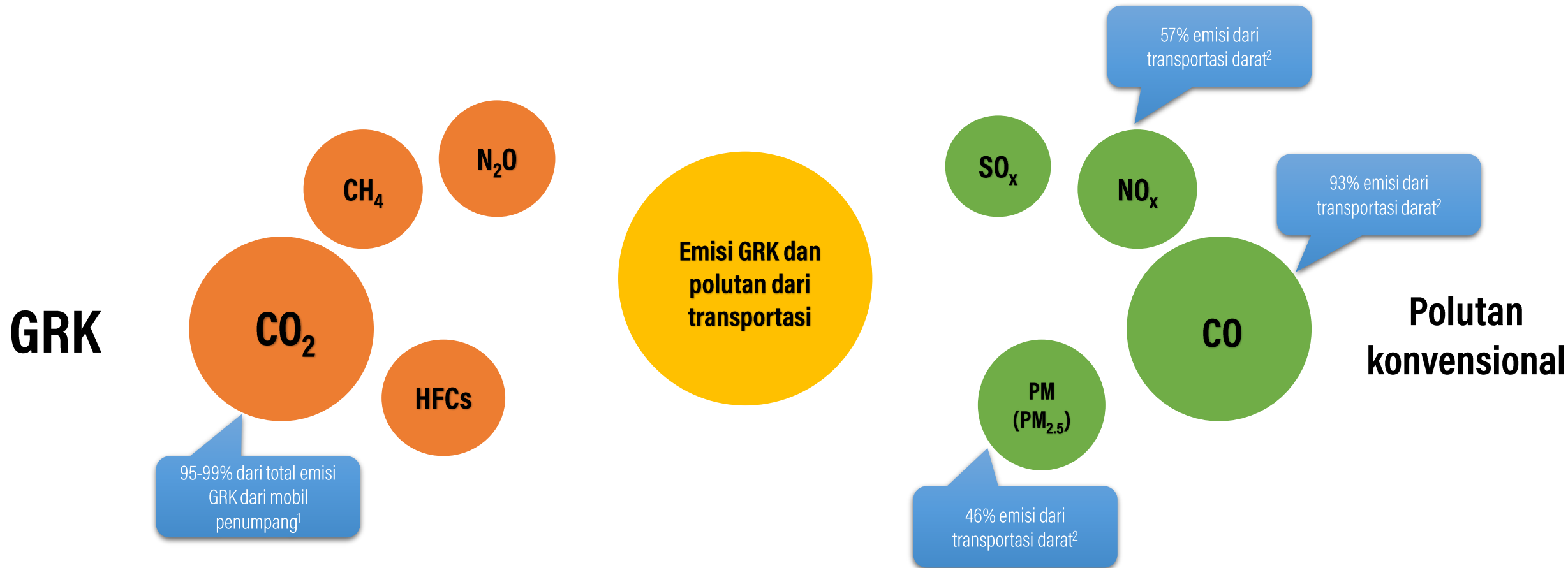


Rata-rata Konsentrasi (harian) PM_{2.5}, Indonesian dan kota-kota di dunia, 2015



Emisi GRK dan Polusi Udara dari Sektor Transportasi (2/2)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat



¹USEPA (Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle), 2018

²Puji Lestari *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 489 012014

Ruang Lingkup Perhitungan

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Moda Transportasi

Mobil/Taksi

Sepeda motor/Ojek

Angkot

Bus

Kereta listrik

Emisi GRK dan Polutan Udara

CO₂

CO

SO₂

NO_x

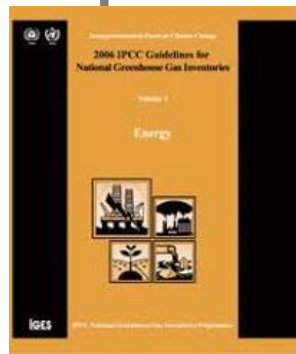
PM_{2.5}

Faktor-faktor Dalam Perhitungan Emisi GRK dan Polutan Udara

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Emisi dari sektor transportasi termasuk kedalam emisi dari *mobile combustion*.

*IPCC, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Volume 2 Energy, Chapter 3.*



Top Down Approach: perhitungan berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan/terjual.

Faktor dalam perhitungan: faktor emisi untuk setiap liter bahan bakar.

Bottom Up Approach: perhitungan berbasis aktivitas yang dilakukan. ✨

1

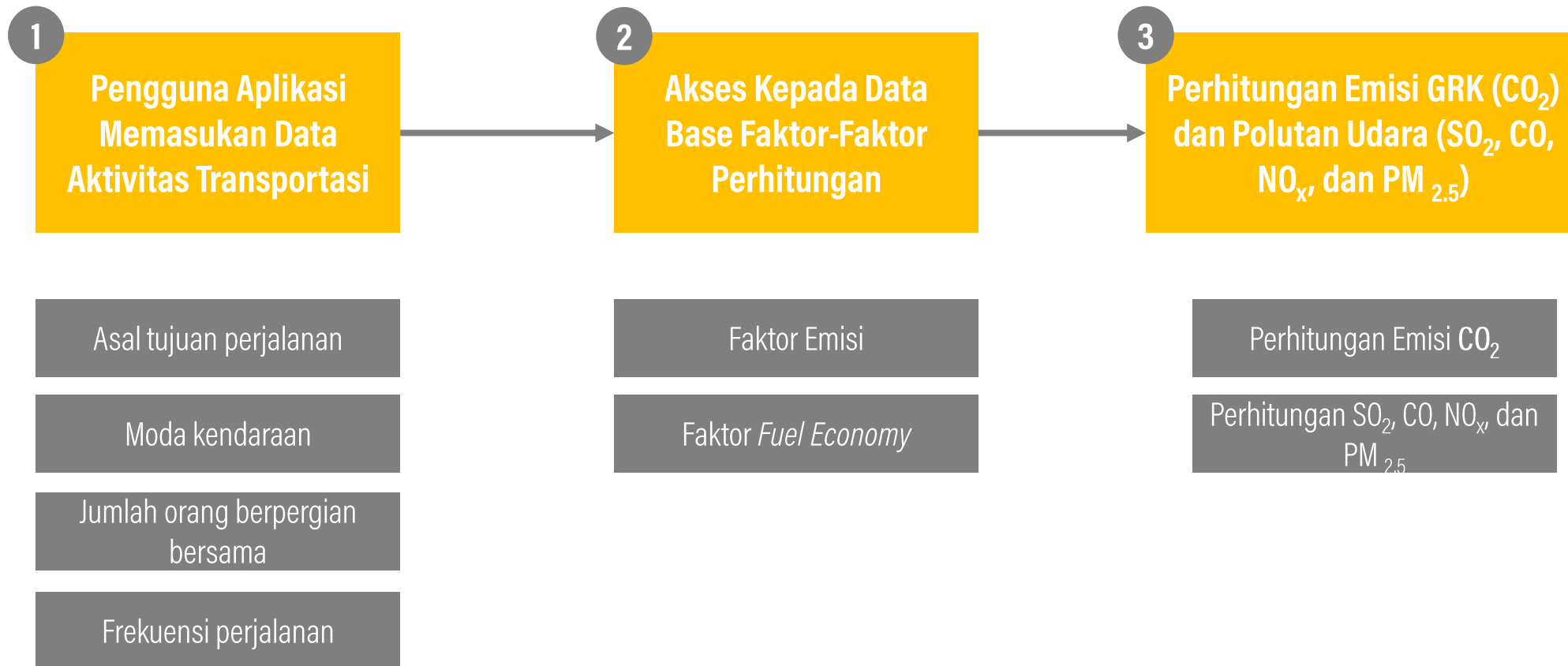
Fuel based approach: menghitung emisi dari jumlah penggunaan bahan bakar dengan data aktivitas antara lain jarak perjalanan dan moda perjalanan. Faktor dalam perhitungan: *energy economy* dan faktor emisi untuk setiap liter bahan bakar/energi yang digunakan.

2

Distance based approach: menghitung emisi dari jarak perjalanan data aktivitas antara lain jarak perjalanan dan moda perjalanan. Faktor dalam perhitungan: faktor emisi untuk setiap jarak perjalanan.

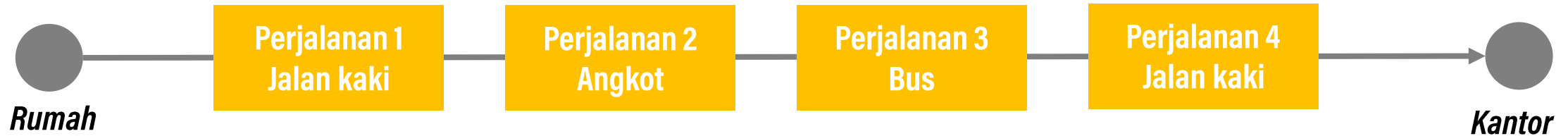
Alur Perhitungan Dalam Aplikasi EMISI

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat



Metode Perhitungan Emisi GRK - CO₂ (1/3)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat



Persamaan dalam menghitung total emisi CO₂ menggunakan *fuel-based method* yaitu:

$$\text{Total Emisi CO}_2 = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{FCF_{ij}} \times \frac{EFS_{k/w}}{PT_i}$$

Dimana:

i ($i=1,2,\dots, N$): jumlah trip ke- i^{th} yang dicatat,

D_i : jarak (km) perjalanan pada perjalanan ke- i^{th} ,

FCF_{ij} : faktor konsumsi bahan bakar/listrik untuk moda transportasi- j

EFS_k : faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar/pembangkit listrik (satuan kg-emisi/liter atau kg-emisi/kWh)

PT_i : jumlah orang yang berpergian bersama pada perjalanan ke i^{th} .

Total emisi adalah pejumlahan semua emisi pada keseluruhan perjalanan (1 sampai N).

Metode Perhitungan Emisi GRK – CO₂ (2/3)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Faktor konsumsi bahan bakar/listrik untuk moda transportasi:

Moda transportasi	Faktor konsumsi listrik/bahan bakar	Unit
Mobil (gasoline) ^a	9.8	km/liter
Van/minibus (gasoline) ^a	8	km/liter
Mobil (diesel) ^b	10.3	km/liter
Angkot (gasoline) ^a	7.5	km/liter
Taksi (gasoline) ^a	8.7	km/liter
Bus sedang (diesel) ^a	4.0	km/liter
Bus besar (diesel) ^a	3.5	km/liter
Sepeda motor (gasoline) ^a	28	km/liter
Kereta listrik (8 cars) ^c	0.0325	km/kWh
Kereta listrik (6 cars) ^c	0.0433	km/kWh

Sumber: a. MoEF 2010; b. IPCC 2006; c. Wang and Rakha 2017.

Faktor konsumsi bahan bakar/listrik merupakan faktor yang merepresentasikan kebutuhan energi untuk mencapai jarak perjalanan tertentu.

Contoh:

Jika kita menggunakan mobil sejauh 9.8 km/liter, hal ini membutuhkan bahan bakar sejumlah 1 liter.

Notes:

Dalam menentukan faktor ini, dilakukan perhitungan pada beberapa sampel. Pada publikasi emisi, faktor ini menggunakan hasil analisis dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, IPCC, dan Wang dan Rakha.

Faktor ini merupakan nilai wakil pada setiap kendaraan.

Metode Perhitungan Emisi GRK – CO₂ (3/3)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Faktor emisi untuk setiap jenis bahan bakar:

Fuel/Energy	CO ₂ Emission Factor	Unit
Automotive diesel oil ^{a,b}	2.68	kg CO ₂ /liter
RON 92 gasoline ^{a,b}	2.39	kg CO ₂ /liter
RON 88 gasoline ^{a,b}	2.41	kg CO ₂ /liter
Grid electricity ^c	0.774	kg CO ₂ /kWh

Notes: kWh = kilowatt-hour. Nilai kalor untuk bensin is 33×10^{-6} TJ/liter; untuk diesel 38×10^{-6} TJ/liter.

Sumber: a. MoEF 2017; b. MoEMR 2017; c. Brander et al. 2011.

**Recommended Procedures for Development of Emissions Factors and Use of the WebFIRE Database, USEPA 2013*

Faktor emisi merupakan faktor yang merepresentasikan jumlah emisi per konsumsi energi/bahan bakar.

Contoh:

Jika kita menggunakan bahan bakar RON 92 bensin 1 liter, hal ini menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2.39 kg.

Notes:

Faktor emisi ditentukan berdasarkan data pengukuran emisi, perhitungan kesetimbangan massa, pemodelan, dan engineering judgment (USEPA, 2013)*. Pada publikasi emisi, faktor ini menggunakan hasil analisis dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam, dan Wang dan Brader.

Faktor ini berasosiasi pada bahan bakar tertentu yang menjadi nilai wakil.

Contoh Perhitungan Emisi CO₂

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Contoh Perhitungan:

Saya mencatat perjalanan saya:

Perjalanan 1:

10 km menggunakan mobil sendiri

Perjalanan 2:

10 km menggunakan motor sendiri

Perjalanan 3:

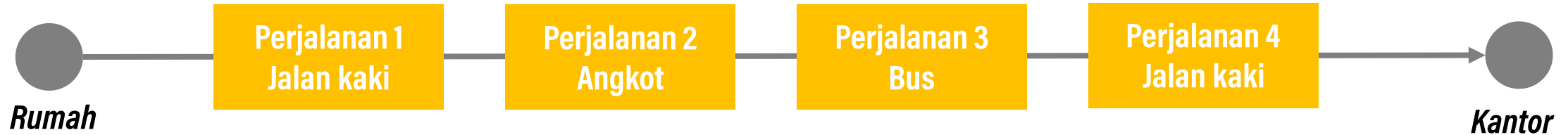
20 km menggunakan kereta api

Perjalanan ini 5 kali seminggu saya lakukan

Perjalanan ke	Kendaraan	Jarak (km)	Energy Conversion (km/kwh) or (km/liter)	Emission Factor (kG/liter) or (kG/kWh)	Total Emisi	Jumlah Orang Berpergian	Emisi Per Orang Per Perjalanan Per Hari	Frekuensi Perminggu	Perminggu (kGC02)	Perbulan (kGC02)	Pertahun (kGC02)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)= ((B)*(D))/ (C)	(F)	(G)=(E)/(F)	(H)	(I) = (G)*(H)	(J)=(I)*4	(K)=(J)*12
1	Mobil	10	9.8	2.39	2.439	1	2.4387755	5	12.194	48.776	585.306
2	Sepeda Motor	10	28	2.39	0.854	1	0.8535714	5	4.268	17.071	204.857
3	Kereta Listrik	20	0.03252	0.774	476.015	1400	0.3400105	5	1.700	6.800	81.603
Total Emisi CO2									18.162	72.647	871.766

Metode Perhitungan Polutan Udara CO, SO₂, NO_x, dan PM_{2.5}(1/2)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat



Persamaan dalam menghitung total Polutan udara (SO₂, CO, NO_x, dan PM_{2.5}) menggunakan 2 cara:

Distance based method untuk kendaraan lainnya:

$$\text{Total Polutan Udara} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i \times EFS_j}{PT_i}$$

Dimana:

- i ($i=1,2,\dots,N$): jumlah trip ke- i^{th} yang dicatat,
 - D_i : jarak (km) perjalanan pada perjalanan ke- i^{th} ,
 - EFS_j : faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar/pembangkit listrik (satuan kg-emisi/km)
 - PT_i : jumlah orang yang berpergian bersama pada perjalanan ke i^{th} .
- Total emisi adalah pejumlahan semua emisi pada keseluruhan perjalanan (1 sampai N).

Fuel based method untuk emisi kereta api listrik:

$$\text{Total Polutan Udara} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{FCF_{ij}} \times \frac{EFS_{k/w}}{PT_i}$$

Dimana:

- i ($i=1,2,\dots,N$): jumlah trip ke- i^{th} yang dicatat
 - D_i : jarak perjalanan pada perjalanan ke- i^{th} ,
 - FCF_{ij} : faktor konsumsi bahan bakar/listrik untuk moda transportasi- j
 - EFS_k : faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar/pembangkit listrik (satuan kg-emisi/liter atau kg-emisi/kWh)
 - PT_i : jumlah orang yang berpergian bersama pada perjalanan ke i^{th} .
- Total emisi adalah pejumlahan semua emisi pada keseluruhan perjalanan (1 sampai N).

Metode Perhitungan Polutan Udara SO₂, CO, NO_x, dan PM_{2.5} (2/2)

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Faktor emisi untuk setiap jenis bahan bakar:

Tipe Moda Kendaraan	Faktor Emisi			
	kg CO/km	kg NO _x /km	kg PM _{2.5} /km	kg SO ₂ /km
Sepeda Motor ^{a,b,c}	0.0140	0.00029	0.000032	0.000008
Mobil (gasoline) ^{a,b,c}	0.0400	0.0020	0.00005	0.000026
Mobil (diesel) ^{a,b,c}	0.0028	0.0035	0.00084	0.00044
Angkot ^{a,b,c}	0.0431	0.0021	0.00006	0.000029
Bus ^{a,b,c}	0.0110	0.0119	0.00042	0.00093
Electricity Emission Factor Berdasarkan Pembangkit	kg CO/kWh	kg NO _x /kWh	kg PM _{2.5} /kWh ^e	kg SO ₂ /kWh
Batubara ^{c,d}	0.0002	0.0052	0.000189	0.0139
Natural gas ^{c,d}	0.0005	0.0009	0.000140	0.0005
Fuel oil ^{c,d}	0.0002	0.0025	0.000055	0.0164

*Recommended Procedures for Development of Emissions Factors and Use of the WebFIRE Database, USEPA 2013

Faktor emisi dalam distance merupakan faktor yang merepresentasikan jumlah emisi per jarak perjalanan.

Contoh:

Jika kita melakukan perjalanan 100 km dengan sepeda motor, hal ini menghasilkan emisi CO sebesar 1.4 kg.

Notes:

Faktor emisi ditentukan berdasarkan data pengukuran emisi, perhitungan kesetimbangan massa, pemodelan, dan engineering judgment (USEPA, 2013)*. Pada publikasi emisi, faktor ini menggunakan hasil analisis dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Shrestha, et al., Hasan et al., dan Boedisantoso et al.

Faktor ini berasosiasi pada jarak perjalanan yang menjadi nilai wakil.

Notes: CO = carbon monoxide; kWh = kilowatt-hour; NO_x = nitrogen oxides; PM_{2.5} = fine particulate matter; SO₂ = sulfur dioxide. TJ converted to gigawatt-hours is 0.2778.

Sumber: a. MoEF 2010; b. Boedisantoso et al. 2019; c. Shrestha et al. 2013; d. Hasan et al. 2012; e. Shrestha et al. 2013.



Contoh Perhitungan Emisi CO

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Contoh Perhitungan:

Saya mencatat perjalanan saya:

Perjalanan 1:

10 km menggunakan mobil sendiri

Perjalanan 2:

10 km menggunakan motor sendiri

Perjalanan 3:

20 km menggunakan kereta api

Perjalanan ini 5 kali seminggu saya lakukan

Kendaraan	Total km	Energy Conversion (km/Kwh)	Emission Factor kg/km atau kg/kWh	Total Emisi	Jumlah Orang Berpergian	Emisi Per Orang Per Perjalanan Per Hari	Frekuensi Perminggu	Perminggu (kGCO)	Perbulan (kGCO)	Pertahun (kGCO)	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)=(B)*(D)	(F)	(G)=(E)/(F)	(H)	(I) = (G)*(H)	(J)=(I)*4	(K)=(J)*12	
Sepeda Motor	10		0.014	0.14	1	0.1400000	5	0.7000	2.8000	33.6000	
Mobil	10		0.04	0.4	1	0.4000000	5	2.0000	8.0000	96.0000	
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)=((B)*(D))/(C)	(F)	(G)=(E)/(F)	(H)	(I) = (G)*(H)	(J)=(I)*4	(K)=(J)*12
Kereta Listrik	20	0.03252	0.0002	0.123	1400	0.0000879	5	0.000439	0.001757	0.0211	
Total Emisi CO								2.7004	10.802	129.621	

Simplifikasi dan Limitasi Dalam Metodologi Perhitungan Aplikasi EMISI

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat

Simplifikasi:

Terdapat beberapa faktor yang diabaikan dalam analisis:

- Perilaku mengemudi dalam berbagai kondisi (mis., Kemacetan atau arus bebas)
- Perawatan mesin kendaraan serta penggunaan bertahun-tahun setelah kendaraan diproduksi

Diasumsikan bahwa faktor-faktor ini telah dipertimbangkan ketika EF atau faktor ekonomi energi diproduksi.

Kapasitas dan faktor muat yang ada disederhanakan menggunakan asumsi berikut:

- Faktor muat untuk semua moda diasumsikan sekitar 70 persen dari kapasitasnya.
- Angkot: kapasitas 14 , menurut penelitian Cervero (1991)
- Bus: kapasitas 73 orang, menurut Trans Jakarta (Perusahaan Manajemen Bus Jakarta) (Ghozali 2018).
- Kereta perkotaan: kapasitas 250 orang per gerbong, dengan total 8 gerbong per set kereta api, menurut Perusahaan Kereta Api Komuter Indonesia (operator kereta api komuter) (Rudi 2015).

Limitasi:

- Meskipun batasan untuk metodologi estimasi emisi transportasi itu sendiri tidak terlalu rumit atau sulit, ketersediaan data telah menjadi hambatan utama untuk penghitungan di negara berkembang, seperti yang diidentifikasi oleh Song (2017).
- Kalkulator berfokus pada pengembangan estimasi terbaik untuk konteks Indonesia, namun ketika data lokal tidak tersedia, kalkulator menggunakan data dari konteks global untuk mengembangkan estimasi terbaik berikutnya.
- Data penelitian terbaru dan yang akan datang tentang determinan untuk penghitungan emisi dalam kasus-kasus spesifik di Indonesia, seperti faktor emisi dan konsumsi bahan bakar, akan semakin menyempurnakan penghitungan di masa mendatang.

Pengembangan Selanjutnya

Perhitungan Emisi dan Polutan Udara Sektor Transportasi Darat



1

Pemutakhiran berkala faktor-faktor dalam perhitungan

2

Peningkatan kualitas dan desain apps

3

Menambah jenis emisi GRK atau polutan

4

Menambah perhitungan emisi dari sektor lainnya



Terima Kasih.

Unduh dan baca selengkapnya
di bit.ly/TNEMISI.



WRI INDONESIA

