

KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN EMISI KENDARAAN DENGAN REGULASI R83 MENGACU PADA PERHITUNGAN JOINT COMMITTEE FOR GUIDES METROLOGY (JCGM) 100 : 2008

MEASUREMENT UNCERTAINTY WITH VEHICLE EMISSIONS REGULATIONS R83 REFER TO THE CALCULATION OF JOINT COMMITTEE FOR GUIDES METROLOGY (JCGM) 100 : 2008

Budi Rochmanto, Hari Setiaprja, Rizqon Fajar

Komplek PUSPIPTEK Gd. 230 BT2MP– BPPT, Serpong, Tangerang Selatan
e-mail : budi.rochmanto@bppt.go.id, hari.setiaprja@bppt.go.id, rizkon.fajar@bppt.go.id

Abstrak

Harmonisasi terkait 19 regulasi bidang otomotif diantara negara ASEAN akan dilakukan melalui kesepakatan ASEAN MRA. Salah satu regulasi yang akan diharmonisasi adalah pengujian emisi kendaraan sesuai dengan regulasi R83. BT2MP-BPPT merupakan laboratorium terakreditasi yang akan menjadi *technical service* untuk pelaksanaan pengujian R83. Studi ini membuat kajian terkait perhitungan ketidakpastian dalam pengujian emisi kendaraan berdasarkan regulasi R83 tersebut. Ketidakpastian pengukuran yang dihasilkan pada pengujian dengan standar R83 dipengaruhi oleh parameter peralatan ukur seperti *chassis dynamometer, gas analyzer, sistem sampling* emisi dan yang lain. Selain faktor peralatan tersebut, data hasil pengukuran juga merupakan faktor yang mempunyai pengaruh signifikan. Pada kajian ini perhitungan ketidakpastian mengacu kepada *Joint Committee for Guide in Metrology (JCGM) 100 2008*, hasilnya dinyatakan pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan $k=2$. Dari hasil pengujian di BT2MP-BPPT, hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran total yang merupakan gabungan dari ketidakpastian parsial dari unsur yang berpengaruh, menunjukkan ketidakpastian total untuk parameter emisi HC, CO dan NOx adalah 0.0021 gr/km, 0.0103 gr/km dan 0.0004 gr/km secara berurutan. Hasil akhir ketidakpastian pengukuran pada pengujian emisi ini menunjukkan kemampuan ukur dari fasilitas uji emisi kendaraan BTMP-BPPT dalam hal deviasi dan keterterimaan dari pengukurannya yang dihasilkannya.

Kata kunci : ketidakpastian, emisi, regulasi

Abstract

Related 19 automotive regulations sector will be harmonized among ASEAN countries through ASEAN MRA program. One of these regulation is vehicle emission regulation R83. BT2MP BPPT is accredited laboratory which will be one of technical service to conduct R83 emission test. This paper study about calculation of uncertainty from measurement of vehicle emission based on R83 regulation. Uncertainty of measurement on R83 can be influenced by measurement devices such as chassis dynamometer, gas analyzer, emissions sampling system etc. Moreover, measurement data also is consider as dominant factor which effect to uncertainty significantly. In this study, uncertainty calculation refer to Joint Committee for Guide in Metrology (JCGM) 100 2008 standard in which the result is expressed at the confident limit of 95% with coverage factor of 2. Calculation of uncertainty from testing result at BT2MP-BPPT showed that total uncertainty for HC, CO and NOx are 0.0021 gr/km, 0.0103 gr/km and 0.0004 gr/km respectively. This result shows the capability of measurement facility at BT2MP-BPPT in term of deviation and acceptance of testing results.

Key words : *uncertainty, emissions, regulation*

Diterima (received) : 28 Juni 2016, Direvisi (reviewed) : 13 Juli 2016, Disetujui (accepted) : 20 Juli 2015

PENDAHULUAN

Latar Belakang

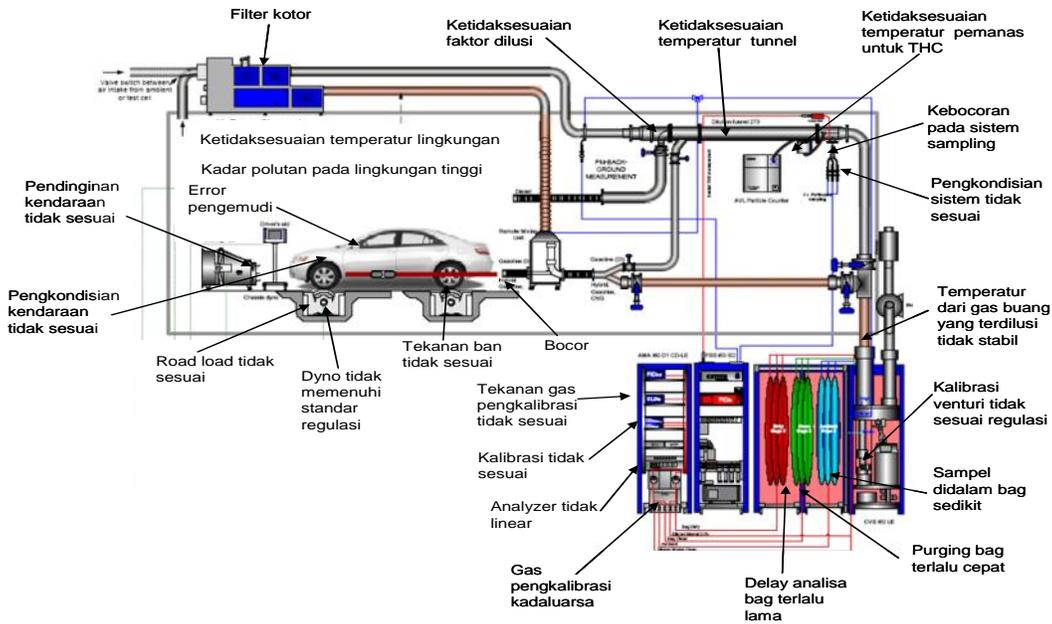
Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang polusi udara yang cukup besar di Indonesia. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan regulasi emisi gas buang kendaraan bermotor yang semakin ketat sejak Tahun 1993 untuk mengontrol polusi udara supaya kenaikannya tidak cepat. Untuk kendaraan bermotor, pada Tahun 1993 regulasinya hanya mengatur emisi kendaraan bermotor pada kondisi idle atau tanpa beban. Melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2003 yang kemudian direvisi menjadi Peraturan menteri Lingkungan Hidup Tahun 2009, Indonesia lebih menegatkan ambang batas emisi gas buang kendaraan dengan mengadopsi regulasi dari Eropa yaitu R83-04 (Euro2). Pada pengujian R83-04 peralatan yang digunakan sangat berbeda sekali dengan pengukuran pada kondisi idle. Pengukuran emisi gas buang kendaraan bermotor dengan regulasi Euro2 memerlukan berbagai pertimbangan seperti spesifikasi teknis khusus untuk jenis bahan bakar (bensin/diesel), masa kendaraan, volume silinder engine dan lain lain.

Pada pengujian emisi kendaraan bermotor di *test bench*, kendaraan di jalankan diatas *chassis dynamometer* sesuai dengan *driving cycle* dari regulasi yang ditentukan. Untuk Euro 2, *driving cycle* terdiri dari dua bagian yaitu bagian *urban cycle* (siklus perkotaan) dan *extra urban cycle* (siklus luar kota). Emisi gas buang dari knalpot kemudian diencerkan dengan udara

selanjutnya dimasukkan kedalam bag dengan laju aliran yang konstant.

Pada saat bersamaan, pengambilan sample udara pengencer juga dilakukan. Setelah kendaraan selesai dijalankan, sample gas buang yang diencerkan dengan udara maupun udara dianalisa oleh analyzer gas buang. Selisih dari emisi gas buang yang didilusi dan udara adalah emisi yang dihasilkan oleh kendaraan yang kemudian dibagi dengan jarak yang ditempuh kendaraan selama menempuh *cycle*. Hasil dari emisi yang dihasilkan dinyatakan dalam satuan gr/km.

Pada Tahun 2015, ada 19 regulasi yang terkait otomotif akan diharmonisasi dikawasan ASEAN. Untuk regulasi terkait kendaraan bermotor, R83-05 (Euro 4) akan menjadi acuan pada harmonisasi ini. Perubahan dari R83-04 (Euro 2) menjadi R83-05 (Euro 4) berdampak pada penurunan ambang batas emisi yang semakin ketat. Dengan penurunan limit yang sangat besar itu maka konsentrasi dari udara dan emisi gas buang kendaraan akan semakin mendekati sehingga diperlukan sistem pengujian yang lebih akurat. Kesalahan selama pengujian kendaraan bermotor dapat bersumber dari pengemudi, kendaraan, pengkondisian fasilitas dan alat ukur yang digunakan. Pada Gambar 1 menunjukkan sumber dari error selama pengujian emisi kendaraan bermotor. Sehingga untuk memastikan bahwa fasilitas uji memenuhi standar R83-05 maka diperlukan kajian terkait *error* atau ketidakpastian yang akan dihasilkan dari pengukuran yang dilakukan.



Gambar 1.

Sumber *error* pada pengujian emisi kendaraan bermotor sesuai R 83-05

Tujuan

Paper ini bermaksud untuk mengkaji ketidakpastian pengukuran emisi kendaraan yang dilakukan pada laboratorium kendaraan di Balai Teknologi Termodinamika, Motor dan Propulsi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BT2MP-BPPT). Hasil kajian ini akan melihat kesiapan fasilitas uji kendaraan BT2MP-BPPT untuk menghadapi MRA-ASEAN 2015, dimana BT2MP-BPPT merupakan satu-satunya *technical service* untuk uji R83 di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Ketidakpastian adalah ukuran sebaran yang secara layak dapat dikaitkan dengan nilai terukur, yang memberikan rentang, terpusat pada nilai terukur, dimana di dalam rentang tersebut terletak nilai benar dengan kemungkinan tertentu. Hasil pengukuran setelah dikoreksi terhadap kesalahan sistematis masih berupa taksiran nilai besaran ukur karena masih terdapat ketidakpastian yang berasal dari pengaruh acak dan koreksi kesalahan sistematis yang tidak sempurna. Konsep ketidakpastian didasarkan pada besaran teramati yang diperoleh dengan pengukuran. Ketidakpastian pengukuran terdiri dari beberapa komponen yang dapat diklasifikasikan menurut metode yang digunakan untuk menaksir nilai numeriknya:

- Tipe A : yang dievaluasi dengan analisis statistik dari serangkaian pengamatan.
- Tipe B : yang dievaluasi dengan cara selain analisis statistik dari serangkaian pengamatan.

Untuk evaluasi tipe A, bila pengukuran diulangi beberapa kali, nilai rata-rata dan simpangan baku-nya dapat dihitung. Simpangan baku menggambarkan sebaran nilai yang dapat digunakan untuk mewakili seluruh populasi nilai terukur. Dalam sebagian besar kasus, taksiran terbaik yang tersedia dari harapan atau nilai harapan terhadap suatu besaran yang bervariasi secara acak, yang diperoleh dari n pengamatan berulang yang saling bebas dalam kondisi pengukuran yang sama adalah nilai rata-rata dari hasil n pengamatan:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Simpangan baku adalah suatu taksiran sebaran populasi dimana n nilai tersebut diambil, yaitu:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Setelah melakukan satu kali n pengamatan berulang, kemudian dilakukan pengamatan

kedua dari n pengamatan berulang maka nilai rata-rata dapat dihitung lagi. Kemungkinan akan terjadi sedikit perbedaan antara rata-rata dari n pengamatan kedua dari rata-rata pertama. Taksiran sebaran dari rata-rata populasi dapat dihitung dari simpangan baku rata-rata eksperimental (ESDM):

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

Ketidakpastian baku tipe A, $u(x_i)$ dari suatu besaran yang ditentukan dari n pengamatan berulang yang saling bebas adalah nilai ESDM:

$$u(x_i) = s(\bar{x}) \tag{4}$$

Dalam beberapa kasus perlu untuk mengetahui jumlah derajat kebebasan v , untuk satu set n pengukuran dimana diperoleh nilai rata-rata tersebut, derajat kebebasan dari n pengamatan berulang dapat dihitung dengan : $\epsilon_i = n - 1$

Evaluasi ketidakpastian baku tipe B diperoleh dengan cara selain analisis statistik dari serangkaian pengamatan yang biasanya didasarkan pada justifikasi ilmiah menggunakan semua informasi relevan yang sudah tersedia. Dalam kasus tertentu, dimana ketidakpastian diberikan dalam batas tertentu $\pm a$, distribusi kemungkinan dapat berbentuk rectangular, triangular atau normal.

Faktor lainnya yang diperlukan dalam perhitungan ketidakpastian adalah Koefisien sensitifitas. Koefisien ini mengkonversikan semua komponen ketidakpastian ke dalam satuan yang sama dengan satuan besaran ukur. Hal ini merupakan kondisi yang harus dipenuhi untuk menggabungkan ketidakpastian baku yang mempunyai satuan berbeda. Koefisien sensitifitas juga memberikan skala fungsi pembobot untuk setiap komponen ketidakpastian yang menjelaskan bagaimana taksiran keluaran bervariasi dengan perubahan nilai taksiran masukan. Evaluasi koefisien sensitifitas dapat dilakukan berdasarkan turunan parsial dari fungsi yang mewakili model matematis pengukuran, yaitu:

$$c_i = \partial f / \partial x_i \tag{5}$$

Ketidakpastian baku gabungan dari suatu pengukuran, dinotasikan dengan $u_c(y)$, diambil untuk mewakili taksiran simpangan baku (*estimated standard deviation*) dari

hasil pengukuran, yang diperoleh dengan menggabungkan ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan berdasarkan pendekatan deret Taylor orde satu dari model pengukuran. Metode penggabungan ketidakpastian baku ini sering disebut dengan hukum propagasi ketidakpastian. Untuk besaran masukan yang tidak berkorelasi, ketidakpastian baku gabungan dari taksiran keluaran y dapat dinyatakan dengan:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [u_i(y)]^2} \tag{6}$$

Dimana : $c_i = \partial f / \partial x_i$ dan $c_i u(x_i) = u_i(y)$

Selanjutnya perlu dilakukan perhitungan derajat kebebasan efektif terkait dengan komponen ketidakpastian untuk memberikan indikasi kehandalan penaksiran ketidakpastian. Derajat kebebasan efektif yang tinggi mewakili jumlah pengukuran yang besar, sebaran yang sempit, dan keyakinan yang tinggi terhadap nilai tersebut, sebaliknya, derajat kebebasan efektif yang rendah terkait dengan sebaran yang lebar atau keyakinan yang lebih rendah terhadap nilai tersebut. Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian baku gabungan dapat dihitung dengan rumus Welch-Satterthwaite :

$$\epsilon_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\epsilon_i}} \tag{7}$$

Dimana :

v_{eff} adalah derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian baku gabungan

v_i adalah derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke-i

$u_{i(y)}$ adalah hasil perkalian $c_i u(x_i)$

Berdasarkan derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian baku gabungan, factor cakupan (*coverage factor*) untuk tingkat kepercayaan yang diinginkan dapat diperoleh dari table distribusi t atau dihitung dengan rumus:

$$k = 1.95996 + 2.37356/\epsilon + 2.818745/\epsilon^2 + 2.546662/\epsilon^3 + 1.761829/\epsilon^4 + 0.245458/\epsilon^5 + 1.000764/\epsilon^6 \tag{8}$$

Ukuran ketidakpastian perlu untuk memenuhi kemungkinan yang memadai

yang diistilahkan dengan ketidakpastian bentangan, yang dinyatakan dengan symbol U , dan diperoleh dari mengalikan $u_c(y)$ dengan factor cakupan, yang dinyatakan dengan symbol t atau k . Praktek internasional yang biasa diterapkan adalah memberikan tingkat kepercayaan sekitar 95% (95,45%). Untuk tingkat kepercayaan tertentu, nilai faktor cakupan bervariasi terhadap derajat kebebasan efektif.

METODE PENELITIAN

Pengujian emisi kendaraan bermotor merupakan rangkaian pengukuran beberapa parameter ukur yang menghasilkan output emsi kendaraan bermotor dalam massa partikel emisi tiap jarak yang ditempuh atau gram tiap kilometer (gr/km) sesuai regulasi UN ECE R83. Tiap pengukuran parameter tersebut mengakibatkan terjadinya ketidakpastian pengukuran, baik dari unsur alat ukur, data ukur, kondisi lingkungan dan lain-lain yang memberikan kontribusi terhadap ketidakpastian total dari hasil ukur yang diharapkan.

1. Pengukuran volume *exhaust* gas yang diencerkan

Volume gas diperoleh dari pengukuran sistem *critical flow ventury*. Dari nilai *calibration factor* dan pengukuran tekanan dan temperatur gas disisi inlet diperoleh perhitungan *flowrate*. Sedang volume total dapat dihitung dengan mengalikan durasi waktu yang digunakan.

$$K_v = \frac{Q_s \cdot \sqrt{T_v}}{P_v} \quad V = \int \frac{K_v \cdot P}{\sqrt{T}} \cdot dt \quad (9)$$

Koefisien sensitifitas diturunkan dari persamaan dasar terhadap besaran yang akan dicari faktor sensitifitasnya. Dari persamaan volume tersebut diperoleh faktor sensitifitas :

$$- \frac{\partial V}{\partial k_v} = C_{k_v} = \frac{P \cdot t}{\sqrt{T}} \quad (10)$$

$$- \frac{\partial V}{\partial P} = C_p = \frac{k_v \cdot t}{\sqrt{T}} \quad (11)$$

$$- \frac{\partial V}{\partial t} = C_t = \frac{k_v \cdot P}{\sqrt{T}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial C_{CO_2}} = CC_{CO_2} = 1 - 1 + \left[\frac{2C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}}{13,4} \right] \quad (18)$$

$$- \text{CO}_2$$

$$- \frac{\partial V}{\partial T} = C_T = -\frac{1}{2} \cdot \frac{k_v \cdot P \cdot t}{\sqrt{T^3}} \quad (13)$$

2. Volume standar

Volume ini dihitung pada kondisi tekanan 101,33 kPa, dan temperatur 273 K. Volume campuran ini yang selanjutnya digunakan sebagai perhitungan dalam volume *exhaust* gas yang terdilusi.

$$V_{mix} = V \cdot K \cdot \left(\frac{P_b - P_i}{T_i} \right) \quad (14)$$

$$K = \frac{273,2(K)}{101,33(kPa)} = 2,6961 \left(\frac{K}{kPa} \right) \quad (15)$$

Dari persamaan volume campuran (V_{mix}) standar tersebut diperoleh koefisien sensitifitas :

$$- \frac{\partial V_{mix}}{\partial V} = C_v = \frac{2,6961 \cdot (P_b - P_i)}{T_i}$$

$$- \frac{\partial V_{mix}}{\partial P_b} = C_{P_b} = \frac{2,6961 \cdot V}{T_i}$$

$$- \frac{\partial V_{mix}}{\partial P_i} = C_{P_i} = \frac{-2,6961 \cdot V}{T_i}$$

$$- \frac{\partial V_{mix}}{\partial T_i} = C_{T_i} = \frac{-2,6961 \cdot V \cdot (P_b - P_i)}{T_i^2} \quad (16)$$

3. Konsentrasi *Pollutant*

Konsentrasi *pollutant* ini diukur dari *sample exhaust* gas terdilusi yang diperoleh dari kantong (*sample bag*) dan ambien dari udara ruang uji.

$$C_i = C_e - C_d \left(1 - \frac{1}{DF} \right)$$

$$DF = \frac{13,4}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}} \quad (17)$$

Dari rumusan konsentrasi dan faktor dilusi diperoleh koefisien sensitifitas :

Koefisien sensitifitas untuk HC dan CO dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti CO₂

4. Jarak tempuh (*distance*)

Dalam perhitungan ini *distance* yang dimaksud merupakan asumsi jarak yang ditempuh, dikarenakan roda atau *roller chassis dynamometer* berputar selama proses pengujian.

$$D = (v).(t) \tag{19}$$

Dari rumusan jarak tersebut, koefisien sensitifitas dapat dihitung :

$$\begin{aligned} - \frac{\partial D}{\partial v} &= C_v = t \\ - \frac{\partial D}{\partial t} &= C_t = v \end{aligned} \tag{20}$$

5. Emisi

Emisi hasil pengujian ini adalah keluaran terakhir dari sistem pengujian emisi kendaran bermotor sesuai dengan regulasi yang ditetapkan, yaitu dalam gram tiap kilometer (gr/km)

$$M_i = \frac{Vol_{mix} \dots_i \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{D} \dots \left[\frac{gr}{Km} \right] \tag{21}$$

Dari rumusan emisi tersebut, selanjutnya dapat diturunkan koefisien sensitifitas dari masing-masing besaran ukur yang berpengaruh, yaitu :

$$\begin{aligned} - \frac{\partial M_i}{\partial V_{mix}} &= C_{V_{mix}} = \frac{\rho_i \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{D} \\ - \frac{\partial M_i}{\partial \rho_i} &= C_{\rho_i} = \frac{V_{mix} \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{D} \\ - \frac{\partial M_i}{\partial C_i} &= C_{C_i} = \frac{V_{mix} \cdot \rho_i \cdot 10^{-6}}{D} \\ - \frac{\partial M_i}{\partial D} &= C_D = - \frac{V_{mix} \cdot \rho_i \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{D^{-2}} \end{aligned} \tag{22}$$

Selanjutnya ketidakpastian pengujian emisi kendaraan bermotor dapat dilakukan perhitungan dengan menggabungkan ketidakpastian masing-masing besaran ukur yang didapat. Nilai masing-masing besarna ukur tersebut diperoleh dengan cara mengalikannilai ketidakpastian dari besaran yang dimaksud dengan nilai koefesien sensitifitasnya yang telah dihitung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat nilai emisi untuk masing-masing parameter ukur seperti CO₂, HC, CO dan NO_x. Pengujian ini dilakukan melalui dua siklus yaitu *Urban Driving Cycle* (UDC) dan *Extra Urban Driving Cycle* (EUDC). Dari perhitungan didapat hasil uji emisi kendaraan bermotor sesuai regulasi R 83 dengan kendaraan 1000 cc, transmisi automatic dan berbahan bakar bensin dihasilkan hasil pada Tabel 1.

Tabel1.
Hasil uji emisi kendaraan bermotor

Parameter uji	Nilai Emisi	
	UDC gr/km	EUDC gr/km
CO ₂	138,51	92,25
HC	0,0691	0,0046
CO	0,3469	0,0305
NO _x	0,0114	0,0028

Nilai hasil pengujian pada Tabel 1 dihitung ketidakpastiannya sesuai dengan metode yang disebutkan pada sub bab metode penelitian. Selain faktor nilai hasil pengukuran, parameter yang dihitung ketidakpastiannya adalah pengukuran volume gas, densitas dan jarak. Dari berbagai parameter yang dapat berpengaruh pada perhitungan ketidakpastian tersebut maka didapat hasil perhitungan ketidakpastian yang tunjukkan pada Tabel 2 sampai Tabel 9.

Tabel 2.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi CO₂ pada siklus *urban driving cycle*

Sumber Ketidakpastian	Unit	Ketidakpastian (U _i)	Ketidakpastian Baku (u _i)	Koefesien Sensitifitas (c _i)	(c _i . u _i)
Pengukuran volume gas	Liter	339,16	169,578	0,0019	0,315
Densitas polutan CO ₂	gr/liter	0,000010	0,00001	70,527	0,0004
Pengukuran polutan CO ₂	%	0,006	0,0031	375,34	1,146
Jarak	Km	0,114	0,057	35,51	2,022
Ketidakpastian bentangan (95%tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				4,69 gr/km	3,39 %

Tabel 3.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi CO₂ pada siklus *extraurban driving cycle*

Sumber Ketidakpastian	Unit	Ketidakpastian (U _i)	Ketidakpastian Baku (u _i)	Koefesien Sensitifitas (c _i)	(c _i . u _i)
Pengukuran volume gas	Liter	165,41	82,707	0,00254	0,2098
Densitas pulutan CO ₂	gr/liter	0,00001	0,00001	46,969	0,0002
Pengukuran polutan CO ₂	%	0,013	0,00630	114,38	0,7209
Jarak	Km	0,056	0,0278	14,774	0,4104
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				1,711 gr/km	1,86 %

Tabel 1 dan 2 menunjukkan hasil perhitungan ketidak pastian untuk emisi CO₂. Perhitungan ketidakpastian pengukuran emisi CO₂, dilakukan untuk dua kondisi siklus yang berbeda yaitu *urban driving cycle* (UDC) dan *extra urban driving cycle* (EUDC). Untuk kondisi UDC ketidakpastian yang dihasilkan lebih besar dari kondisi EUDC. Salah satu faktor penyebab adalah pada kondisi uji UDC kendaraan dilakukan pengujian pada saat kondisi dingin, sehingga nilai emisi yang dihasilkan pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi uji EUDC yang terjadi pada saat kondisi mesin temperaturnya lebih tinggi. Selain itu pada kondisi UDC siklus yang dilakukan lebih lama sehingga parameter-parameter ukur

yang didapat lebih rata rata lebih besar nilainya.

Untuk unsur-unsur pada budget ketidakpastian dari kedua siklus tersebut ketidakpastian terbesar terjadi pada pengukuran jarak untuk UDC dan pengukuran polutan CO₂ untuk EUDC. Hal ini dikarenakan kalibrasi *gas analyzer* untuk pengukuran polutan ini menghasilkan nilai ketidakpastian pada sertifikat yang cukup besar. Sedangkan untuk jarak, faktor kalibrasi putaran/kecepatan dynamometer menghasilkan nilai ketidakpastian yang cukup besar pada sertifikat kalibrasinya. Karena itu sertifikat kalibrasi untuk *gas anayzer* CO₂ dan *dynamometer speed* memberikan kontribusi yang signifikan pada perhitungan ketidakpastian total emisi CO₂.

Tabel 4.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi HC pada siklus *urban driving cycle*

SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	Ketidakpastian Baku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	Liter	339,16	169,58	9,3E-07	0,0002
Densitas pulutan HC	gr/liter	0,00001	0,00001	0,112	5,6E-07
Pengukuran polutan HC	ppm	0,016	0,0078	0,0118	9,2E-05
Jarak	Km	0,114	0,057	0,018	0,001
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				0,0021 gr/km	2,97 %

Tabel 5.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi HC pada siklus *extraurban driving cycle*

SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	Ketidakpastian Baku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	liter	165,41	82,70685	1,3E-07	1,1E-05
Densitas pulutan HC	gr/liter	0,000010	0,00001	0,0075	3,8E-08
Pengukuran polutan HC	ppm	0,015	0,0077	0,0036	2,8E-05
Jarak	km	0,056	0,028	0,0007	2,1E-05
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				0,000072 gr/km	1,56 %

Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil perhitungan untuk emisi HC. Pada pengukuran emisi HC untuk kondisi UDC terlihat lebih besar menghasilkan nilai ketidakpastian karena selain pada kondisi siklus awal ini kendaraan dijalankan pada kondisi yang lebih dingin dibandingkan pada kondisi siklus EUDC sehingga nilai emisi yang dihasilkan lebih tinggi, pada siklus UDC pengukuran yang dilakukan lebih lama dibandingkan EUDC, sehingga parameter

ukur berpengaruh mempunyai nilai ukur yang lebih besar. Untuk emisi HC, kontribusi penyumbang ketidakpastian terbesar adalah ketidakpastian pengukuran jarak. Ini artinya kontribusi kalibrasi waktu dan putaran / kecepatan *dynamometer* memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Dalam hal ini khususnya sertifikat kalibrasi kecepatan *dynamometer* memberikan pengaruh nilai ketidakpastian total yang besar.

Tabel 6.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi CO sesuai pada siklus *urban driving cycle*

SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	KetidakpastianBaku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	Liter	339,16	169,58	4,7E-06	0,0008
Densitas pulutan CO	gr/liter	0,00001	0,00001	0,278	1,4E-06
Pengukuran polutan CO	Ppm	0,0015	0,00077	0,024	1,8E-05
Jarak	Km	0,114	0,057	0,089	0,0051
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				0,0103 gr/km	2,95 %

Tabel 7.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi CO pada siklus *extraurban driving cycle*

SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	KetidakpastianBaku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	Liter	165,41	82,71	0,000001	0,0001
Densitas pulutan CO	gr/liter	0,00001	0,00001	0,024	1,2E-07
Pengukuran polutan CO	Ppm	0,0009	0,00044	0,0073	3,2E-06
Jarak	Km	0,056	0,028	0,005	0,0001
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				0,0003 gr/km	1,00 %

Untuk emisi CO, identik dengan pengukuran emisi CO₂ dan HC, dengan siklus uji yang lebih lama dan kondisi engine yang masih dingin, UDC menghasilkan nilai ketidakpastian gabungan total yang lebih besar dibandingkan dengan siklus EUDC, baik dari nilai nominalnya maupun prosentasenya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6.

Dan untuk pengukuran emisi CO disini apabila dilihat dari budget ketidakpastian yang ada, nilai pengukuran jarak dengan pengaruh kalibrasi waktu dan putaran/kecepatan masih memberikan kontribusi nilai ketidakpastian yang paling besar.

Tabel 8.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi NO_x pada siklus *urban driving cycle*

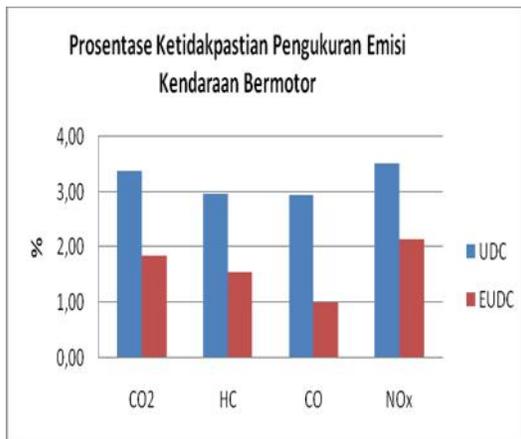
SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	KetidakpastianBaku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	liter	339,16	169,58	1,5E-07	2,6E-05
Densitas pulutan NO _x	gr/liter	0,00001	5,0E-06	0,006	2,8E-08
Pengukuran polutan NO _x	ppm	0,0006	0,0003	0,04	1,2E-05
Koreksi faktor kelembaban		0,019	0,0097	0,011	0,00011
Jarak	km	0,114	0,057	0,003	0,0002
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, fak.cakupan,k=2)				0,0004 gr/km	3,51 %

Tabel 9.
Hasil ketidakpastian pengukuran emisi NO_x pada siklus *extraurban driving cycle*

SumberKetidakpastian	Unit	Ketidakpastian (Ui)	KetidakpastianBaku (ui)	Koefesien Sensitifitas (ci)	(ci . ui)
Pengukuran volume gas	liter	165,41	82,71	7,7E-08	6,4E-06
Densitas pulutan NO _x	gr/liter	0,00001	0,00001	0,001	6,9E-09
Pengukuran polutan NO _x	ppm	0,0008	0,00042	0,0122	5,1E-06
Koreksi faktor kelembaban		0,019	0,0096	0,0028	2,6E-05
Jarak	km	0,056	0,028	0,0005	1,3E-05
Ketidakpastian bentangan (95% tingkat kepercayaan, faktor cakupan,k=2)				0,00006 gr/km	2,16 %

Pada pengukuran emisi NO_x disini ada perbedaan untuk budget perhitungan ketidakpastian yaitu adanya faktor koreksi untuk kelembaban kondisi ruangan laboratorium uji. Untuk ketidakpastian pengukuran NO_x, kondisi siklus UDC sedikit lebih besar dibandingkan kondisi siklus EUDC seperti ditunjukkan pada Tabel 7 dan 8. Kontribusi ketidakpastian terbesar untuk kedua siklus tersebut masih pada pengukuran jarak dari dynamometer uji. Kalibrasi putaran atau kecepatan dynamometer menghasilkan ketidakpastian pengukuran yang cukup besar dibandingkan parameter yang lain.

Perbandingan hasil uji kendaraan bermotor untuk pengukuran emisi yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.



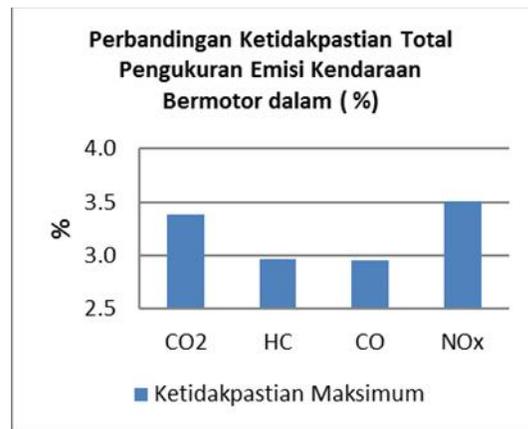
Gambar 2. Prosentase perbandingan ketidak pastian pengukuran

Terlihat pada gambar 2 dan Tabel 9, presentase ketidakpastian maksimum paling besar terjadi pada pengukuran NO_x, baik untuk kondisi UDC maupun EUDC, karena untuk pengukuran NO_x budget perhitungan ketidakpastian ada penambahan parameter ketidakpastian karena pengaruh koreksi kelembaban. Faktor koreksi untuk kelembaban ini, parameter ukur yang berpengaruh terhadap perhitungan ketidakpastiannya adalah pengukuran dan kalibrasi alat ukur terkait kelembaban ruangan uji, tekanan dan temperatur ruangan uji.

Tabel 10. Ketidakpastian total uji emisi kendaraan bermotor

Parameter uji	Emisi gr/km	Ketidakpastian maksimum	
		gr/km	%
CO ₂	110,038	4,69	3,4
HC	0,029	0,0021	3,0
CO	0,152	0,0103	3,0
NO _x	0,0061	0,0004	3,5

Gambar 3 menunjukkan perbandingan ketidakpastian pengukuran emisi total yang dinyatakan dalam persen. Dari Gambar 3, selain pengukuran NO_x, ketidakpastian pengukuran CO₂ juga terlihat lebih besar. Untuk pengukuran polutan ini ketidakpastian karena kalibrasi gas analyzer CO₂ memang menghasilkan ketidakpastian yang lebih tinggi dibanding dengan HC, NO_x dan CO karena pada polutan ini konsentrasi yang terjadi memang lebih besar sehingga untuk penampilan satuan awal biasanya ditampilkan dalam prosen volume bukan ppm. Dari perhitungan ketidakpastian total, pengukuran jarak memberikan kontribusi nilai ketidakpastian yang cukup tinggi pada semua pengukuran emisi dengan regulasi R83. Hal ini dapat disebabkan oleh hasil kalibrasi *speed dynamometer* dan alat ukur *timer counter*.



Gambar3. Prosentase perbandingan ketidakpastian pengukuran emisi total.

SIMPULAN

Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran pada pengujian emisi kendaraan bermotor menunjukkan bahwa ketidakpastian hasil kalibrasi instrument ukur cukup berpengaruh signifikan terhadap ketidakpastian akhir suatu hasil pengujian.

Hal ini terlihat pada hasil kalibrasi kecepatan dynamometer yang digunakan untuk perhitungan jarak, memberi dampak paling besar karena sertifikat kalibrasi yang dilakukan menghasilkan ketidakpastian bentangan 0,5 km/h. Sehingga pada perhitungan jarak dihasilkan ketidakpastian 2,92 % pada siklus EUDC dan 0,89% pada siklus UDC.

Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran pada pengujian emisi kendaraan bermotor menunjukkan bahwa ketidakpastian hasil kalibrasi instrument ukur cukup berpengaruh signifikan terhadap ketidakpastian akhir suatu hasil pengujian. Hal ini terlihat pada hasil kalibrasi kecepatan dynamometer yang digunakan untuk perhitungan jarak, memberi dampak paling besar karena sertifikat kalibrasi yang dilakukan menghasilkan ketidakpastian bentangan 0,5 km/h. Sehingga pada perhitungan jarak dihasilkan ketidakpastian 2,92 % pada siklus EUDC dan 0,89% pada siklus UDC.

Ketidakpastian untuk kalibrasi gas analyzer di BT2MP-BPPT untuk masing-masing channel cukup bagus, yaitu 0,01 ppm untuk CO, HC dan NO_x, kecuali CO₂ dengan ketidakpastian 0,1% (vol). Sehingga untuk ketidakpastian pengukuran konsentrasi polutan dihasilkan ketidakpastian dibawah 0,5 % (read) tetapi untuk CO₂, dihasilkan ketidakpastian sampai diatas 1,5 % (read). Sehingga pada pengujian emisi NO_x menghasilkan nilai ketidakpastian yang lebih tinggi dibanding polutan lainnya. Hal ini disebabkan untuk perhitungan emisi NO_x, dibutuhkan perhitungan faktor koreksi akibat kelembaban ruang uji. Pada formula ini ketidakpastian pengukuran kelembaban dan tekanan ruangan adalah faktor yang berpengaruh pada perhitungan ini.

Sebagai rekomendasi, salah satu metoda untuk memperkecil ketidakpastian pengukuran emisi kendaraan adalah penggunaan kalibrator dengan standar ukur yang mempunyai akurasi lebih baik atau nilai ketidakpastian yang lebih kecil terutama untuk parameter jarak, kelembaban, tekanan ruangan dan gas standar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kajian ini Kami mengucapkan terimakasih kepada kepala BT2MP-BPPT yang telah mendukung dilakukannya kajian ini dan rekan-rekan tim uji di Laboratorium Emisi Kendaraan Bermotor yaitu Ka.Lab.Ibu Siti Yubaidah, M.T yang memfasilitasi kajian

ini, serta tim uji Bapak M. Agus Wijayanto, ST dan Bapak Jumadi yang telah melakukan pengujian sehingga kajian ini dapat selesai sesuai dengan rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Peraturan pemerintah No. 41 Tahun 1999: Pengendalian pencemaran udara
- 2 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 Tahun 2003: Ambang batas emisi gas buang tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi
- 3 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 Tahun 2009: Ambang batas emisi gas buang tipe baru UN ECE R83-05
- 4 Biatna D.T, Ary Budi M, Utari A. (2013). Ketersediaan SNI dan lembaga penilaian kesesuaian serta kesiapan industri sektor otomotif menghadapi regulasi UN ECE. Jurnal Standardisasi volume 16 nomor 3. Hal 235-246
- 5 Piotr Bielaczyc, Andrzej Szczocka. (2007). *Analysis of uncertainty of the emission measurement of gaseous pollutants on chassis dynamometer*. SAE 2007-01-1324
- 6 International Organisation for Standardisation. (1993). *ISO/TAG 4 : 1993 – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. Paris: ISO.
- 7 JCGM.(2008). *JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Paris: BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP dan OIML..
- 8 KAN-G-01(2008) *Guide On The Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement*, Issue Number : 2
- 9 ECER83-04 (2000): *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements*
- 10 ISO/IEC 17025 first edition (1999) *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration laboratories*. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, 1993.
- 11 SNI-19-17025 (2000) *Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*.

- 12 Taylor, B N, Kuyatt, C E. (1993). *Guideline for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. NIST Technical Note 1297.
- 13 SAC-SINGLAS Technical Guide 1, 2nd edition, (2001) *Guidelines of The Evaluation and Expression of Measurement Uncertainty*.
- 14 EA-4/02 (1999) *Expression of The Uncertainty of Measurement in Calibration*, European Accreditation.
- 15 EURACHEM/CITAC (2000) *Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*.
- 16 APLAC TC 004, (2001) *Method of Stating Test Results and Compliance with Specificaition*