SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 7117-21:2021

Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 21: Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*) dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri

ICS 13.040.40

BSN BADAN STANDARDISASI NASIONAL

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

© BSN 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi i
Prakata ii
Pendahuluan iv
1 Ruang lingkup 1
2 Acuan normatif 1
3 Istilah dan definisi 1
4 Kesehatan dan keselamatan kerja 3
5 Cara uji 3
5.1 Cara uji tipe A 3
5.2 Cara uji tipe B 21
6 Pengendalian mutu 40
Lampiran A (normatif) Pelaporan 41
Lampiran B (informatif) Contoh formulir pelaporan hasil pemantauan emisi gas buang sumber tidak bergerak 42
Lampiran C (informatif) Contoh lembar pencatatan 44
Lampiran D (normatif) Tabel tekanan uap air jenuh dan masa jenis etanol berdasarkan suhu 51
Lampiran E (informatif) Prosedur analisis konsentrasi gas buang dengan *Orsat Analyzer* ... 52
Lampiran F (informatif) Contoh perhitungan kecepatan hisap pompa sesuai kecepatan isokinetik 55
Lampiran G (informatif) Prosedur verifikasi *nozzle* dan *pitot tube* 56
Lampiran H (informatif) Material pipa pengambil contoh uji dan suhu maksimumnya 57
Lampiran I (informatif) Prosedur uji laminer 58
Lampiran J (informatif) Contoh perhitungan penentuan kadar partikulat 60
Bibliografi 69

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Prakata

Standar Nasional Indonesia SNI 7117-21:2021 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 21: Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*) dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri dalam bahasa Inggris berjudul *Flue gas emmission – stationary sources – Part 21: Isokinetic sampling of particulate matter using in-stack filter and gravimetrical determination* merupakan revisi dari penggabungan dari 5 (lima) SNI, yaitu:

1. SNI 19-7117.1-2005, Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 1: Penentuan kecepatan alir;
2. SNI 19-7117.2-2005, Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 2: Penentuan lokasi dan titik-titik lintas pengambilan contoh uji partikel;
3. SNI 19-7117.4-2005, Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 4: Cara uji kadar uap air dengan metoda gravimetri;
4. SNI 19-7117.10-2005, Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 10: Cara uji konsentrasi CO, CO_2, O_2 dengan peralatan analisis otomatik;
5. SNI 19-7117.12-2005, Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 12: Penentuan total partikel secara isokinetik.

Standar ini disusun dengan metode pengembangan sendiri dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2021.

Revisi dalam Standar ini meliputi:

- penambahan pilihan cara uji sesuai referensi termutakhir menggunakan referensi *JIS Z* 8808-2013 (tipe A) dan referensi US EPA Method 17 (tipe B) (lihat **Pasal 5**);
- penggabungan ruang lingkup sesuai urutan pengerjaan (lihat **Pasal 1**);
- penambahan ketentuan kesehatan dan keselamatan kerja (lihat **Pasal 4**);
- penambahan alternatif jenis alat gas *meter* untuk penentuan kadar air dan pengambilan contoh uji partikulat pada cara uji berdasarkan referensi JIS Z 8808 (lihat **5.1.2** dan **5.1.5**);
- penambahan alternatif alat *orsat analyzer* dan *fyrite analyzer* untuk penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 (lihat **5.1.3 dan 5.2.3**);
- penambahan alternatif jenis alat manometer untuk pengukuran tekanan dinamik dan tekanan statik dalam penentuan kecepatan alir (lihat **5.1.4**);
- penambahan alternatif jenis alat *pitot tube* untuk penentuan kecepatan alir (lihat **5.1.4**);
- penambahan persyaratan uji laminer jika pengambilan contoh uji dilakukan pada lokasi yang tidak ideal (lihat **5.2.1.1** dan **Lampiran I**);
- penambahan verifikasi *nozzle* dan *pitot tube* sebagai langkah pengendalian mutu (lihat **Pasal 6** dan **Lampiran G**);
- penambahan lampiran contoh formulir pelaporan hasil pemantauan emisi gas buang sumber tidak bergerak (lihat **Lampiran B**);
- penambahan lampiran contoh lembar pencatatan (lihat **Lampiran C**);
- penambahan lampiran prosedur analisis konsentrasi gas buang dengan *orsat analyser* (lihat **Lampiran E**);
- penambahan lampiran contoh perhitungan kecepatan hisap pompa sesuai kecepatan isokinertik (lihat **Lampiran F**);
- penambahan lampiran material pipa pengambil contoh uji dan suhu maksimumnya (lihat **Lampiran H**); dan
- penambahan contoh perhitungan penentuan kadar partikulat (lihat **Lampiran J**).

Standar ini merupakan bagian dari standar seri, yaitu:

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

- SNI 7117.3.1 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 3: Oksida-oksida sulfur (SO_x) - Seksi 1: Cara uji dengan metode turbidimetri menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117-3-2 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 3: Oksida-oksida sulfur (SO_x) - Seksi 2: Cara uji dengan metode netralisasi titrimetri;
- SNI 7117.5 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 5: Cara uji oksida-oksida nitrogen dengan metode phenol disuphonic acid (PDS) menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117.6 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 6: Cara uji kadar amoniak (NH_3) dengan metode indofenol menggunakan spektrofotometer;
- SNI 71.17.7 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 7: Cara uji kadar hidrogen sulfida (H2S) dengan metode biru metilen menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117.8 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 8: Cara uji kadar hidrogen klorida (HCl) dengan metode merkuri tiosianat menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117.9 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 9: Cara uji kadar hidrogen fluorida (HF) dengan metode kompleks lanthanum alizarin menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117.11 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 11: Cara uji opasitas menggunakan skala Ringelmann untuk asap hitam;
- SNI 7117.13 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 13: Penentuan lokasi dan titik-titik lintas untuk pengambilan contoh uji partikulat dan kecepatan linear;
- SNI 7117.14 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 14: Penentuan kecepatan linear;
- SNI 7117.15 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 15: Penentuan berat molekul kering;
- SNI 7117.16 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 16: Penentuan kadar uap air secara gravimetri;
- SNI 7117.17 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 17: Penentuan kadar partikulat secara isokinetis;
- SNI 7117.18 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 18: Cara uji sulfur dioksida (SO2) secara turbidimetri menggunakan spektrofotometer;
- SNI 7117.19 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 19: Cara uji Total Reduced Sulfur (TRS) secara turbidimetri dengan alat spektrofotometer;
- SNI 7117.20 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 20: Penentuan kadar logam;
- **SNI 7117-21:2021 Emisi gas buang - Sumber tidak bergerak - Bagian 21: Penentuan kadar logam**.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 13-03 Kualitas Lingkungan. Standar ini telah dibahas dan disetujui dalam rapat konsensus secara virtual pada tanggal 2 Juli 2020. Konsensus ini dihadiri oleh para pemangku kepentingan *(stakeholders*) terkait, yaitu perwakilan dari pemerintah, pelaku usaha, konsumen, dan pakar. Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 31 Agustus 2020 sampai dengan 30 Oktober 2020 dan melalui tahapan jajak pendapat ulang pada tanggal 21 April 2021 sampai dengan 21 Mei 2021, dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen Standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Pendahuluan

Upaya pengendalian pencemaran udara meliputi pencegahan dan penanggulangan pencemaran serta pemulihan mutu udara. Langkah-langkah tersebut meliputi upaya pemantauan kualitas udara, identifikasi penyebab pencemaran udara, dan pengendalian pada sumber pencemar. Upaya kegiatan pemantauan kualitas udara perlu didukung oleh metode standar yang sesuai dengan teknologi dan kemampuan peralatan pemantauan. Salah satu upaya pemantauan kualitas udara dari emisi gas buang sumber tidak bergerak adalah dengan melakukan pengukuran terhadap kadar partikulat.

Standar ini menggunakan *JIS Z* 8808-2013, *Methods of Measuring Dust Concentration in Flue Gas* dan *US EPA Method* 17, *Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources* sebagai referensi dalam penyusunannya, dan telah melalui uji coba di laboratorium pengujian dalam rangka verifikasi metode yang digunakan.

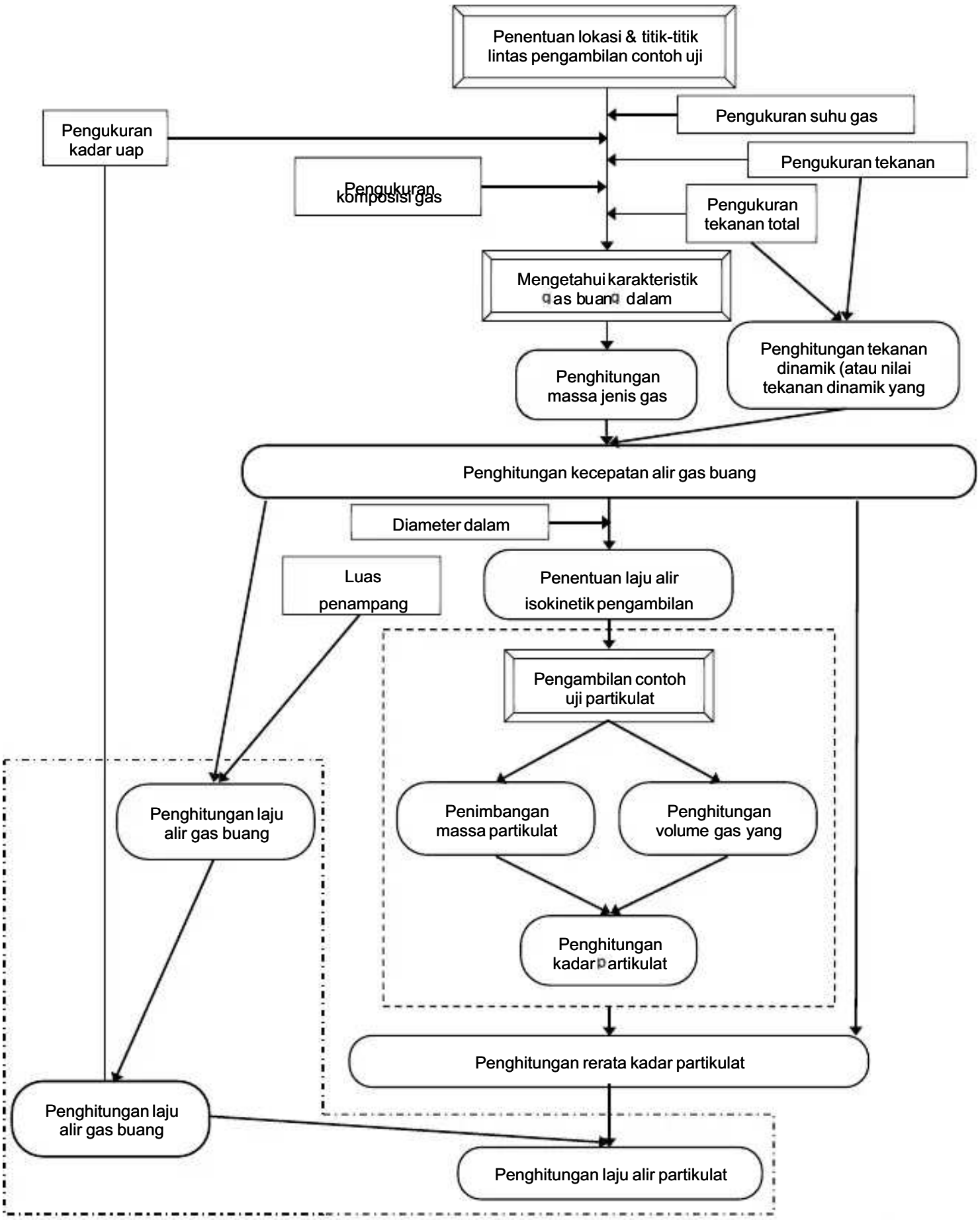
Metode pengukuran kadar partikulat dari emisi gas buang sumber tidak bergerak dapat dilakukan dengan 2 macam tipe pengambilan contoh uji, yaitu:
1. Pengambilan contoh uji menggunakan filter di luar cerobong (*out-stack filter*); dan
2. Pengambilan contoh uji menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*).

Metode pengukuran kadar partikulat dari emisi gas buang sumber tidak bergerak dengan pengambilan contoh uji menggunakan filter di luar cerobong (*out-stack filter*) disarankan untuk cerobong yang jenuh dengan uap air atau cerobong yang dilengkapi dengan *wet scrubber*.

Metode pengukuran kadar partikulat dari emisi gas buang sumber tidak bergerak dengan pengambilan contoh uji menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*) tidak disarankan untuk cerobong yang jenuh dengan uap air atau cerobong yang dilengkapi dengan *wet scrubber*.

Standar ini mendeskripsikan metode pengukuran kadar partikulat dari emisi gas buang sumber tidak bergerak dengan pengambilan contoh uji menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*). Standar ini terbagi menjadi dua cara uji, yaitu cara uji tipe A yang mengacu pada JIS Z 8808-2013, *Methods of Measuring Dust Concentration in Flue Gas* (lihat **5.1**) dan cara uji tipe B yang mengacu pada *US EPA Method* 17, *Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources* (lihat **5.2**). Adapun tahapan-tahapan yang harus dilakukan hingga dapat dilakukan pengukuran kadar partikulat sesuai dengan metode ini ditunjukkan oleh Gambar 1.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



CATATAN 1 Pokok isi dalam ▭ merupakan nilai yang diukur dan pokok isi dalam ⬭ merupakan nilai yang dihitung.

CATATAN 2 Area yang dilingkupi oleh garis putus-putus merupakan pengukuran yang dilakukan menggunakan neraca.

CATATAN 3 Area yang dilingkupi oleh garis berbentuk rantai diperlukan dalam pengukuran laju alir gas buang atau laju alir partikulat.

Gambar 1 – Diagram alir tahapan dalam pengukuran kadar partikulat dari emisi gas buang sumber tidak bergerak

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 21: Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik menggunakan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*) dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan metode untuk pengambilan contoh uji partikulat menggunakan filter dalam cerobong (*in-stack filter*) dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri dengan urutan pengerjaan meliputi:

a) penentuan lokasi dan titik-titik lintas pengambilan contoh uji;
b) penentuan kadar/fraksi volume uap air dalam gas buang secara gravimetri;
c) penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 dalam gas buang;
d) penentuan kecepatan alir gas buang,
e) pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik (persen isokinetik 90 % - 110 %) dengan filter di dalam cerobong (*in-stack filter*); dan
f) penentuan kadar partikulat secara gravimetri.

Standar ini sesuai untuk cerobong/*duct* dengan diameter ≥ 30 cm dengan kadar uap air relatif rendah pada aliran gas buang sedemikian rupa sehingga tidak akan mengganggu hisapan pompa pada saat pengambilan contoh uji partikulat. Standar ini tidak disarankan untuk cerobong/*duct* yang jenuh dengan uap air dan cerobong/*duct* yang dilengkapi dengan *wet scrubber*. Standar ini dapat mengukur partikulat dengan massa tidak kurang dari 5 mg.

2 Acuan normatif

Tidak ada

3 Istilah dan definisi

Untuk keperluan penggunaan Standar ini, berlaku istilah sebagai berikut:

3.1
cerobong/*duct*
suatu saluran yang berbahan beton, besi berlapis insulator yang digunakan untuk menyalurkan gas-gas pencemar dan debu ke udara, biasa terletak pada bagian akhir pembuangan

3.2
diameter ekuivalen
diameter yang mewakili bentuk cerobong berpenampang persegi atau lingkaran dengan penyempitan atau pelebaran luas penampang dalam penentuan titik pengambilan contoh uji pada titik lintas

3.3
emisi
zat, energi, dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari kegiatan yang masuk atau dimasukkan ke udara ambien

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

3.4
flange
penghubung antara cerobong dengan mulut lubang tempat pengambilan contoh uji

3.5
kadar partikulat
massa partikel yang terkandung dalam 1 m^3 gas buang kering dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg), dalam satuan mg/Nm^3

3.6
kadar uap air dalam gas buang
kandungan uap air dalam aliran gas buang yang dinyatakan dalam satuan persen volume (%)

3.7
kantong contoh uji (*sampler bag*)
kantong terbuat dari bahan polivinilfluorida (PVF) atau politetrafluoroetilena (PTFE) yang digunakan sebagai tempat mengumpulkan contoh uji gas

3.8
kecepatan aliran gas
laju alir gas dalam cerobong yang ditentukan dari massa jenis gas dan pengukuran tekanan gas di dalam cerobong dengan menggunakan *pitot tube* dalam satuan meter per detik (m/detik)

3.9
lubang pengambil contoh uji
saluran tempat pengambilan contoh uji sesuai dengan persyaratan

3.10
manometer inklinasi (*inclined manometer*)
manometer cairan dengan sudut kemiringan tertentu

3.11
mg/Nm^3
satuan ini dibaca sebagai miligram per normal meter kubik, notasi N menunjukkan satuan volume hisap kering udara gas buang dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg)

3.12
partikulat
partikel dalam bentuk padatan atau bukan padatan yang terbawa dalam gas buang

3.13
pengambilan contoh uji secara isokinetik
laju alir gas buang yang diambil melalui *nozzle* harus sama dengan laju alir gas buang dalam cerobong (90 % - 110 %)

3.14
tekanan dinamik
tekanan yang disebabkan oleh kecepatan fluida yang mengalir

3.15
tekanan statik
tekanan yang disebabkan oleh fluida pada kondisi mulut lubang *pitot tube* tegak lurus (90 °) terhadap arah aliran fluida

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

3.16
titik-titik lintas
titik pengambilan contoh uji yang mewakili dalam suatu penampang lintang cerobong

4 Kesehatan dan keselamatan kerja

Untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja di lapangan dan laboratorium, maka diperlukan:
a) Pekerjaan dilakukan sesuai dengan S*tandard Operating Procedure* (*SOP*) bekerja di ketinggian.
b) Penggunaan alat pelindung diri (APD) disesuaikan dengan ruang lingkup pekerjaan.
c) Penanganan bahan kimia secara aman mengacu kepada lembar data keselamatan bahan (*Safety Data Sheet*/*SDS*).

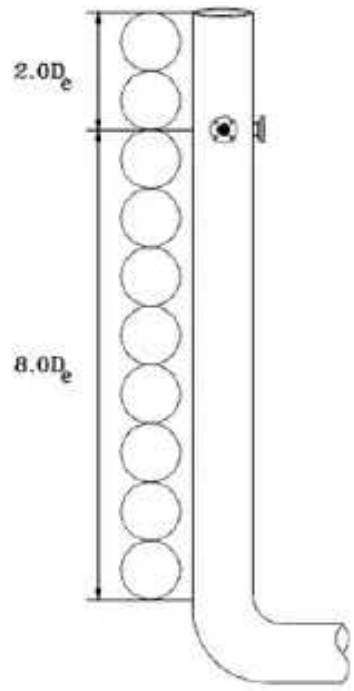
5 Cara uji

5.1 Cara uji tipe A

5.1.1 Penentuan lokasi dan titik-titik lintas pengambilan contoh uji

5.1.1.1 Penentuan lokasi pengambilan contoh uji

Pemilihan lokasi pengambilan contoh uji yang ideal dilaksanakan pada posisi di antara 8 kali diameter cerobong dari aliran bawah (hulu) dan 2 kali diameter dari aliran atas (hilir) dengan persyaratan tidak ada gangguan aliran seperti belokan, penyempitan, atau pelebaran aliran di dalam cerobong (lihat Gambar 2).



Gambar 2 – Contoh penentuan lokasi pengambilan contoh uji yang ideal

5.1.1.2 Penentuan diameter ekuivalen

Berikut adalah cara penentuan diameter ekuivalen.

5.1.1.2.1 Cerobong berpenampang persegi

Diameter ekuivalen ditentukan berdasarkan rumus:

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

$$D_e = \frac{2 \times L \times W}{L + W} \quad (1)$$

Keterangan:
D_e adalah diameter ekuivalen (m);
2 adalah tetapan matematis untuk penentuan diameter ekuivalen;
L adalah panjang penampang cerobong (m);
W adalah lebar penampang cerobong (m).

5.1.1.2.2 Cerobong berpenampang lingkaran dengan adanya penyempitan atau pelebaran diameter

Diameter ekuivalen ditentukan berdasarkan rumus:

$$D_e = \frac{2 \times d \times D}{D + d} \quad (2)$$

Keterangan:
D_e adalah diameter ekuivalen (m);
2 adalah tetapan untuk penentuan diameter ekuivalen;
D adalah diameter dalam dari cerobong bawah (m);
d adalah diameter dalam dari cerobong atas (m).

5.1.1.3 Persyaratan lubang pengambilan contoh uji

Lubang pengambilan contoh uji pada cerobong harus memenuhi persyaratan berikut ini:

a) diameter lubang pengambilan contoh uji minimal 10 cm;
b) lubang pengambilan contoh uji harus memiliki tutup yang dilengkapi dengan baut dengan sistem *flange* (lihat Gambar 3);
c) arah lubang pengambilan contoh uji tegak lurus dengan dinding cerobong.

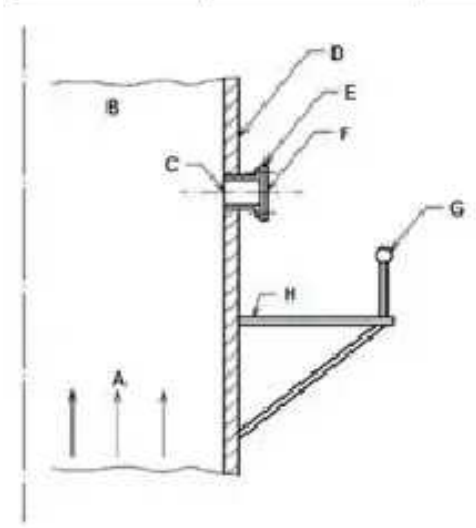
5.1.1.4 Sarana pendukung pengambilan contoh uji

Pada saat pengambilan contoh uji dibutuhkan sarana pendukung seperti berikut ini (lihat Gambar 3):
a) tangga besi dan selubung pengaman tangga besi;
b) lantai kerja atau landasan pengambilan contoh uji dengan ketentuan:
   - dapat mendukung beban minimal 500 kg;
   - keleluasaan kerja untuk minimal 3 orang;
   - lebar lantai kerja terhadap lubang pengambilan contoh uji 1 m sampai 2 m dan melingkari cerobong;
   - pagar pengaman setinggi 1 m;
   - posisi lubang pengambilan contoh uji sekurang-kurangnya berjarak 20 cm dari tinggi pagar pengaman;
   - katrol pengangkat alat pengambil contoh uji;
   - stop kontak aliran listrik sesuai dengan peralatan yang digunakan.

c) sumber listrik (catu daya) tersedia/ditempatkan dekat dengan lubang pengambilan contoh uji;
d) sarana dan prasarana pengangkutan serta perlengkapan keamanan dan keselamatan pengambilan contoh uji harus tersedia (disesuaikan dengan kondisi cerobong).

CATATAN Sarana pendukung disesuaikan dengan kondisi cerobong.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:
A adalah arah aliran gas buang;
B adalah cerobong;
C adalah lubang pengambilan contoh uji;
D adalah dinding cerobong;
E adalah baut penjepit (*bolt clamp)*;
F adalah penutup lubang pengambil contoh uji;
G adalah pengaman/pegangan tangan (*handrail*);
H adalah lantai kerja atau landasan pengambilan contoh uji.

Gambar 3 – Contoh lubang pengambilan contoh uji beserta sarana pendukungnya

5.1.1.5 Penentuan titik-titik lintas pengambilan contoh uji

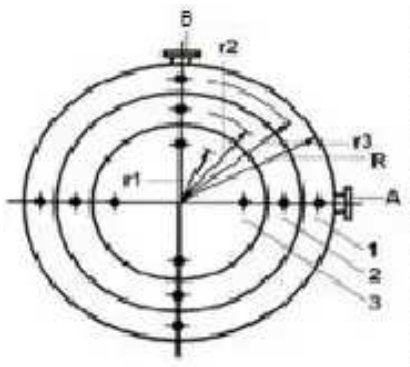
5.1.1.5.1 Penentuan titik-titik lintas untuk cerobong berpenampang bentuk lingkaran

Penentuan jumlah titik lintas untuk cerobong berpenampang lingkaran bergantung pada diameter cerobong sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Jumlah titik-titik lintas pengukuran paling sedikit 4 titik untuk diameter cerobong kurang dari 1 m dan paling banyak 20 titik untuk diameter cerobong lebih dari 4,5 m. Masing-masing titik lintas pengukuran mewakili lokasi dengan luasan yang sama besar. Gambar 4 menggambarkan contoh titik-titik lintas pengukuran untuk cerobong dengan irisan melintang berbentuk lingkaran.

Tabel 1 – Pedoman penentuan titik-titik lintas pengukuran untuk cerobong dengan irisan melintang berbentuk lingkaran

Diameter cerobong 2R (m)	Jumlah pembagian jari-jari	Jumlah titik lintas pengukuran	Jarak dari pusat cerobong ke titik-titik lintas pengukuran (m)				
			r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
≤ 1	1	4	0,707R	-	-	-	-
> 1 s/d 2	2	8	0,500R	0,866R	-	-	-
> 2 s/d 4	3	12	0,408R	0,707R	0,913R	-	-
> 4 s/d 4,5	4	16	0,354R	0,612R	0,791R	0,935R	-
> 4,5	5	20	0,316R	0,548R	0,707R	0,837R	0,949R

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



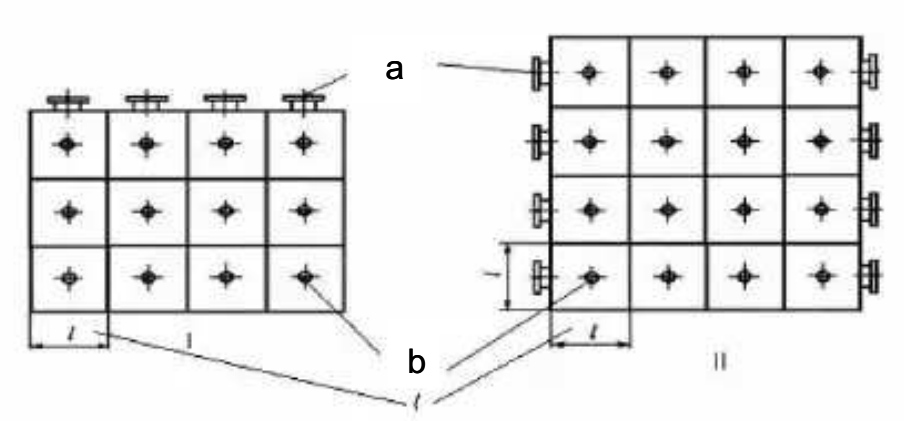
Keterangan:

A adalah lubang pengambilan contoh uji;
1 adalah titik lintas 1;
2 adalah titik lintas 2;
3 adalah titik lintas 3;
B adalah lubang pengambilan contoh uji ke – 2;
R adalah jari-jari cerobong;
r_1 adalah jarak titik lintas 1 dari pusat cerobong;
r_2 adalah jarak titik lintas 2 dari pusat cerobong;
r_3 adalah jarak titik lintas 3 dari pusat cerobong.

Gambar 4 – Contoh titik-titik lintas pengukuran untuk cerobong dengan irisan melintang berbentuk lingkaran

5.1.1.5.2 Penentuan titik-titik lintas untuk cerobong berpenampang bentuk persegi panjang atau persegi

Untuk cerobong berpenampang persegi panjang atau persegi, setiap luasan cerobong harus dibagi menjadi minimal 4 atau lebih persegi dengan luasan yang sama dan panjang sisi (l) sesuai dengan Tabel 2. Titik-titik lintas terletak di tengah dari setiap persegi tersebut (lihat Gambar 5).



Keterangan:

a adalah lubang pengambilan contoh uji;
b adalah titik lintas;
l adalah panjang (*length)* sisi pembagi;
I adalah cerobong bentuk persegi panjang;
II adalah cerobong bentuk persegi.

Gambar 5 – Contoh penentuan titik-titik lintas pengukuran pada irisan cerobong bentuk persegi panjang atau bentuk persegi

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel 2 – Pedoman penentuan titik-titik lintas pengukuran pada irisan cerobong bentuk persegi panjang atau bentuk persegi

A [1] (m^2)	*l* [2] (m)
≤ 1	≤ 0,5
> 1 s/d 4	≤ 0,667
> 4 s/d 20	≤ 1,0
CATATAN Semakin banyak titik lintas pengukuran yang ditentukan maka semakin representatif untuk pengambilan contoh uji.	
[1] A adalah luas irisan melintang cerobong (m^2) [2] *l* adalah panjang sisi pembagi (m)	

5.1.2 Penentuan kadar uap air

5.1.2.1 Prinsip

Uap air dalam gas buang dijerap ke dalam butiran kalsium klorida ($CaCl_2$), kemudian ditimbang massanya.

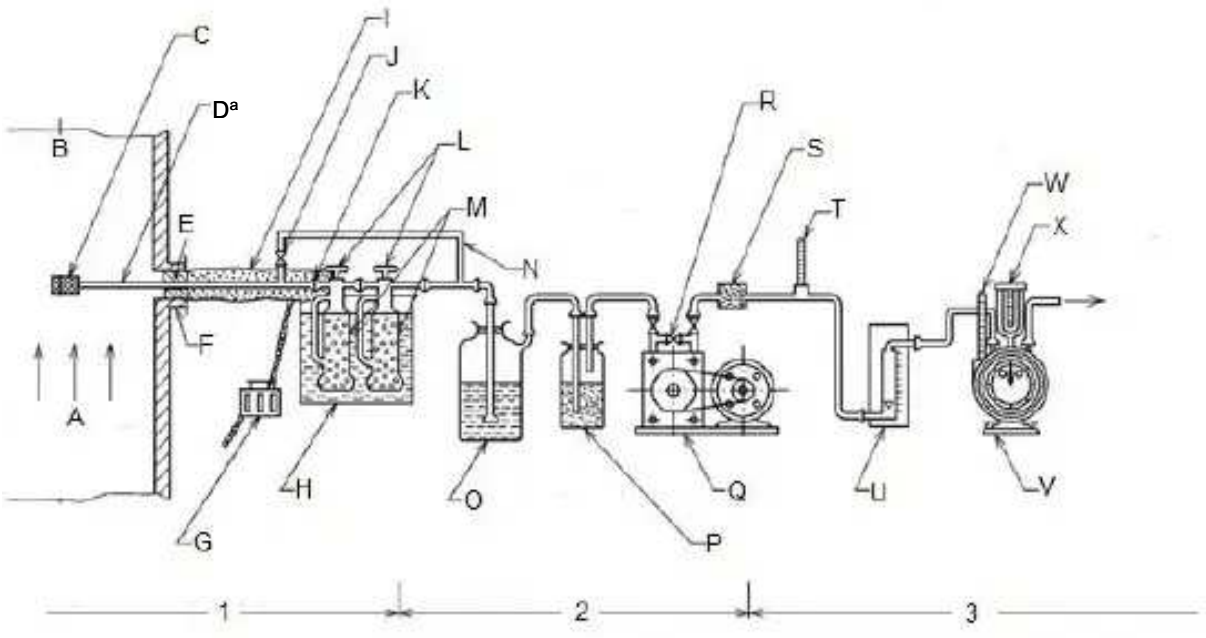
5.1.2.2 Bahan

a) butiran kalsium klorida ($CaCl_2$);
b) air pendingin;
c) hidrogen peroksida (H_2O_2) 3 % : encerkan 10 mL H_2O_2 30 % dengan 90 mL air bebas mineral dalam gelas piala 250 mL, kemudian homogenkan;
d) *glass wool*;
e) serat kaca (*glass fiber*) atau kapas absorben (*absorbent cotton*).

5.1.2.3 Alat

a) rangkaian alat penentuan kadar uap air seperti Gambar 6;
b) timbangan dengan keterbacaan minimal 0,1 g;
c) alat pengukur waktu (*stopwatch*).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:

1 adalah bagian pengambilan contoh uji;
2 adalah bagian penghisapan gas;
3 adalah bagian pengukuran laju alir;
A adalah arah aliran gas buang;
B adalah cerobong;
C adalah *glass fiber*;
D adalah pipa pengambil contoh uji[a)];
E adalah bahan tahan panas (insulator);
F adalah lubang pengambilan contoh uji;
G adalah pengatur suhu pemanas;
H adalah bak air pendingin;
I adalah mantel pemanas;
J adalah keran *bypass*;
K adalah sambungan;
L adalah keran tabung absorpsi;
M adalah tabung absorpsi berisi $CaCl_2$;
N adalah aliran *bypass*;
O adalah botol absorpsi SO_2 berisi larutan H_2O_2 3 %;
P adalah botol pemisah kabut berisi serat kaca/kapas absorben;
Q adalah pompa vakum;
R adalah keran pengatur laju alir;
S adalah pemisah kabut oli;
T adalah termometer;
U adalah *flowmeter*;
V adalah *gas meter* (*dry gas meter* atau *wet gas meter*);
W adalah termometer;
X adalah manometer.

a) Pipa pengambil contoh uji harus terbuat dari material yang tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya).

Gambar 6 – Contoh rangkaian alat penentuan kadar uap air

5.1.2.4 Persiapan penentuan kadar uap air

1) isi botol penjerap uap air dengan butiran $CaCl_2$ sampai hampir penuh, sumbat bagian atas dengan *glass wool*;
2) timbang massa awal, W_1 (g).

CATATAN Gunakan sarung tangan karet dan pinset pada saat menggunakan *glass wool*.

5.1.2.5 Prosedur

1) rangkai alat penentuan kadar uap air seperti Gambar 6;
2) masukkan pipa pengambil contoh uap air ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada titik lintas yang telah ditetapkan berdasarkan subpasal 5.1.1;
3) catat volume awal yang dibaca pada alat gas meter, V_1 (L);
4) hidupkan pompa vakum dan atur kecepatan alir sesuai dengan massa $CaCl^2$ dalam botol penjerap;

CATATAN Setiap 1 gram $CaCl_2$ setara dengan kecepatan alir pompa 0,1 L/menit.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5) catat suhu pada gas meter (t_m) (°C) dan tekanan pada gas meter (mmHg);
6) matikan pompa vakum setelah pengambilan contoh uji sebanyak kurang lebih 10 L;

CATATAN 1 Waktu pengambilan contoh uji biasanya berkisar antara 3 menit – 5 menit tanpa terbentuk lapisan air.

CATATAN 2 Bila terbentuk lapisan air, ulangi pengambilan contoh uji menggunakan botol penjerap dan $CaCl_2$ yang baru dengan waktu yang lebih singkat.

7) catat kembali volume akhir pada gas meter, V_2 (L);
8) timbang massa akhir botol penjerap uap air, W_2 (g).

CATATAN Penimbangan massa akhir botol dilakukan setelah botol mencapai suhu awal. Aliran gas buang dengan suhu tinggi akan meningkatkan suhu penjerap $CaCl_2$.

5.1.2.6 Perhitungan

Kadar uap air dalam gas buang dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$X_w = \frac{\frac{24,45}{18}\times(W_2 - W_1)}{V_m \times \frac{298}{273 + t_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} + \left[\frac{24,45}{18}\times(W_2 - W_1)\right]} \times 100 \quad (4)$$

Keterangan:

X_w adalah kadar uap air dalam gas buang (% volume);
W_1 adalah massa botol penjerap awal (g);
W_2 adalah massa botol penjerap akhir (g);
V_m adalah volume gas yang diserap, ($V_2 – V_1$) (L);
t_m adalah suhu gas yang dibaca pada gas meter (°C);
P_a adalah tekanan atmosfer (mmHg);
P_m adalah tekanan yang dibaca pada gas meter (mmHg);
P_v adalah tekanan uap air jenuh pada suhu t_m (mmHg) (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D);
298 adalah konversi suhu pada kondisi normal (25 °C) ke dalam Kelvin;
273 adalah konversi suhu standar (0 °C) ke dalam Kelvin;
760 adalah tekanan udara standar (mmHg);
24,45 adalah jumlah volume yang sebanding dengan 1 mol gas dikoreksi pada kondisi normal 25 °C, 1 atm (L);
18 adalah massa molekul relatif H_2O.

CATATAN Jika menggunakan *dry gas meter* pada rangkaian alat penentuan kadar uap air, maka nilai $P^v = 0$.

5.1.3 Penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2

5.1.3.1 Prinsip

Contoh uji gas buang diambil dengan sistem langsung atau sistem tidak langsung (gas buang dikumpulkan terlebih dahulu dalam kantong contoh uji/*Tedlar Bag*) kemudian dianalisis konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 menggunakan alat otomatis (*gas analyzer*) atau alat manual dengan larutan penjerap (o*rsat analyzer* atau *fyrite analyzer*).

5.1.3.2 Bahan

a) gas standar CO, CO_2, dan O_2 bersertifikat untuk kalibrasi *gas analyzer*; atau
b) larutan penjerap untuk penentuan konsentrasi gas dengan o*rsat analyzer*:
   1) larutan penjerap CO_2: larutkan 30 g KOH ke dalam 100 mL air bebas mineral, kemudian homogenkan;

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI

2) larutan penjerap O_2: larutkan 60 g KOH ke dalam 100 mL air bebas mineral, lalu larutkan 12 g *pyrogallol* ke dalam 100 mL air bebas mineral pada wadah lainnya, kemudian campurkan kedua larutan tersebut;

CATATAN Hindari kontak terlalu lama dengan udara saat pencampuran, karena larutan ini mudah menyerap oksigen.

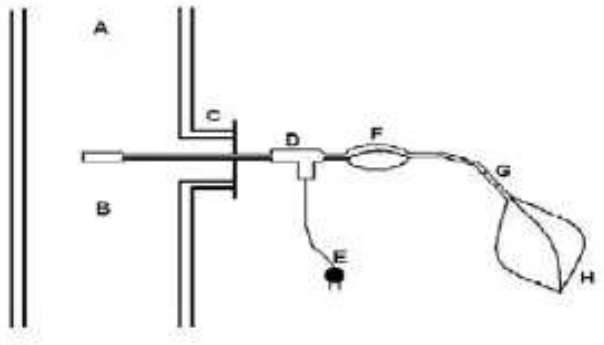
3) larutan penjerap CO: larutkan 15 g kristal Cu^2Cl^2 dalam 100 mL HCl pekat, kemudian homogenkan;
4) larutan skala: tambahkan indikator Metil Merah (MM) dalam larutan jenuh garam (*saturated brine*), kemudian tambahkan H_2SO_4 sampai warna larutan menjadi merah (bersifat agak asam); atau

c) larutan penjerap untuk penentuan konsentrasi gas dengan *fyrite analyzer*:
1) larutan penjerap CO_2 siap pakai yang tersedia secara komersial, contohnya larutan kalium hidroksida (KOH);
2) larutan penjerap O_2 siap pakai yang tersedia secara komersial, contohnya larutan *chromous chloride*.

5.1.3.3 Alat

a) rangkaian alat pengambil contoh uji untuk penentuan konsentrasi gas dalam gas buang seperti Gambar 7;

b) alat analisis komposisi/konsentrasi gas buang, contohnya *orsat analyzer*, *fyrite analyzer*, dan *gas analyzer* (lihat Gambar 8 dan Gambar 9).



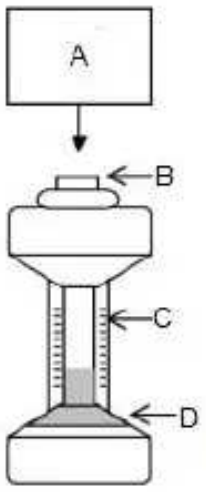
Keterangan:

A adalah cerobong;
B adalah pipa pengambil contoh uji[a];
C adalah lubang pengambilan contoh uji;
D adalah elemen pemanas;
E adalah sumber listrik;
F adalah bola hisap contoh uji;
G adalah sambungan;
H adalah kantong contoh uji.

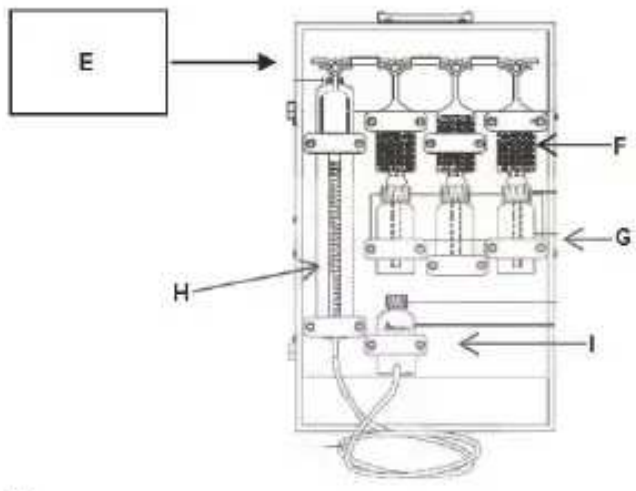
[a] Pipa pengambil contoh uji harus terbuat dari material yang tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya).

Gambar 7 – Contoh rangkaian alat pengambilan contoh uji untuk penentuan konsentrasi gas dalam gas buang

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



1



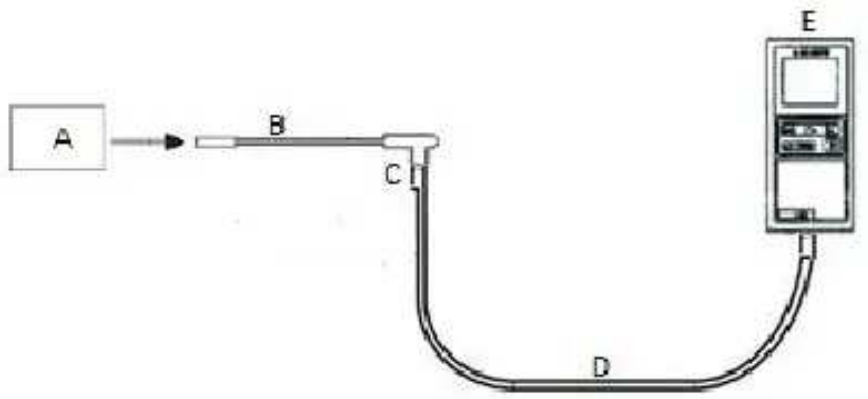
2

Keterangan:

1 adalah *fyrite analyzer*;
A adalah gas buang;
B adalah pompa tekan;
C adalah skala pengukur gas;
D adalah cairan penjerap gas;

2 adalah *orsat analyzer*;
E adalah gas buang;
F adalah katup masukan pipet;
G adalah botol pipet;
H adalah buret pengukur gas;
I adalah botol aspirator.

Gambar 8 – Contoh *fyrite analyzer* dan *orsat analyzer*



Keterangan:

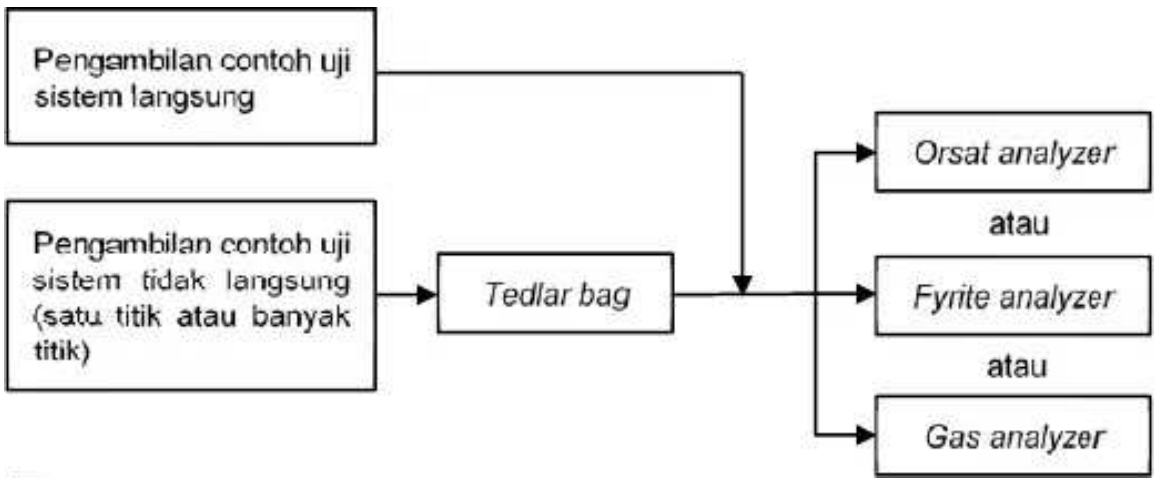
A adalah gas buang;
B adalah pipa pengambil contoh uji;
C adalah unit pengkondisi contoh uji;
D adalah selang;
E adalah *gas analyzer*.

Gambar 9 – Contoh rangkaian alat *gas analyzer*

5.1.3.4 Prosedur

Prosedur penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 dapat dilakukan dengan pengambilan contoh uji sistem langsung atau pengambilan contoh uji sistem tidak langsung menggunakan kantong contoh uji (Lihat Gambar 10).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Gambar 10 – Beberapa alternatif dalam pengukuran konsentrasi gas

5.1.3.4.1 Prosedur dengan pengambilan contoh uji sistem tidak langsung

1) rangkai alat pengambil contoh uji seperti pada gambar 7;
2) masukkan pipa pengambil contoh uji gas ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada posisi tanpa gangguan;
3) panaskan pipa pengambil contoh uji gas hingga suhu 120 °C;
4) pasang bola hisap yang telah dihubungkan dengan kantong contoh uji;
5) lakukan pencucian bagian dalam kantong sebanyak 2 kali dengan cara memompa bola hisap sampai kantong terisi penuh gas buang, kemudian isinya dikeluarkan;
6) isi kantong contoh uji sampai terisi penuh, lalu tutup kantong;
7) lakukan pengukuran konsentrasi gas dengan salah satu alat analisis konsentrasi gas berikut:
   – *orsat analyzer* (lihat Lampiran E); atau
   – *fyrite analyzer*: baca perubahan ketinggian larutan penjerap pada *fyrite* yang menunjukkan konsentrasi gas CO_2 dan O_2, sesuai dengan petunjuk penggunaan alat; atau
   – *gas analyzer*: optimalkan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat dan baca pada layar monitor hasil pengukuran gas;
8) catat hasil pengukuran.

5.1.3.4.2 Prosedur dengan pengambilan contoh uji sistem langsung

1) rangkai alat pengambilan contoh uji seperti Gambar 7 tetapi tanpa memasang kantong contoh uji, pastikan tidak ada kebocoran;
2) sambungkan rangkaian alat pengambil contoh uji dengan alat analisis konsentrasi gas buang;
3) masukkan pipa pengambil contoh uji gas ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada posisi tanpa gangguan, lakukan pengukuran konsentrasi gas dengan salah satu alat analisis konsentrasi gas berikut:
   – *orsat analyzer* (lihat Lampiran E); atau
   – *fyrite analyzer*: baca perubahan ketinggian larutan penjerap pada *fyrite* yang menunjukkan konsentrasi gas CO_2 dan O_2, sesuai dengan petunjuk penggunaan alat; atau
   – *gas analyzer*: optimalkan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat dan baca pada layar monitor hasil pengukuran gas.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.1.4 Penentuan kecepatan alir

5.1.4.1 Prinsip

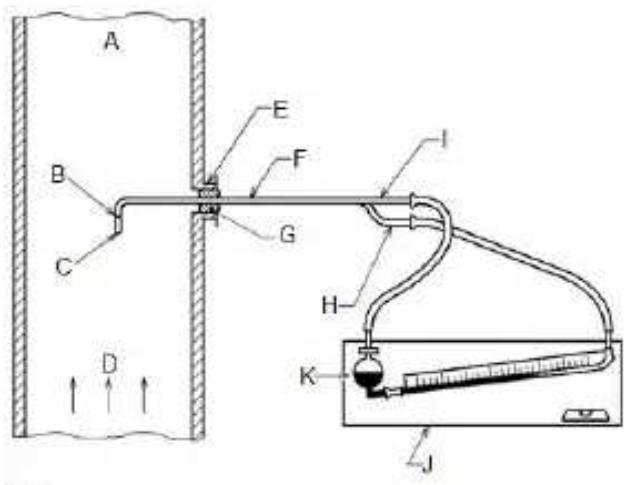
Gas buang diukur tekanan dinamik dan tekanan statiknya menggunakan *pitot tube* dan manometer (pipa U, inklinasi, atau digital) kemudian kecepatan alir gas buang ditentukan berdasarkan nilai tekanan dinamik, tekanan statik, kadar uap air gas buang, komposisi gas buang, dan massa jenis gas buang.

5.1.4.2 Bahan

a) etanol atau cairan pengisi manometer;
b) pewarna larutan.

5.1.4.3 Alat

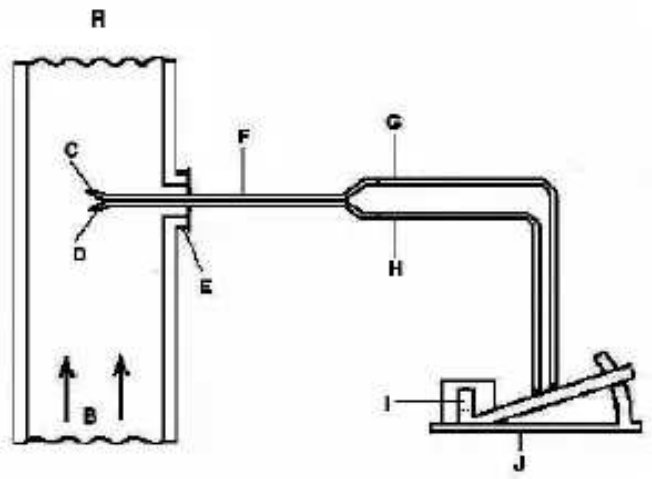
a) rangkaian alat pengukuran kecepatan alir gas buang seperti Gambar 11 atau Gambar 12;
b) meteran dimensi panjang minimal 3 m.



Keterangan:
A adalah cerobong;
B adalah lubang pengukuran tekanan statik;
C adalah lubang pengukuran tekanan total;
D adalah arah aliran gas buang;
E adalah lubang pengambilan contoh uji;
F adalah *Pitot tube* tipe L;
G adalah bahan tahan panas (insulator);
H adalah selang penghubung pengukuran tekanan statik;
I adalah selang penghubung pengukuran tekanan total;
J adalah manometer inklinasi;
K adalah etanol atau cairan pengisi manometer.

Gambar 11 – Contoh rangkaian alat pengukur kecepatan alir gas buang dengan *Pitot tube* tipe L

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:

A adalah cerobong;
B adalah arah aliran gas buang;
C adalah lubang pengukuran tekanan statik;
D adalah lubang pengukuran tekanan total;
E adalah lubang pengambilan contoh uji;
F adalah *pitot tube* tipe S;
G adalah selang penghubung pengukuran tekanan statik;
H adalah selang penghubung pengukuran tekanan total;
I adalah etanol atau cairan pengisi manometer;
J adalah manometer inklinasi.

Gambar 12 – Contoh rangkaian alat pengukur kecepatan alir gas buang dengan *pitot tube* tipe S

CATATAN Alat pengukur tekanan dinamis dan statis dapat menggunakan manometer inklinasi, manometer digital, atau manometer pipa U.

5.1.4.4 Pengukuran tekanan dinamik

1) rangkai peralatan seperti pada Gambar 11 atau Gambar 12;
2) lakukan uji kebocoran aliran gas terhadap sambungan pipa/selang dengan cara meniup lubang pengukuran tekanan total (ditandai dengan huruf C pada Gambar 11 dan huruf D pada Gambar 12) hingga cairan yang ada dalam manometer inklinasi bergeser kemudian tutup dengan jari. Pastikan tidak terjadi penurunan cairan pada manometer inklinasi;
3) tentukan tekanan dinamik pada kondisi atmosfer (*pitot tube* berada di luar cerobong) dengan membaca permukaan cairan dalam manometer sebagai h_o (mm) pada skala etanol;
4) masukkan *pitot tube* ke dalam lubang pengambilan contoh uji sesuai titik-titik lintas pengukuran yang telah ditentukan pada pasal 5.1.1;
5) catat tekanan dinamik dengan membaca permukaan cairan dalam manometer inklinasi sebagai h_1, h_2,...,h_n (mm);
6) catat besaran skala perbesaran manometer inklinasi serta ukur suhu cairan manometer inklinasi yang digunakan (etanol).

CATATAN Jika digunakan manometer digital atau pipa U sesuaikan prosedur penentuan tekanan dengan petunjuk penggunaan alat.

5.1.4.5 Pengukuran tekanan statik

5.1.4.5.1 Pengukuran dengan *pitot tube* tipe L

1) lepaskan selang penghubung pengukuran tekanan total (ditandai dengan huruf I pada Gambar 11) sehingga yang terhubung dengan *pitot tube* hanya selang penghubung pengukuran tekanan statik (ditandai dengan huruf H pada Gambar 11);

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

2) catat tekanan statik awal yaitu pada posisi *pitot tube* berada di luar cerobong sebagai h_{s0};
3) masukkan *pitot tube* ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada salah satu posisi titik lintas pengukuran yang telah ditentukan dari subpasal 5.1.1;
4) catat tekanan statik dengan membaca permukaan cairan pada manometer (h_s).

5.1.4.5.2 Pengukuran dengan *pitot tube* tipe S

1) catat tekanan statik awal yaitu pada posisi *pitot tube* berada di luar cerobong sebagai h_{s0};
2) masukkan *pitot tube* ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada salah satu posisi titik lintas pengukuran yang telah ditentukan dari subpasal 5.1.1;
3) putar *pitot tube* pada posisi 90° searah jarum jam hingga pembacaan manometer mendekati nol;
4) tahan posisi *pitot tube*, lepas selang G pada manometer (lihat Gambar 12) dan baca perubahan cairan manometer dan catat tekanan statik sebagai nilai negatif. Jika cairan manometer melewati titik nol (tanpa skala diatas nol), pasang kembali selang G kemudian lepas selang H pada manometer dan baca perubahan cairan dan catat tekanan statik sebagai nilai positif;
5) catat tekanan statik dengan membaca permukaan cairan pada manometer (h_s).

CATATAN Jika digunakan manometer digital atau pipa U sesuaikan prosedur penentuan tekanan dengan petunjuk penggunaan alat.

5.1.4.6 Perhitungan

5.1.4.6.1 Tekanan dinamik

Tekanan dinamik pada setiap titik lintas pengukuran:

$$h_i = \frac{h_n - h_0}{\beta} \times \rho \qquad (5)$$

Keterangan:
h_i adalah tekanan dinamik pada tiap titik lintas (mmH_2O);
β adalah skala pada manometer inklinasi (lihat pada skala manometer);
ρ adalah massa jenis cairan dalam manometer inklinasi (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D, sesuaikan dengan suhu manometer tercatat);
h_n adalah tinggi cairan manometer inklinasi pada titik lintas n (mm);
h_o adalah tinggi cairan manometer inklinasi pada kondisi atmosfer (mm).

CATATAN 1 Jika digunakan manometer digital, gunakan nilai tekanan yang terbaca dan sesuaikan satuannya.

CATATAN 2 Jika digunakan manometer pipa U dengan diameter 1,1 cm, nilai tekanan dinamik ditentukan berdasarkan perbedaan ketinggian cairan di pipa U.

5.1.4.6.2 Tekanan statik

$$\Delta P_s = \frac{h_s - h_{s0}}{\beta} \times \frac{\rho}{\rho_{Hg}} \qquad (6)$$

Keterangan:
ΔP_s adalah tekanan statik (mmHg);
β adalah skala pada manometer;
ρ adalah massa jenis cairan dalam manometer inklinasi (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D, sesuaikan dengan suhu manometer tercatat);
ρ_{Hg} adalah massa jenis Hg (13,6);

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

h_s adalah tinggi cairan tekanan statik pada salah satu titik lintas pengukuran (mm);
h_{s0} adalah tinggi cairan tekanan statik awal (mm).

CATATAN 1 Jika digunakan manometer digital, gunakan nilai tekanan yang terbaca dan sesuaikan satuannya.

CATATAN 2 Jika digunakan manometer pipa U dengan diameter 1,1 cm, nilai tekanan statik ditentukan berdasarkan perbedaan ketinggian cairan di pipa U.

5.1.4.6.3 Massa jenis gas buang

Massa jenis gas buang:

$$\gamma_0 = \frac{1}{24.45 \times 100}\left[(M_1X_1 + M_2X_2 + M_nX_n) \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) + 18X_w\right] \quad (7)$$

$$\gamma = \gamma_0 \times \frac{298}{273 + t_s} \times \frac{P_a + \Delta P_s}{760} \quad (8)$$

Keterangan:
γ adalah massa jenis gas buang dalam cerobong pada kondisi normal 25 °C dan 760 mmHg (kg/Nm^3);
γ_0 adalah massa jenis gas buang basah pada kondisi normal 25 °C dan 760 mmHg (kg/Nm^3);
P_a adalah tekanan atmosfer (mmHg);
ΔP_s adalah tekanan statik gas buang (mmHg);
t_s adalah suhu rata-rata gas buang (°C);
M_1, M_2, M_n adalah massa molekul dari masing-masing komponen gas buang;
X_1, X_2, X_n adalah persen volume masing-masing komponen gas buang (%);
X_w adalah persen volume uap air dalam gas buang (%);
24,45 adalah konstanta 1 mol gas ideal pada suhu 25 °C, 760 mmHg;
18 adalah massa molekul H_2O;
100 adalah perhitungan dalam persen (%);
298 adalah konversi suhu pada kondisi normal (25 °C) ke dalam Kelvin;
273 adalah konversi suhu pada kondisi normal (0 °C) ke dalam Kelvin;
760 adalah tekanan udara standar (mmHg).

CATATAN 1 Apabila bahan bakar yang digunakan berupa padatan atau cairan dan dibakar dengan udara, maka nilai γ_0 mendekati 1,3.

CATATAN 2 Nilai X_w diperoleh dari subpasal 5.1.2.

CATATAN 3 Nilai X_1, X_2, X_n diperoleh dari subpasal 5.1.3.

5.1.4.6.4 Kecepatan alir gas buang

Kecepatan alir gas buang di setiap titik-titik lintas:

$$\upsilon_i = C\sqrt{\frac{2 \times g \times h_i}{\gamma}} \quad (9)$$

Keterangan:
υ_i adalah kecepatan aliran gas buang pada tiap titik lintas (m/detik);
C adalah koefisien *pitot tube*;
h_i adalah harga tekanan dinamik yang diukur menggunakan *pitot tube* pada tiap titik lintas (mmH^2O);
γ adalah massa jenis gas buang dalam cerobong (kg/Nm^3);
g adalah percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/detik^2;
2 adalah konstanta rumus energi potensial.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.1.5 Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri

5.1.5.1 Prinsip

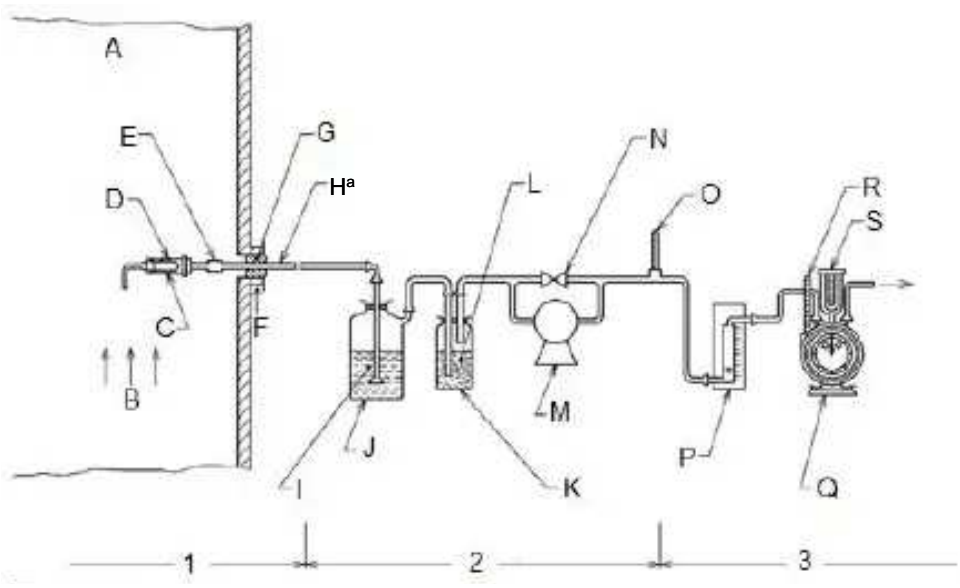
Contoh uji partikulat diambil secara isokinetik kemudiannya massanya ditimbang.

5.1.5.2 Bahan

a) kertas saring (filter) khusus terbuat dari serat gelas atau serat kuarsa berbentuk silinder (tubular);
b) hidrogen peroksida (H_2O_2) 3 %: encerkan 10 mL H_2O_2 30 % dengan 90 mL air bebas mineral dalam gelas piala 250 mL, kemudian homogenkan.

5.1.5.3 Alat

a) rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat seperti Gambar 13;
b) termometer atau termokopel yang mampu mengukur suhu sampai 1.000 °C;
c) timbangan analitik dengan keterbacaan minimal 0,1 mg;
d) selang karet, panjang disesuaikan kebutuhan;
e) oven;
f) desikator;
g) gelas piala 250 mL.



Keterangan:
1 adalah bagian pengumpul partikulat;
2 adalah bagian penghisapan gas;
3 adalah bagian pengukuran laju alir;
A adalah cerobong;
B adalah arah aliran gas buang;
C adalah pengumpul partikulat;
D adalah *filter holder*[a] yang berisi kertas saring (filter);
E adalah penangkap uap air;
F adalah lubang pengambilan contoh uji;
G adalah bahan tahan panas (insulator);
H adalah pipa pengambil contoh uji[a)];
J adalah botol penjerap SO_2 berisi larutan H_2O_2 3 %;
K adalah botol pemisah kabut berisi *glass fiber*;
L adalah *glass fiber*;

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

M adalah pompa vakum dengan kapasitas minimum 20 L/menit;
N adalah keran pengatur laju alir;
O adalah termometer;
P adalah *flowmeter*;
Q adalah *gas meter* (*dry gas meter* atau *wet gas meter*) dengan kapasitas 5 L tiap putaran;
R adalah termometer;
S adalah manometer.

a) Pipa pengambil contoh uji dan *filter holder* harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya) .

Gambar 13 – Contoh rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat

5.1.5.4 Persiapan pengambilan contoh uji partikulat

1) panaskan filter dalam oven dengan suhu 105 °C selama 1 jam;
2) simpan filter dalam desikator selama ± 2 jam;
3) timbang filter sampai diperoleh massa yang konstan (selisih penimbangan terakhir dan sebelumnya 4 % atau 0,5 mg), W_3 (g);
4) simpan filter dalam wadah sebelum digunakan.

5.1.5.5 Penentuan diameter *nozzle* pipa pengambilan contoh uji

1) lakukan perhitungan laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter ($\overline{q^m}$) dengan menggunakan data laju alir gas buang rata-rata ($\bar{\upsilon}$) dan diameter *nozzle* yang dipilih sedemikian rupa (*trial and error*) sehingga didapatkan hasil perhitungan $\overline{q_m}$ berkisar 20 L/menit;

$$\overline{q_m} = \frac{\pi}{4} d^2 \times \bar{\upsilon} \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times \frac{273 + t_m}{273 + t_s} \times \frac{P_a + \Delta P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 60 \times 10^{-3} \quad (11)$$

Keterangan:
$\overline{q_m}$ adalah laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter (L/menit);
d adalah diameter *nozzle* (mm);
$\bar{\upsilon}$ adalah kecepatan alir gas buang rata-rata (m/detik);
X_w adalah persen volume uap air dalam gas buang (%);
t_m suhu pada gas meter (°C);
t_s suhu dalam cerobong asap (°C);
P_a adalah tekanan atmosfer (mmHg);
P_m adalah tekanan pada gas meter (mmHg);
P_v adalah tekanan uap jenuh pada suhu t_m (mmHg) (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D);
ΔP_s tekanan statik (mmHg).

CATATAN Jika menggunakan *dry gas meter* pada rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat, maka nilai $P_v = 0$.

2) lakukan perhitungan laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter (q_m) untuk masing-masing titik lintas dengan menggunakan data laju alir gas buang (υ) masing-masing titik lintas dan diameter *nozzle* yang sesuai.

$$q_{mn} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \upsilon_n \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \frac{273 + t_m}{273 + t_s} \times \frac{P_a + \Delta P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 6 \times 10^{-3} \quad (12)$$

Keterangan:
q_{mn} adalah laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk masing-masing titik-titik lintas;
d adalah diameter *nozzle* (mm);
υ_n adalah kecepatan alir gas buang masing-masing titik lintas (m/detik);
Xw adalah persen volume uap air dalam gas buang (%);

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

t_m adalah suhu pada gas meter (°C);
t_s adalah suhu dalam cerobong asap (°C);
P_a adalah tekanan atmosfer (mmHg);
P_m adalah tekanan pada gas meter (mmHg);
P_v adalah tekanan uap jenuh pada suhu t_m (mmHg) (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D);
ΔP_s adalah tekanan statik (mmHg);
n adalah titik lintas.

CATATAN Jika menggunakan *dry gas meter* pada rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat, maka nilai $P_v = 0$.

5.1.5.6 Pengambilan contoh uji partikulat

1) pasang filter yang telah ditimbang pada *filter holder* yang terdapat pada pipa pengambil contoh uji;
2) pasang *nozzle* yang telah dipilih sesuai dengan hasil perhitungan pada subpasal 5.1.5.5;
3) rangkaikan seluruh peralatan seperti pada Gambar 13;
4) tandai pipa pengambil contoh uji sesuai dengan titik-titik lintas yang telah ditentukan;
5) masukkan pipa pengambil contoh uji dengan *nozzle* searah aliran gas buang pada posisi titik lintas pertama;
6) catat pembacaan awal, V_1 (L) pada gas meter;
7) ubah posisi *nozzle* berlawanan arah aliran gas buang;
8) hidupkan pompa vakum dan atur laju alir dengan pengaturan kecepatan pompa (lihat Lampiran F);
9) setelah 5 menit, pindahkan pipa pengambil contoh pada titik lintas pengukuran berikutnya;

CATATAN Sesuaikan waktu pengambilan contoh uji dengan jumlah titik pengukuran dan kadar partikulat yang dapat diperkirakan dengan melihat kecepatan asap yang keluar dari cerobong secara visual.

10) catat tekanan manometer (P_m) dan suhu (t_m) pada gas meter;
11) lakukan langkah 9 dan 10 sampai pengambilan contoh uji selesai untuk semua titik lintas, matikan pompa, posisikan pipa pengambil contoh uji searah aliran gas buang;
12) keluarkan pipa pengambil contoh uji dari cerobong asap;
13) catat pembacaan akhir gas meter, V_2 (L);
14) setelah dingin, lepaskan filter dari *filter holder* lalu masukkan ke dalam wadah filter;
15) tandai wadah filter dengan jelas.

CATATAN Jika *pressure drop* pada filter menjadi sangat tinggi (tekanan vakum tinggi) akibat banyaknya partikulat atau kadar air, yang mengakibatkan pengaturan laju alir isokinetik menjadi sulit, filter perlu diganti pada pertengahan pengambilan contoh uji dengan langkah sebagai berikut:
1) Matikan pompa vakum, catat posisi titik lintas terakhir dan volume *gas meter* akhir;
2) ganti filter dan pasang kembali ke *filter holder*;
3) tempatkan pada posisi titik lintas terakhir dan nyalakan pompa vakum untuk melanjutkan pengambilan contoh uji;
4) massa total partikulat pada filter harus digabungkan.

5.1.5.7 Penentuan contoh uji partikulat secara gravimetrik

1) panaskan filter contoh uji yang berada dalam wadah ke dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam, biarkan sampai suhu kamar, dan simpan di dalam desikator;
2) timbang filter contoh uji sampai diperoleh massa yang konstan (selisih penimbangan terakhir dan sebelumnya 4 % atau 0,5 mg), W_4 (g).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.1.5.8 Perhitungan

5.1.5.8.1 Volume gas buang yang dihisap

Volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal:

$$V_n = V_m \times \frac{298}{273 + t_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \times 10^{-3} \quad (13)$$

Keterangan:
V_n adalah volume penghisapan gas buang kering dikoreksi pada kondisi normal 25 °C, 760 mmHg (Nm^3);
V_m adalah volume penghisapan gas buang ($V_2 – V_1$) (L);
t_m adalah suhu pada gas meter (°C);
P_a adalah tekanan atmosfer (mmHg);
P_m adalah tekanan pada gas meter (mmHg);
P_v adalah tekanan uap jenuh pada suhu t_m (mmHg) (lihat Tabel D.1 pada Lampiran D).

CATATAN Jika menggunakan *dry gas meter* pada rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat, maka nilai $P_v = 0$.

5.1.5.8.2 Kadar partikulat dalam gas buang

Kadar partikulat dalam gas buang kering pada kondisi normal:

$$C_s = \frac{W_4 - W_3}{V_n} \times 1.000 \quad (14)$$

Keterangan:
C_s adalah kadar partikulat dalam gas buang kering (mg/Nm^3);
W_3 adalah massa filter awal (g);
W_4 adalah massa filter akhir (g);
V_n adalah volume udara pada kondisi normal 25 °C, 760 mmHg (Nm^3);
1.000 adalah konversi g ke mg.

5.1.5.8.3 Kadar partikulat dalam gas buang setelah koreksi oksigen

$$C_k = \frac{[C_s \times (21 - O_2 \text{ Terkoreksi})]}{(21 - O_2 \text{ Terukur})} \quad (15)$$

Keterangan:
C_k adalah kadar partikulat dalam gas buang setelah koreksi oksigen (mg/Nm^3);
C_s adalah kadar partikulat dalam gas buang kering pada kondisi normal (mg/Nm^3);
O_2 Terkoreksi adalah koreksi oksigen yang tercantum dalam peraturan baku mutu emisi gas buang yang berkaitan;
O_2 Terukur adalah kadar oksigen hasil pengukuran;
21 adalah kadar oksigen di atmosfer.

5.1.5.8.4 Persen isokinetik

$$I = \frac{(273 + t_s) \times V_n \times 760 \times 100}{298 \times \upsilon \times \theta \times A_n \times P_s \times 60 \times (1 - X_w)} \quad (16)$$

Keterangan:
I adalah persen isokinetik (%);
t_s adalah suhu gas buang dalam cerobong asap (°C);
V_n adalah volume penghisapan gas buang kering dikoreksi pada kondisi normal 25 °C, 760 mmHg (m^3);
υ adalah kecepatan alir gas buang (m/detik);
θ adalah waktu pengambilan contoh uji (menit);

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

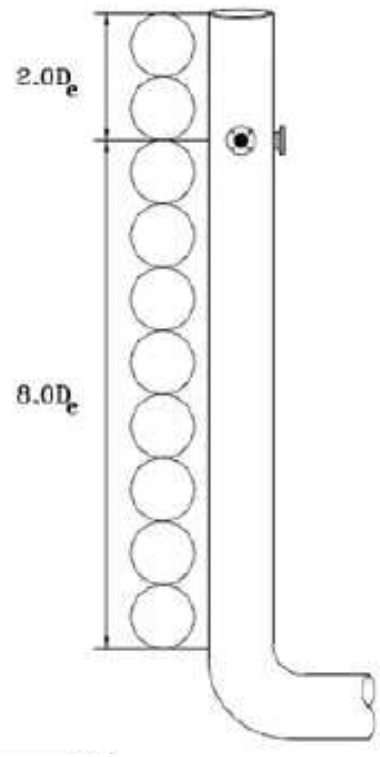
A_n adalah luas area *nozzle* (m^2);
P_s adalah tekanan absolut pada cerobong (mmHg); ($P_a + \Delta P_s$);
X_w adalah persen volume uap air dalam gas buang (%).

5.2 Cara uji tipe B

5.2.1 Penentuan lokasi dan titik-titik lintas pengambilan contoh uji

5.2.1.1 Penentuan lokasi pengambilan contoh uji

Pemilihan lokasi pengambilan contoh uji yang ideal harus dilaksanakan pada posisi di antara 8 kali diameter cerobong dari gangguan bawah (hulu) dan 2 kali diameter dari gangguan atas (hilir) dengan persyaratan tidak ada gangguan aliran seperti belokan, penyempitan, atau pelebaran aliran di dalam cerobong (lihat Gambar 14). Apabila persyaratan tersebut di atas tidak bisa terpenuhi, maka lokasi pengambilan contoh uji dapat dilaksanakan minimal 2 kali diameter dari gangguan bawah (hulu) dan 0,5 kali diameter dari gangguan atas (hilir) dengan terlebih dahulu dilakukan uji laminer/*cyclonic* (lihat Lampiran I), dan jumlah titik-titik lintas yang lebih banyak (lihat Gambar 15).



Gambar 14 – Contoh penentuan lokasi pengambilan contoh uji yang ideal

5.2.1.2 Penentuan diameter ekuivalen

Berikut adalah penentuan diameter ekuivalen.

5.2.1.2.1 Cerobong berpenampang persegi

Diameter ekuivalen ditentukan berdasarkan rumus:

$$D_e = \frac{2 \times L \times W}{L + W} \quad (17)$$

Keterangan:

D^e adalah diameter ekuivalen (m);
2 adalah tetapan matematis untuk penentuan diameter ekuivalen;
L adalah panjang penampang cerobong (m);
W adalah lebar penampang cerobong (m).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.2.1.2.2 Cerobong berpenampang lingkaran atau persegi dengan adanya penyempitan atau pelebaran diameter

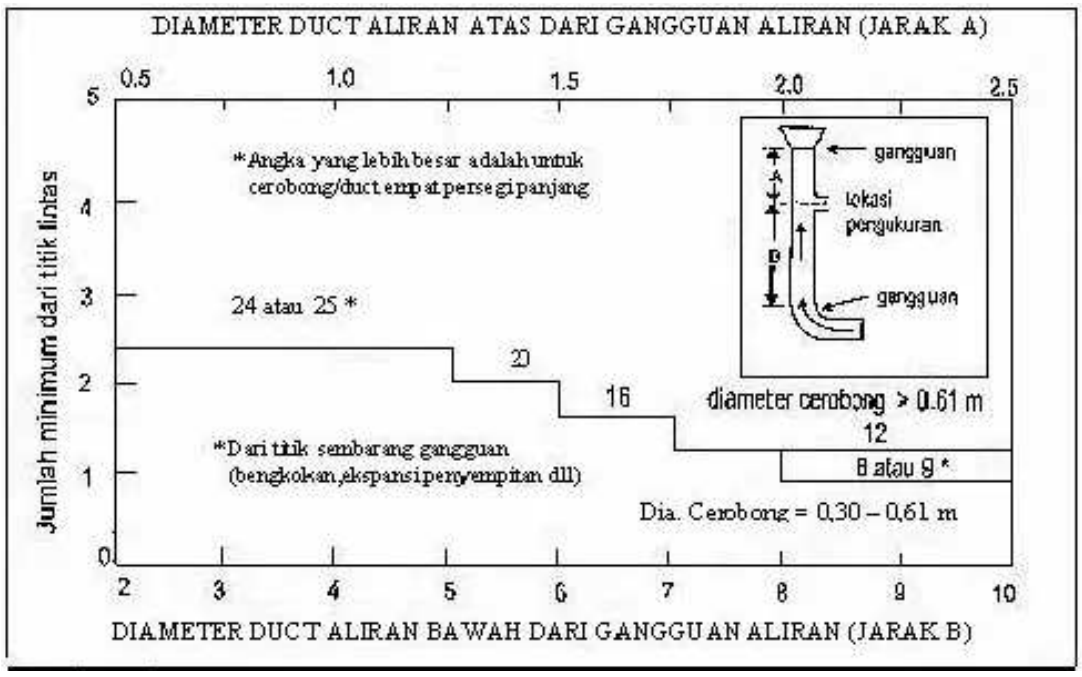
Diameter ekuivalen ditentukan berdasarkan rumus:

$$D_e=\frac{2\times d\times D}{D+d} \quad (18)$$

Keterangan:
D_e adalah diameter ekuivalen (m);
2 adalah tetapan untuk penentuan diameter ekuivalen;
D adalah diameter dalam dari cerobong bawah (m);
d adalah diameter dalam dari cerobong atas (m).

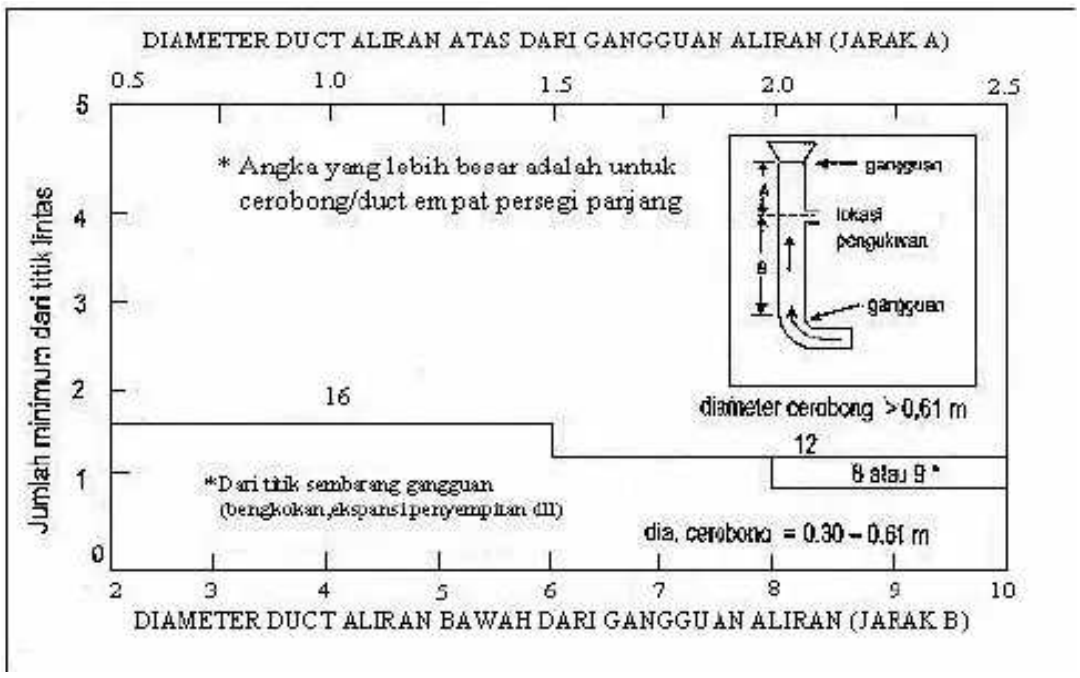
5.2.1.3 Penentuan titik-titik lintas pengambilan contoh uji

1) Jika cerobong belum dilengkapi dengan lubang pengambilan contoh uji, tentukan lokasi pengambilan contoh uji sesuai dengan subpasal 5.2.1.1.
2) Pada cerobong berpenampang persegi dan cerobong berpenampang lingkaran atau persegi dengan adanya penyempitan atau pelebaran diameter, tentukan diameter ekuivalen, D_e sesuai sub pasal 5.2.1.2.1 dan 5.2.1.2.2.
3) Jika cerobong sudah memiliki lubang pengambilan contoh uji, tentukan jarak lokasi pengukuran ke gangguan aliran bawah dan aliran atas yang terdekat lalu angka tersebut dibagi dengan diameter cerobong.
4) Tentukan jumlah titik-titik lintas (*traverse point*) menggunakan Gambar 15 untuk pengambilan contoh uji partikulat dan Gambar 16 untuk pengukuran kecepatan alir. Sedangkan untuk kasus cerobong berbentuk persegi, gunakan Tabel 3.



Gambar 15 – Jumlah minimum titik lintas untuk pengambilan contoh uji partikulat

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Gambar 16 – Jumlah minimum titik lintas untuk penentuan kecepatan alir

CATATAN Pada cerobong berpenampang bulat dengan lokasi pengambilan contoh uji pada posisi 8D gangguan bawah (hulu) dan 2D gangguan atas (hilir), minimum jumlah titik lintas untuk diameter lebih besar dari 0,61 m adalah 12 titik, sedangkan minimum jumlah titik lintas untuk diameter 0,3 m hingga 0,61 m adalah 8 titik.

Tabel 3 – Jumlah titik lintas pada cerobong berbentuk persegi

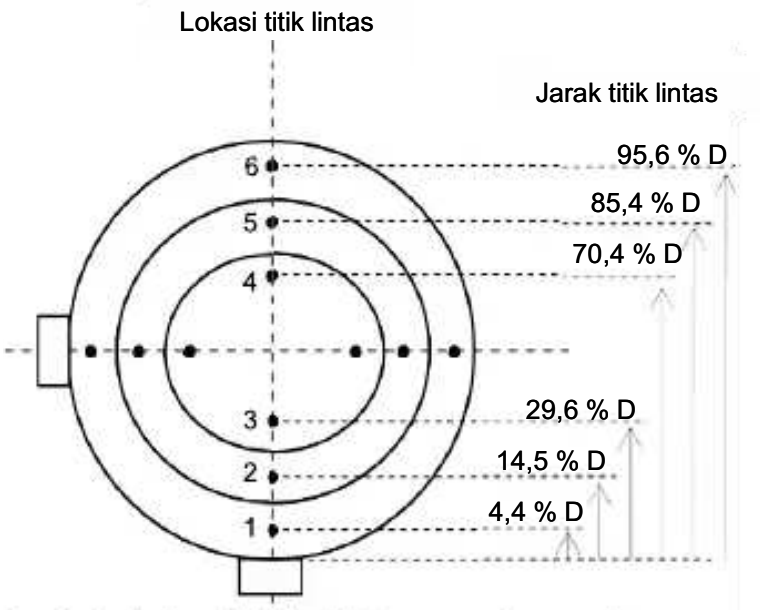
Jumlah titik lintas	Matrik
9	3 x 3
12	4 x 3
16	4 x 4
20	5 x 4
25	5 x 5

5) Tentukan lokasi titik-titik lintas. Untuk cerobong berbentuk lingkaran gunakan Tabel 4 dan lihat Gambar 17, sedangkan cerobong berbentuk persegi gunakan seperti dalam Gambar 18.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

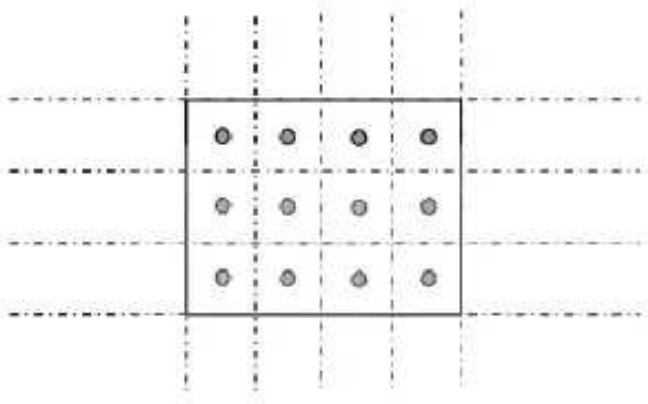
Tabel 4 – Lokasi titik-titik lintas pada cerobong bulat (jarak dalam persen dari dinding bagian dalam cerobong ke titik lintas)

Nomor titik lintas pada diameter	Jumlah titik-titik lintas pada diameter											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14,6	6,7	4,4	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
2	85,4	25,0	14,6	10,5	8,2	6,7	5,7	4,9	4,4	3,9	3,5	3,2
3	…..	75,0	29,6	19,4	14,6	11,8	9,9	8,5	7,5	6,7	6,0	5,5
4	…..	93,3	70,4	32,3	22,6	17,7	14,6	12,5	10,9	9,7	8,7	7,9
5	…..	…..	85,4	67,7	34,2	25,0	20,1	16,9	14,6	12,9	11,6	10,5
6	…..	…..	95,6	80,6	65,8	35,6	26,9	22,0	18,8	16,5	14,6	13,2
7	…..	…..	…..	89,5	77,4	64,4	36,6	28,3	23,6	20,4	18,0	16,1
8	…..	…..	…..	96,8	85,4	75,0	63,4	37,5	29,6	25,0	21,8	19,4
9……	…..	…..	…..	…..	91,8	82,3	73,1	62,5	38,2	30,6	26,2	23,0
10 ……..	…..	…..	…..	…..	97.4	88,2	79,9	71,7	61,8	38,8	31,5	27,2
11 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	93,3	85,4	78.0	70,4	61,2	39,3	32,3
12……..	…..	…..	…..	…..	…..	97,9	90,1	83,1	76,4	69,4	60,7	39,8
13 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	94,3	87,5	81,2	75,0	68,5	60,2
14 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,2	91,5	85,4	79,6	73,8	67,7
15 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	95,1	89,1	83,5	78,2	72,8
16 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,4	92,5	87,1	82,0	77,0
17 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	95,6	90,3	85,4	80,6
18 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,6	93,3	88,4	83,9
19 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	96,1	91,3	86,8
20 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,7	94,0	89,5
21 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	96,5	92,1
22 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,9	94,5
23……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	96,8
24 ……..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	98,9



Gambar 17 – Contoh lokasi titik lintas cerobong berpenampang bulat

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Gambar 18 – Contoh lokasi titik lintas cerobong berpenampang persegi

5.2.2 Penentuan fraksi volume uap air

5.2.2.1 Prinsip

Contoh uji gas buang diambil pada laju yang konstan, kemudian uap airnya dijerap dan ditentukan secara gravimetrik.

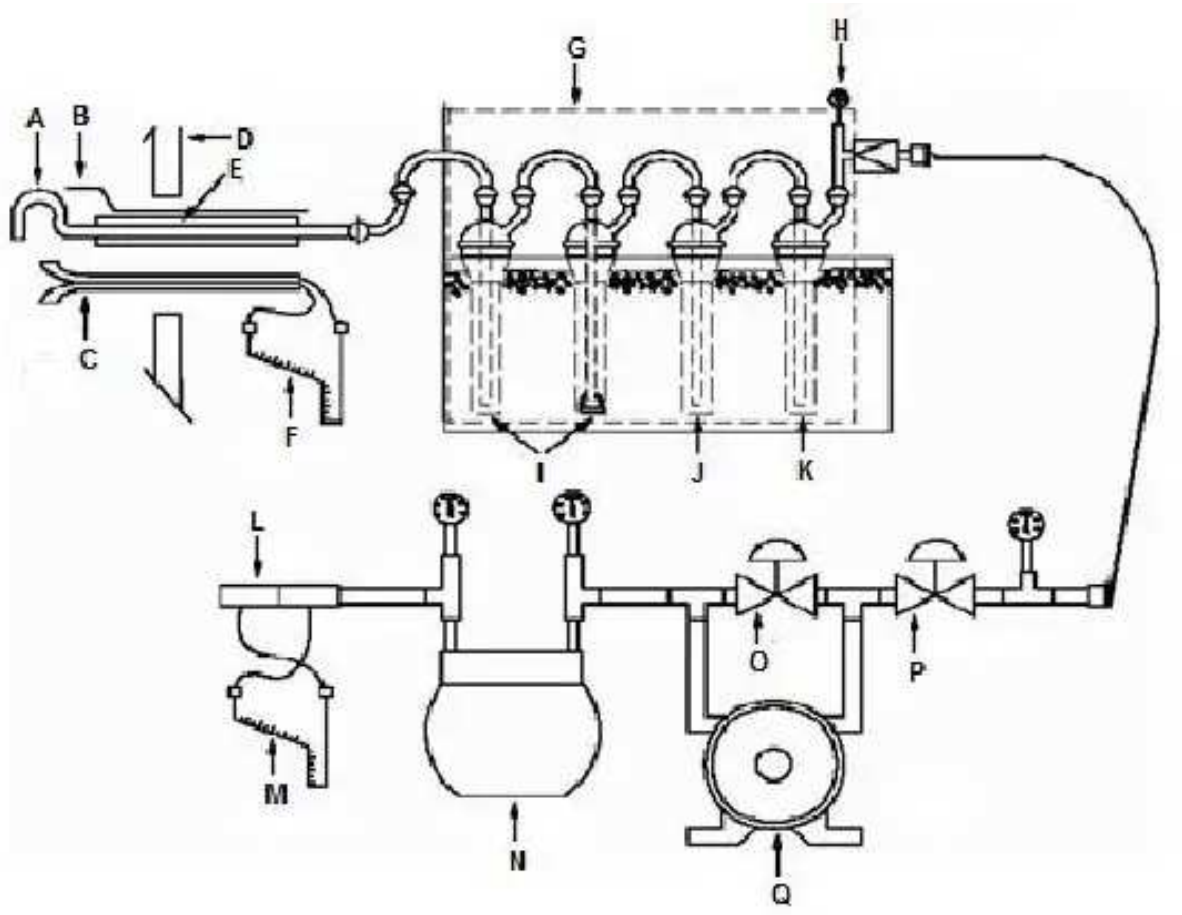
5.2.2.2 Bahan

a) air;
b) es batu;
c) *glass wool*;
d) silika gel.

5.2.2.3 Alat

a) rangkaian alat pengambil contoh uji seperti pada Gambar 19;
b) barometer;
c) *vacuum gauge*;
d) bak air pendingin;
e) timbangan portabel dengan keterbacaan 0,1 gram.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:

A adalah *nozzle*[a)];
B adalah sensor suhu;
C adalah *pitot tube* tipe S;
D adalah dinding cerobong;
E adalah pemanas;
F adalah manometer inklinasi;
G adalah rangkaian botol penjerap;
H adalah sensor suhu;
I adalah botol penjerap berisi air;
J adalah botol penjerap kosong;
K adalah botol penjerap berisi silika gel;
L adalah *orifice*;
M adalah manometer;
N adalah *dry gas meter*;
O adalah keran;
P adalah keran;
Q adalah pompa vakum.

a) *Nozzle* harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya).

Gambar 19 – Contoh rangkaian alat pengambil contoh uji untuk penentuan fraksi volume uap air

5.2.2.4 Prosedur

1) masukkan masing-masing sekitar 100 mL air bersih ke dalam botol penjerap ke-1 dan ke-2 sedangkan botol penjerap ke-3 tetap kosong;
2) masukkan 200 g – 300 g silika gel ke dalam botol penjerap ke-4;
3) timbang masing-masing botol penjerap dan catat massa awal masing-masing botol;
4) pasang peralatan seperti pada Gambar 19;
5) periksa rakitan peralatan untuk memastikan tidak ada kebocoran;
6) isi bak air pendingin dengan sedikit air bersih dan pecahan es batu;
7) ukur tekanan atmosfer di lokasi pengambilan contoh uji menggunakan barometer;
8) catat nilai awal yang tertera pada *dry gas meter*;
9) posisikan *probe* pada titik lintas pertama;
10) hidupkan pemanas pada sistem *probe* sampai suhu 120 °C ± 14 °C dan biarkan hingga suhu stabil untuk mencegah terjadinya kondensasi awal di luar kondensor;

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

11) hidupkan pompa dan atur kecepatan alir contoh uji tidak lebih dari 0,021 m^3/menit. Pertahankan suhu keluaran botol penjerap terakhir di bawah 20 °C;
12) pindahkan *probe* pada titik berikutnya dan ambil contoh uji dengan kecepatan alir dan rentang waktu yang sama;
13) ulangi langkah 12) sampai titik terakhir;

CATATAN 1 Untuk cerobong berpenampang lingkaran dan diameter pada rentang 0,3 m – 0,61 m gunakan 8 titik lintas. Sedangkan untuk cerobong penampang segi empat dengan diameter ekuivalen pada rentang 0,3 m – 0,61 m gunakan 9 titik. Untuk cerobong dengan diameter/diameter ekuivalen di atas 0,61 m gunakan 12 titik. Lokasi dan jumlah titik lintas pengambilan contoh uji sesuai dengan sub pasal 5.2.1.

CATATAN 2 Waktu total pengambilan contoh uji dipilih sedemikian sehingga volume total gas yang terkumpul sedikitnya 0,6 m^3.

14) catat nilai akhir yang tertera pada pada *dry gas meter*;
15) timbang masing-masing botol penjerap dan catat massa akhir;
16) hitung kandungan uap air dalam gas buang kemudian laporkan sesuai Lampiran A.

5.2.2.5 Perhitungan

5.2.2.5.1 Volume uap air yang terkondensasi

Volume uap air yang terkumpul dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$V_{wc} = \frac{(W_{wf} - W_{wi}) \times R \times 298}{M_w \times 760} \quad (19)$$

Keterangan:
V_{wc} adalah volume uap air terkondensasi dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
W_{wf} adalah massa akhir air pada botol penjerap (g);
W_{wi} adalah massa awal air pada botol penjerap (g);
R adalah konstanta gas ideal, 0,06236 mmHg m^3/gmol K;
M_w adalah massa molekul relatif air, 18 g/gmol;
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg.

5.2.2.5.2 Volume uap air yang terkumpul dalam silika gel

Volume uap air yang terkumpul dalam silika gel pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$V_{wsg} = \frac{(W_f - W_i) \times R \times 298}{M_w \times 760} \quad (20)$$

Keterangan:
V_{wsg} adalah volume uap air yang terkumpul dalam silika gel dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
W_f adalah massa akhir silika gel atau massa akhir silika gel dan botol penjerap (g);
W_i adalah massa awal silika gel atau massa awal silika gel dan botol penjerap (g);
R adalah konstanta gas ideal, 0,06236 mmHg m^3/gmol K;
M_w adalah massa molekul relatif air, 18 g/gmol;
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.2.2.5.3 Volume gas buang yang dihisap

Volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$V_n = \frac{V_m \times Y \times (P_a + P_m) \times 298}{T_m \times 760} \quad (21)$$

Keterangan:

V_n adalah volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
V_m adalah volume penghisapan gas buang (dibaca pada gas meter) (m^3);
P_a adalah tekanan barometrik (atmosfer) di tempat pengambilan contoh uji (mmHg);
P_m adalah tekanan pada *dry gas meter* (mmHg);
T_m adalah suhu pada *dry gas meter* (K);
Y adalah faktor kalibrasi *dry gas meter*;
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg.

5.2.2.5.4 Fraksi volume uap air

Fraksi volume uap air pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$B_{ws} = \frac{V_{wc} + V_{wsg}}{V_{wc} + V_{wsg} + V_n} \quad (22)$$

Keterangan:

B_{ws} adalah fraksi volume uap air dalam gas buang;
V_{wc} adalah volume uap air terkondensasi dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
V_{wsg} adalah volume uap air yang terkumpul dalam silika gel dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
V_n adalah volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3).

5.2.3 Penentuan massa molekul relatif gas buang basis kering

5.2.3.1 Prinsip

Contoh uji gas buang diambil dengan sistem langsung atau sistem tidak langsung (gas buang dikumpulkan terlebih dahulu dalam kantong contoh uji/*Tedlar Bag*) kemudian dianalisis konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 menggunakan alat otomatis (*gas analyzer*) atau alat manual dengan larutan penjerap (*orsat analyzer* atau f*yrite analyzer*).

5.2.3.2 Bahan

a) gas standar CO, CO_2, dan O_2 bersertifikat untuk kalibrasi *gas analyzer*; atau
b) larutan penjerap untuk penentuan konsentrasi gas dengan o*rsat analyzer*:
   1) larutan penjerap CO_2: larutkan 30 g KOH ke dalam 100 mL air bebas mineral, kemudian homogenkan;
   2) larutan penjerap O_2: larutkan 60 g KOH ke dalam 100 mL air bebas mineral, lalu larutkan 12 g *pyrogallol* ke dalam 100 mL air bebas mineral pada wadah lainnya, kemudian campurkan kedua larutan tersebut.

      CATATAN Hindari kontak terlalu lama dengan udara saat pencampuran, karena larutan ini mudah menyerap oksigen.

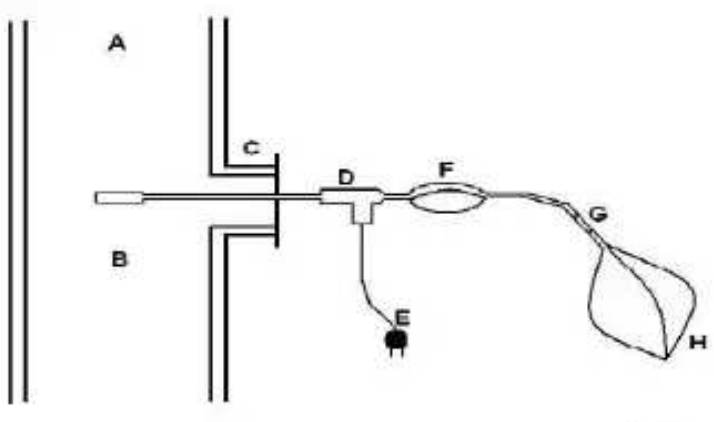
   3) larutan penjerap CO: larutkan 15 g kristal Cu_2Cl_2 dalam 100 mL HCl pekat, kemudian homogenkan;
   4) larutan skala: tambahkan indikator Metil Merah (MM) dalam larutan jenuh garam (*saturated brine*), kemudian tambahkan H_2SO_4 sampai warna larutan menjadi merah (bersifat agak asam); atau

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

c) larutan penjerap untuk penentuan konsentrasi gas dengan *fyrite analyzer*:
   1) larutan penjerap CO_2 siap pakai yang tersedia secara komersial, contohnya larutan kalium hidroksida (KOH);
   2) larutan penjerap O_2 siap pakai yang tersedia secara komersial, contohnya larutan *chromous chloride*.

5.2.3.3 Alat

a) rangkaian alat pengambil contoh uji untuk penentuan massa molekul relatif gas dalam gas buang seperti Gambar 20;
b) alat analisis komposisi/konsentrasi gas buang, contohnya *orsat analyzer*, *fyrite analyzer*, dan *gas analyzer* (lihat Gambar 21 dan Gambar 22).

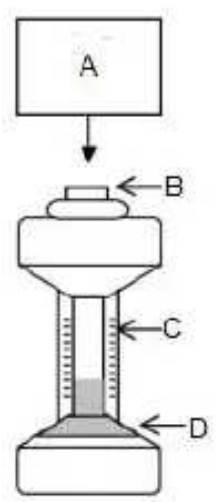


Keterangan:

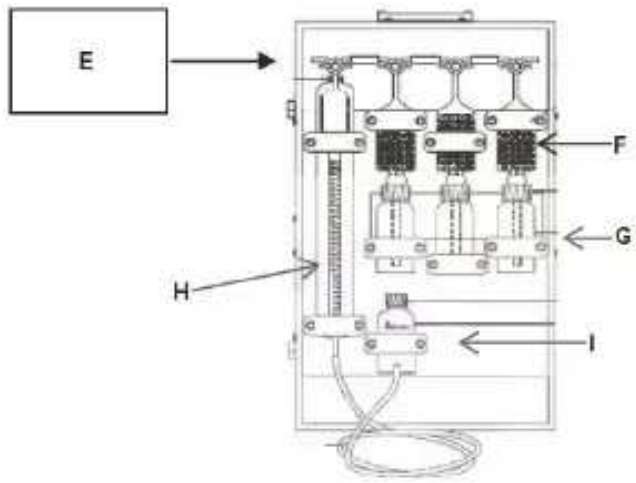
A adalah cerobong;
B adalah pipa pengambil contoh uji[a)];
C adalah lubang pengambilan contoh uji;
D adalah elemen pemanas;
E adalah sumber listrik;
F adalah bola hisap contoh uji;
G adalah sambungan;
H adalah kantong contoh uji.

[a)] Pipa pengambil contoh uji harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya).

Gambar 20 – Contoh rangkaian alat pengambilan contoh uji untuk penentuan massa molekul relatif gas dalam gas buang



1



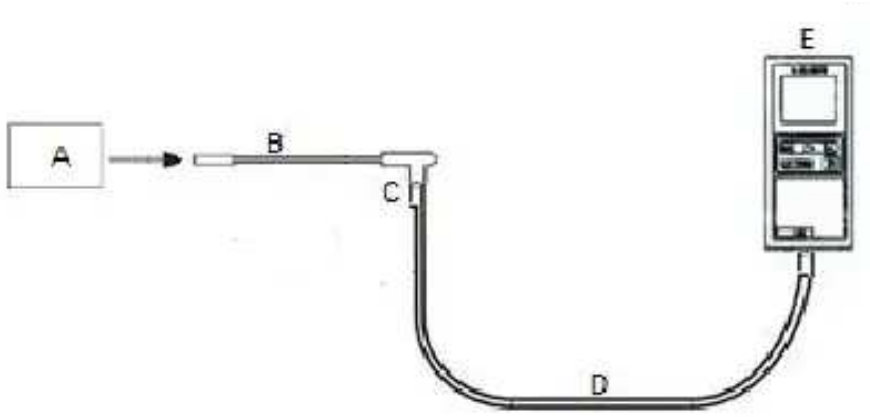
2

Keterangan:

1 adalah *fyrite analyzer*;
A adalah gas buang;
B adalah pompa tekan;
C adalah skala pengukur gas;
D adalah cairan penjerap gas;
2 adalah *orsat analyzer*;
E adalah gas buang;
F adalah katup masukan pipet;
G adalah botol pipet;
H adalah buret pengukur gas;
I adalah botol aspirator.

Gambar 21 – Contoh *fyrite analyzer* dan *orsat analyzer*

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

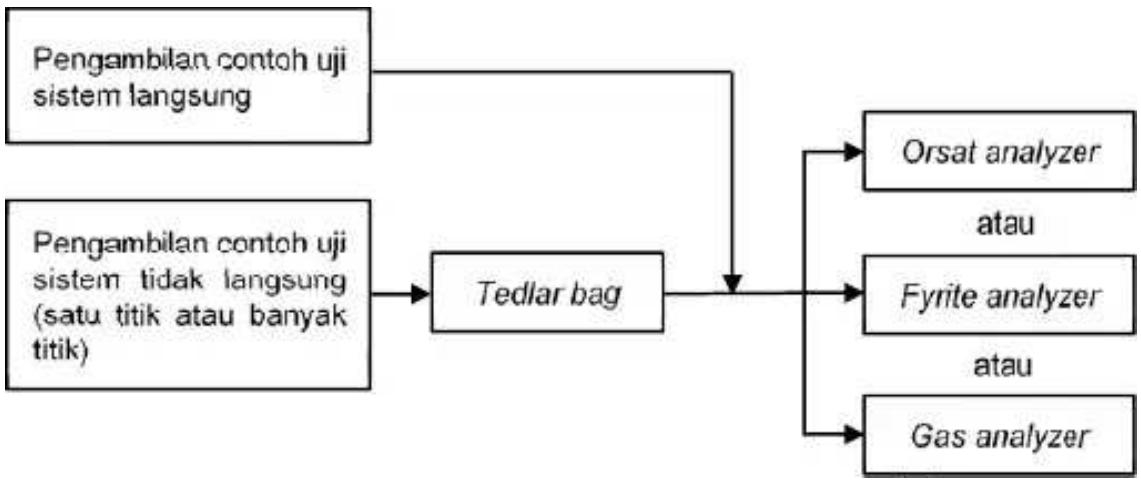


Keterangan:
A adalah gas buang;
B adalah pipa pengambil contoh uji;
C adalah unit pengkondisi contoh uji;
D adalah selang;
E adalah *gas analyzer*.

Gambar 22 – Contoh rangkaian alat *gas analyzer*

5.2.3.4 Prosedur

Prosedur penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, dan O_2 dapat dilakukan dengan pengambilan contoh uji sistem langsung atau pengambilan contoh uji sistem tidak langsung menggunakan kantong contoh uji (Lihat Gambar 23).



Gambar 23 – Beberapa alternatif dalam pengukuran konsentrasi gas

5.2.3.4.1 Prosedur dengan pengambilan contoh uji sistem tidak langsung

1) rangkai alat pengambil contoh uji seperti Gambar 20;
2) masukkan pipa pengambil contoh uji gas ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada posisi tanpa gangguan;
3) panaskan pipa pengambil contoh uji gas hingga suhu 120 °C ± 14 °C;
4) pasang bola hisap yang telah dihubungkan dengan kantong contoh uji;
5) lakukan pencucian bagian dalam kantong sebanyak 2 kali dengan cara memompa bola hisap sampai kantong terisi penuh, kemudian isinya dikeluarkan;
6) isi kantong contoh uji sampai terisi penuh, lalu tutup kantong;
7) lakukan pengukuran konsentrasi gas dengan salah satu alat analisis konsentrasi gas berikut:

   - *orsat analyzer* (lihat Lampiran E); atau
   - *fyrite analyzer*: baca perubahan ketinggian larutan penjerap pada *fyrite* yang menunjukkan konsentrasi gas CO_2 dan O_2, sesuai dengan petunjuk penggunaan alat; atau

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

- *gas analyzer*: optimalkan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat dan baca pada layar monitor hasil pengukuran gas;

8) catat hasil pengukuran dan laporkan sesuai Lampiran A.

5.2.3.4.2 Prosedur dengan pengambilan contoh uji sistem langsung

1) rangkai alat pengambilan contoh uji seperti Gambar 20 tetapi tanpa memasang kantong contoh uji, pastikan tidak ada kebocoran;
2) sambungkan rangkaian alat pengambil contoh uji dengan alat analisis konsentrasi gas buang;
3) masukkan pipa pengambil contoh uji gas ke dalam lubang pengambilan contoh uji pada posisi tanpa gangguan, lakukan pengukuran konsentrasi gas dengan salah satu alat analisis konsentrasi gas berikut:
   - *orsat analyzer* (lihat Lampiran E); atau
   - *fyrite analyzer*: baca perubahan ketinggian larutan penjerap pada *fyrite* yang menunjukkan konsentrasi gas CO_2 dan O_2, sesuai dengan petunjuk penggunaan alat; atau
   - *gas analyzer*: optimalkan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat dan baca pada layar monitor hasil pengukuran gas.
4) catat hasil pengukuran dan laporkan sesuai Lampiran A.

5.2.3.5 Perhitungan

5.2.3.5.1 Massa molekul relatif gas buang basis kering

Hitung massa molekul relatif gas buang dengan rumus sebagai berikut:

$$M_d = (0{,}44 \times \%\ CO_2) + (0{,}32 \times \%\ O_2) + [0{,}28 \times (\%\ N_2 + \%\ CO)] \quad (23)$$

Keterangan:
M_d adalah massa molekul relatif gas buang basis kering (g/g.mol);
$\%\ CO_2$ adalah persentase gas CO_2 (basis kering);
$\%\ O_2$ adalah persentase gas O_2 (basis kering);
$\%\ N_2$ adalah persentase gas N_2 (basis kering);
% CO adalah persentase gas CO (basis kering)
0,28 adalah massa molekul relatif N_2 dibagi 100;
0,32 adalah massa molekul relatif O_2 dibagi 100;

0,44 adalah massa molekul relatif CO^2 dibagi 100.

CATATAN Persamaan di atas mengabaikan perhitungan gas argon dalam udara (kira-kira 0,9 % dengan massa molekul 39,9). Persen kesalahan sekitar 0,4 masih bisa diterima.

Secara umum rumus perhitungan massa molekul relatif gas buang bisa dituliskan sebagai berikut:

$$M_d = \sum C_i \times \frac{M_i}{100} \quad (24)$$

Keterangan:
M_d adalah massa molekul relatif gas buang basis kering (g/g.mol);
C_i adalah kadar gas i dalam satuan persen;
M_i adalah massa molekul relatif gas i.

5.2.3.5.2 Massa molekul relatif gas buang basis basah

Perhitungan massa molekul gas buang dengan memperhitungkan kandungan airnya menggunakan rumus sebagai berikut:

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} \quad (25)$$

Keterangan:
M_d adalah massa molekul relatif gas buang basis kering (g/g.mol);
M_s adalah massa molekul relatif gas buang basis basah (g/g.mol);
B_{ws} adalah fraksi volume uap air dalam gas buang (v/v).

CATATAN Fraksi volume uap air dalam gas buang (B_{ws}) diperoleh dari sub Pasal 5.2.2.

5.2.4 Penentuan kecepatan alir gas buang

5.2.4.1 Prinsip

Gas buang diukur tekanan dinamik dan tekanan statiknya menggunakan *pitot tube* dan manometer (inklinasi atau digital) kemudian kecepatan alir gas buang ditentukan berdasarkan nilai tekanan dinamik, tekanan statik, kadar uap air gas buang, komposisi gas buang, dan massa jenis gas buang.

5.2.4.2 Bahan

Cairan manometer

5.2.4.3 Alat

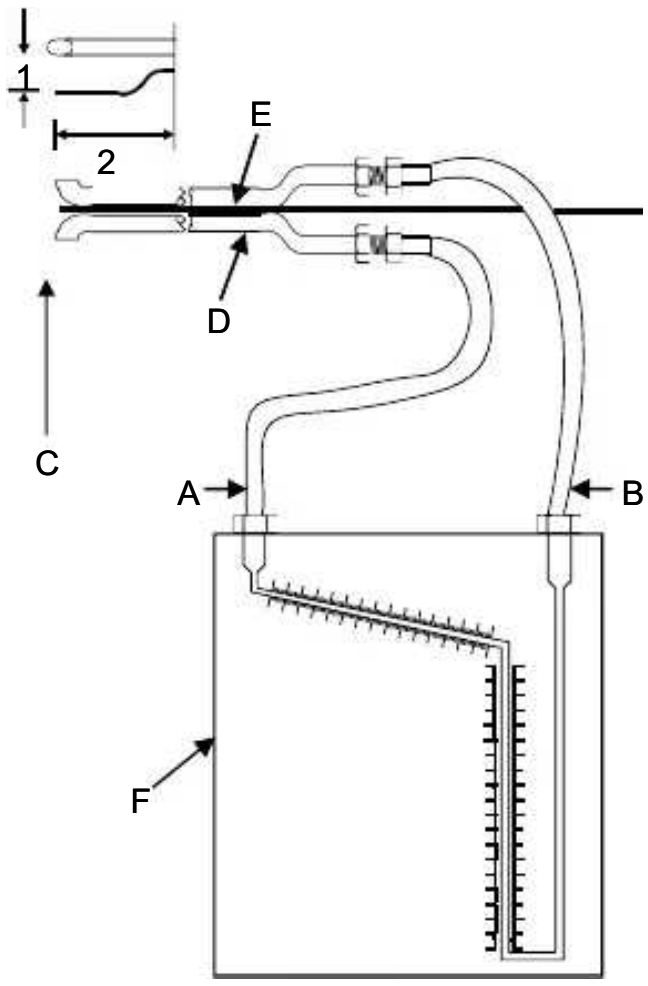
a) *pitot tube* tipe-S;
b) manometer (inklinasi atau digital);
c) selang manometer;
d) termokopel yang dilengkapi alat pembaca suhu; dan
e) barometer.

5.2.4.4 Prosedur

1) rangkai peralatan seperti Gambar 24 kemudian periksa sambungan untuk memastikan tidak ada kebocoran;
2) atur manometer inklinasi supaya posisinya datar dengan bantuan *water pass* kemudian atur cairan manometer pada posisi nol;
3) masukkan *pitot tube* ke dalam lubang pengambilan contoh uji dan ukur secara bersamaan tekanan dinamik dan suhu gas pada setiap titik-titik lintas yang telah ditentukan berdasarkan subpasal 5.2.1 kemudian catat hasil pengukuran;
4) tentukan tekanan statik ΔP_s gas buang;
   (i) masukkan *pitot tube* di tengah cerobong;
   (ii) putar *pitot tube* pada posisi 90° searah jarum jam hingga pembacaan manometer mendekati nol;
   (iii) tahan posisi *pitot tube*, lepas selang A pada manometer (lihat Gambar 24) dan baca perubahan cairan manometer dan catat tekanan statik sebagai nilai negatif. Jika cairan manometer melewati titik nol (tanpa skala diatas nol), pasang kembali selang A kemudian lepas selang B pada manometer dan baca perubahan cairan dan catat tekanan statik sebagai nilai positif.
5) ukur dan catat tekanan atmosfer (P_a);
6) hitung kecepatan alir gas buang pada titik-titik lintasnya, kecepatan alir rata-rata gas buang, dan kecepatan volumetrik gas buang kemudian laporkan sesuai Lampiran A.

CATATAN Apabila menggunakan manometer digital, optimalkan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat dan baca pada layar monitor hasil pengukuran tekanan dinamik dan statik.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:
A adalah selang penghubungan pengukuran tekanan statik;
B adalah selang penghubungan pengukuran tekanan statik;
C adalah arah aliran;
D adalah *pitot tube* tipe S;
E adalah termokopel;
F adalah manometer inklinasi;
1 adalah jarak yang direkomendasikan antara *pitot tube* dan termokopel, yaitu 1,90 cm – 2,54;
2 adalah jarak yang direkomendasikan antara *pitot tube* dan termokopel, yaitu 7,26 cm.

Gambar 24 – Contoh rangkaian alat penentuan laju alir gas buang

5.2.4.5 Perhitungan

5.2.4.5.1 Rerata kecepatan alir gas

$$\upsilon_s = K_p \times C_p \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\Delta P_i}}{n}\right)\sqrt{\frac{T_{s(rerata)}}{P_s \times M_s}} \quad (26)$$

$$K_p = 34{,}97\,\frac{m}{detik}\left[\frac{(g/gmol)(mmHg)}{(K)(mmH_2O)}\right]^{1/2} \quad (27)$$

Keterangan:
υ_s adalah rerata kecepatan alir gas buang (m/detik);
Kp adalah konstanta *pitot tube* (metrik);
C_p adalah koefisien *pitot tube*;
ΔP_i adalah harga tekanan dinamik yang diukur menggunakan *pitot tube* pada tiap titik lintas (mmH_2O);
n adalah jumlah titik lintas;
$T_{s(rerata)}$ adalah rerata suhu absolut gas buang (K);
P_s adalah tekanan absolut gas buang (mmHg), ($P_a + \Delta P_s$);
M_s adalah massa molekul relatif gas buang basis basah (g/g.mol).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI

CATATAN Massa molekul relatif gas buang basis basah (M_s) diperoleh dari Pasal 5.2.3.

5.2.4.5.2 Rerata laju alir volumetrik gas kering

$$Q = 3600 \times (1 - B_{ws}) \times \upsilon_s \times A \times \left[\frac{P_s \times 298}{T_{s(rerata)} \times 760}\right] \quad (28)$$

Keterangan:

Q adalah laju alir volumetrik gas kering yang dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3/jam);
B_{ws} adalah adalah fraksi volume uap air dalam gas buang;
υ_s adalah rerata kecepatan alir gas buang (m/detik);
A adalah luas penampang cerobong (m^2);
$T_{s(rerata)}$ adalah rerata suhu absolut gas buang (K);
P_s adalah tekanan absolut gas buang (mmHg), ($P_a + \Delta P_s$);
3600 adalah konversi dari jam ke detik;
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg.

CATATAN Fraksi volume uap air dalam gas buang (B_{ws}) diperoleh dari subpasal 5.2.2.

5.2.5 Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan penentuan kadar partikulat secara gravimetrik

5.2.5.1 Prinsip

Contoh uji partikulat diambil secara isokinetik kemudian massanya ditimbang.

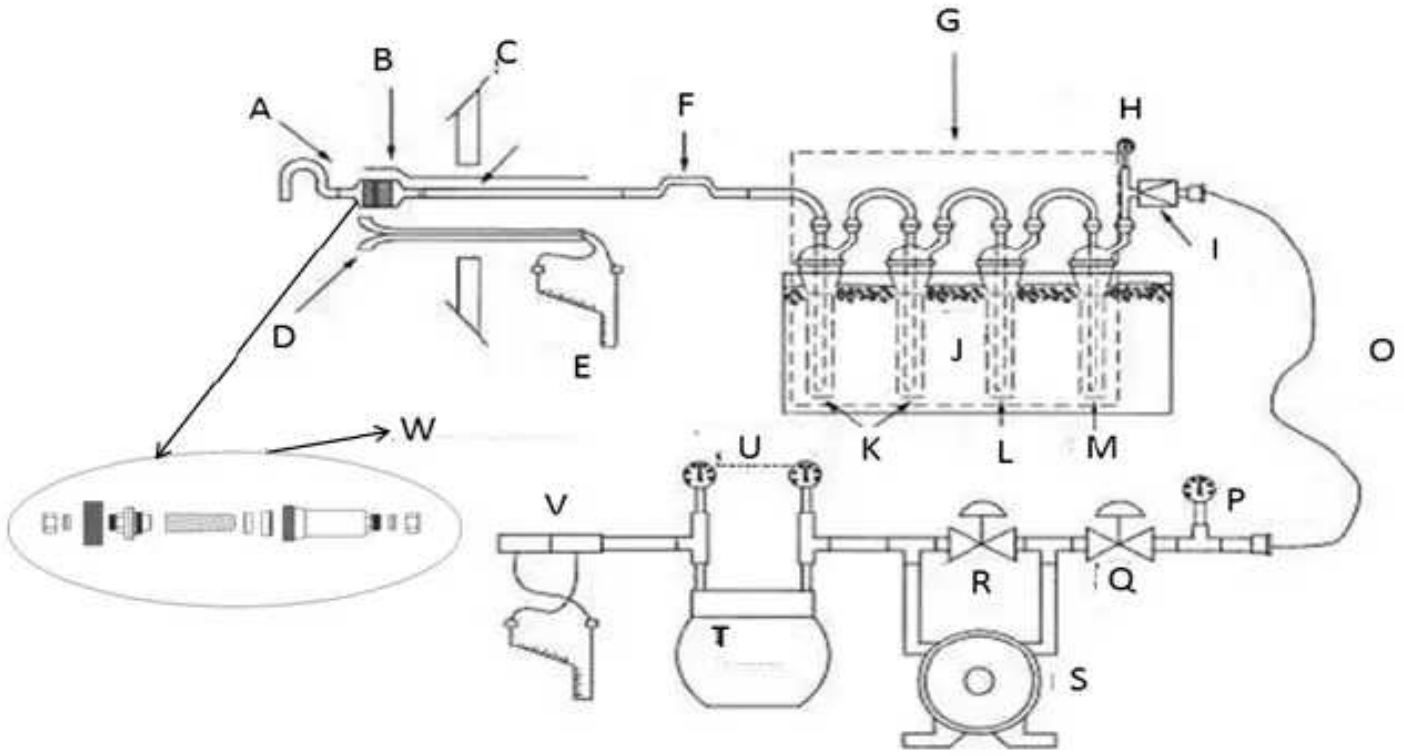
5.2.5.2 Bahan

a) kertas saring (filter) khusus terbuat dari serat gelas atau serat kuarsa berbentuk silinder (tubular);
b) silika gel (desikan);
c) air bersih;
d) es batu;
e) *high vacuum grease*;
f) aseton.

5.2.5.3 Alat

a) rangkaian alat pengambil contoh uji partikulat seperti Gambar 25;
b) barometer;
c) *nozzle* dengan berbagai ukuran diameter;
d) sikat pembersih *filter holder* dan *nozzle*;
e) botol contoh uji;
f) wadah penyimpan filter;
g) timbangan dengan keterbacaan 0,1 g;
h) timbangan analitik dengan keterbacaan 0,1 mg;
i) gelas piala;
j) oven;
k) desikator;
l) botol semprot;
m) *hygrometer*;
n) pinset;
o) jangka sorong; dan
p) *stopwatch*.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Keterangan:

A adalah *nozzle*[a)];
B adalah sensor suhu (contohnya termokopel);
C adalah dinding cerobong
D adalah *pitot tube* tipe S;
E adalah manometer inklinasi;
F adalah selang fleksibel;
G adalah rangkaian penjerap (*impinger*);
H adalah sensor suhu;
I adalah *check valve*;
J adalah bak air pendingin;
K adalah botol penjerap berisi air;
L adalah botol penjerap kosong;
M adalah botol penjerap berisi silika gel;
O adalah selang vakum;
P adalah *vacuum gauge*;
Q adalah *main valve*;
R adalah *bypass valve*;
S adalah pompa vakum;
T adalah *dry gas meter*;
U adalah sensor suhu;
V adalah *orifice meter*;
W adalah *filter holder* [a)].

a) *Filter holder* harus terbuat dari material tahan terhadap suhu cerobong (lihat Lampiran H untuk informasi material dan suhu maksimumnya).

Gambar 25 – Contoh rangkaian alat pengambilan contoh uji partikulat

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.2.5.4 Persiapan pengambilan contoh uji partikulat

5.2.5.4.1 Persiapan filter

1) lakukan pengecekan filter secara visual untuk memastikan tidak ada cacat;
2) panaskan filter dalam oven dengan suhu 105 °C selama 1 jam;
3) simpan filter dalam desikator selama ± 2 jam;
4) timbang filter sampai diperoleh massa yang konstan (selisih penimbangan terakhir dan sebelumnya 4 % atau 0,5 mg);
5) simpan filter bersama wadahnya dalam desikator sebelum digunakan;
6) pada saat akan digunakan, tempatkan filter yang telah diberi label dan ditimbang ke dalam *filter holder* menggunakan pinset atau sarung tangan bedah sekali pakai;
7) pastikan posisi filter ditempatkan dengan benar untuk menghindari aliran gas contoh uji tidak melewati filter dan pastikan filter tidak robek.

5.2.5.4.2 Penentuan ukuran *nozzle*

Berdasarkan data-data yang telah didapatkan dari subpasal 5.2.2, 5.2.3, dan 5.2.4, perkiraan ukuran *nozzle* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$D_{n(estimasi)} = \sqrt[4]{\frac{K_5 \times Q \times (P_a + P_m)}{\times \quad \times}} \times \sqrt{\frac{T_s \times M_s}{\times}} \qquad (29)$$

$$\sqrt{T_m \quad C_p \quad (1 - B_{ws}) \quad P_s \quad \Delta P_{rerata}}$$

Keterangan:

$D_{n(estimasi)}$ adalah estimasi diameter *nozzle* (mm);
K_5 adalah konstanta perhitungan yang bernilai 0,6071;
Q adalah laju alir volumetrik gas kering yang dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3/jam);
P_m adalah tekanan pada *dry gas meter* (mmHg);
P_a adalah tekanan barometrik (atmosfer) di tempat pengambilan contoh uji (mmHg);
T_m adalah suhu pada gas meter (K);
C_p adalah koefisien *pitot tube*;
B_{ws} adalah adalah fraksi volume uap air dalam gas buang;
T_s adalah suhu absolut gas buang (K);
M_s adalah massa molekul relatif gas buang basis basah (g/g.mol);
P_s adalah tekanan absolut gas buang (mmHg), ($P_a + \Delta P_s$);
ΔP_{rerata} adalah rerata tekanan dinamik yang diukur menggunakan *pitot tube* (mmH_2O).

CATATAN Apabila pengukuran tekanan (statik dan dinamik) menggunakan manometer air konversikan nilai tekanan menjadi mmHg dengan membagi 13,6.

5.2.5.4.3 Persiapan rangkaian penjerap

1) masukkan masing-masing 100 mL air bersih ke dalam botol penjerap ke-1 dan ke-2, sedangkan botol penjerap ke-3 tetap kosong;
2) masukkan 200 g – 300 g silika gel ke dalam botol penjerap ke-4;
3) timbang masing-masing botol penjerap dan catat masing-masing massa awalnya.

5.2.5.4.4 Uji kebocoran rangkaian alat pengambil contoh uji partikulat

Lakukan uji kebocoran sebelum dan setelah pengambilan contoh uji sesuai langkah berikut ini:

1) rangkai peralatan seperti Gambar 25;
2) sumbat *nozzle* dengan bahan yang tahan terhadap suhu cerobong, kemudian masukkan pipa pengambil contoh uji ke dalam cerobong dan tunggu hingga 5 menit (atau lebih, jika dibutuhkan) hingga filter dan *probe* mencapai suhu cerobong;

Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

3) nyalakan pompa vakum sampai tekanan 380 mmHg. Perhatikan *dry* gas meter, jika ada kebocoran, catat nilai *dry* gas meter dalam waktu tertentu. Maksimum kebocoran tidak diperbolehkan lebih dari 4 persen dari laju alir pengambilan contoh uji atau 0,00057 m^3/menit;
4) buka secara perlahan sumbat, dan segera matikan pompa vakum untuk mencegah terjadi aliran balik yang mengakibatkan air masuk ke filter atau volume air di masing-masing botol penjerap berubah.

5.2.5.5 Pengambilan contoh uji partikulat

1) rangkai peralatan seperti Gambar 25, kemudian posisikan rangkaian pada lubang pengambil contoh uji;
2) tempatkan ujung *nozzle* di titik lintas pertama, dengan posisi *inlet* berhadapan dengan aliran gas, tutup sekeliling pipa pengambilan contoh uji, kemudian nyalakan pompa dengan kecepatan hisap sesuai kecepatan isokinetiknya (lihat Lampiran F);
3) pertahankan suhu udara pada keluaran botol penjerap ke-4 di bawah 20 °C selama pengambilan contoh uji, catat waktu pengambilan contoh uji, pembacaan *dry gas meter*, tekanan dinamik, tekanan *orifice*, suhu cerobong, suhu di *dry gas meter*, dan tekanan vakum;
4) pindahkan *probe* dan *nozzle* ke titik lintas selanjutnya;
5) lakukan langkah 3) dan 4) hingga titik lintas terakhir;
6) matikan pompa hisap, pindahkan *probe* dan *nozzle* dari lubang pengambilan contoh uji lalu biarkan sampai dingin;
7) lakukan perhitungan persen isokinetik (lihat subpasal 5.2.5.7.7). Apabila nilainya tidak masuk ke dalam batas isokinetis (100 % ± 10 %) maka ulangi pengambilan contoh uji.

CATATAN 1 Jika *pressure drop* terjadi pada saat pengambilan contoh uji yang mengakibatkan pengaturan isokinetik menjadi sulit, matikan pompa vakum, catat posisi titik lintas terakhir dan nilai *dry gas meter* akhir, kemudian lakukan pengecekan penyebab terjadinya *pressure drop* dan lanjutkan kembali pengambilan contoh uji.

CATATAN 2 Jika *pressure drop* terjadi akibat banyaknya partikulat atau kadar air pada filter, maka ganti filter dengan cara:
1) matikan pompa vakum, catat posisi titik lintas terakhir dan nilai *dry gas meter* akhir;
2) ganti filter dan pasang kembali ke *filter holder*;
3) lakukan kembali uji kebocoran;
4) tempatkan pada posisi titik lintas terakhir dan nyalakan pompa vakum untuk melanjutkan pengambilan contoh uji;
5) massa total partikulat pada filter harus digabungkan.

5.2.5.6 Perolehan kembali contoh uji dan pengukuran kadar partikulat

1) pindahkan *probe*, filter, dan botol penjerap pada tempat yang bersih agar tidak terjadi kontaminasi pada contoh uji;
2) masukkan 200 mL aseton ke dalam botol contoh uji sebagai blanko lapangan;
3) ambil filter dari *filter holder* secara hati-hati dengan menggunakan pinset dan masukkan ke dalam wadah penampung filter, dan beri label sebagai penampung 1;
4) bersihkan partikulat pada *nozzle* dan *filter holder* dengan menggunakan sikat dan aseton, kemudian masukkan hasil pembersihan tersebut ke dalam botol contoh uji dan beri label sebagai penampung 2;

   CATATAN Beri tanda ketinggian cairan dalam botol penampung untuk mengetahui terjadinya pengurangan volume selama transportasi.

5) timbang masing-masing botol penjerap menggunakan timbangan dengan keterbacaaan 0,1 g, kemudian catat massa akhir;

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

6) panaskan wadah penampung filter yang telah diberi label penampung 1 dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam – 3 jam, kemudian dinginkan dalam desikator. Timbang massa filter tersebut dengan timbangan analitik (W_{p1});
7) pindahkan isi botol contoh uji yang diberi label penampung 2 ke dalam gelas piala 250 mL. Uapkan aseton dari gelas piala hingga kering pada *waterbath*, kemudian masukkan ke dalam desikator selama ± 24 jam, dan timbang massa partikulatnya dengan timbangan analitik (W_{p2});
8) lakukan langkah 7) untuk aseton yang ditandai sebagai blanko lapangan.

5.2.5.7 Perhitungan

5.2.5.7.1 Volume gas buang yang dihisap

Volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$V_n = V_m \times Y \times \frac{298 \times \left(P_a + \frac{\Delta H}{13,6}\right)}{T_m \times 760} \quad (30)$$

Keterangan:
V_n adalah volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
V_m adalah volume penghisapan gas buang (dibaca pada gas meter) (m^3);
Y adalah faktor kalibrasi *dry gas meter*;
P_a adalah tekanan barometrik (atmosfer) di tempat pengambilan contoh uji (mmHg);
ΔH adalah rata-rata perbedaan tekanan pada *Orifice meter* (mmH_2O);
T_m adalah suhu pada *dry gas meter* (K);
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg;
13,6 adalah massa jenis merkuri.

5.2.5.7.2 Volume uap air yang terkondensasi

Volume uap air yang terkondensasi dikoreksi pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$V_w = \frac{(W_{wf} - W_{wi}) \times R \times 298}{M_w \times 760} \quad (31)$$

Keterangan :
V_w adalah volume uap air terkondensasi dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
W_{wf} adalah massa akhir air pada botol penjerap (g);
W_{wi} adalah massa awal air pada botol penjerap (g);
R adalah konstanta gas ideal, 0,06236 mmHg m^3/gmol K;
M_w adalah massa molekul relatif air, 18 g/gmol;
298 adalah suhu pada kondisi normal dalam Kelvin;
760 adalah tekanan pada kondisi normal dalam mmHg.

5.2.5.7.3 Fraksi volume uap air gas buang

Fraksi volume uap air pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$B_{ws} = \frac{V_w}{V_w + V_n} \quad (32)$$

Keterangan:
B_{ws} adalah fraksi volume uap air dalam gas buang;
V_w adalah volume uap air terkondensasi dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
V_n adalah volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

5.2.5.7.4 Massa total partikulat dalam gas buang

Massa total partikulat:

$$W_n = W_{p1} + W_{p2} - W_b \quad (33)$$

Keterangan:
W_n adalah massa total partikulat dalam gas buang (g);
W_{p1} adalah massa partikulat dalam wadah penampung filter yang diberi label penampung 1 (g);
W_{p2} adalah massa partikulat dalam botol contoh uji yang diberi label penampung 2 (g);
W_b adalah massa partikulat dalam blanko lapangan (g).

5.2.5.7.5 Kadar partikulat dalam gas buang

Kadar partikulat dalam gas buang pada kondisi normal (25 °C, 760 mmHg):

$$C_s = \frac{W_n}{V_n} \times 1000 \quad (34)$$

Keterangan:
C_s adalah kadar partikulat dalam gas buang pada kondisi normal (mg/Nm^3);
W_n adalah massa total partikulat dalam gas buang (g);
V_n adalah volume gas buang yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal (Nm^3);
1000 adalah konversi dari g ke mg.

5.2.5.7.6 Kadar partikulat dalam gas buang setelah koreksi oksigen

$$C_k = \frac{[C_s \times (21 - O_2 \text{ Terkoreksi})]}{(21 - O_2 \text{ Terukur})} \quad (35)$$

Keterangan:
C_k adalah kadar partikulat dalam gas buang setelah koreksi oksigen (mg/Nm^3);
C_s adalah kadar partikulat dalam gas buang pada kondisi normal (mg/Nm^3);
O_2 Terkoreksi adalah koreksi oksigen yang tercantum dalam peraturan baku mutu emisi gas buang yang berkaitan
O_2 Terukur adalah kadar oksigen hasil pengukuran;
21 adalah kadar oksigen di atmosfer.

CATATAN O_2 terukur didapatkan dari subpasal 5.2.3.

5.2.5.7.7 Persen isokinetik

Persen isokinetik dari data mentah:

$$I = \frac{100 \times T_s \left[(K_4 \times V_{1c}) + \frac{(V_m \times Y)}{T_m} \times \left(P_a + \frac{\Delta H}{13{,}6}\right)\right]}{60 \times \upsilon \times \theta \times A_n \times P_s} \quad (36)$$

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional,
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

$$K_4 = 0{,}003454 \left[\frac{(mmHg)(m^3)}{(mL)(^oK)}\right] \quad (37)$$

Keterangan:
I adalah persen isokinetik (%);
T_s adalah suhu gas buang dalam cerobong (K);
V_{1c} adalah total volume cairan yang terkumpul pada seluruh botol penjerap (mL);
V_m adalah volume penghisapan gas buang (dibaca pada gas meter) (m^3);
Y adalah faktor kalibrasi *dry gas meter*;
P_a adalah tekanan barometrik (atmosfer) di tempat pengambilan contoh uji (mmHg);
ΔH adalah rata-rata perbedaan tekanan pada *Orifice meter* (mmH_2O);
T_m adalah suhu pada *dry gas meter* (K);
υ adalah kecepatan alir gas buang (m/detik);
θ adalah waktu pengambilan contoh uji (menit);
A_n adalah luas area *nozzle* (m^2);
P_s adalah tekanan absolut pada cerobong (mmHg), ($P_a+\Delta P_s$);
13,6 adalah massa jenis merkuri;
60 adalah konversi dari menit ke detik;
100 adalah konversi ke persen;
K_4 adalah nilai tetapan, yaitu 0,003454 [(mmHg)(m^3)]/[(mL)(^{o}K)].

CATATAN Apabila pengukuran tekanan (statik dan dinamik) menggunakan manometer air konversikan nilai tekanan menjadi mmHg dengan membagi 13,6.

Persen isokinetik dari data antara (*intermediate*):

$$I = \frac{T_s \times V_n \times 760 \times 100}{298 \times \upsilon \times \theta \times A_n \times P_s \times 60 \times (1 - B_{ws})} \quad (38)$$

Keterangan:
I adalah persen isokinetik (%);
T_s adalah suhu gas buang dalam cerobong (K);
V_n adalah volume penghisapan gas buang kering dikoreksi pada kondisi normal 25 °C, 760 mmHg (Nm^3);
υ adalah kecepatan alir gas buang (m/detik);
θ adalah waktu pengambilan contoh uji (menit);
A_n adalah luas area *nozzle* (m^2);
P_s adalah tekanan absolut pada cerobong (mmHg), ($P_a+\Delta P_s$)];
B_{ws} adalah fraksi volume uap air dalam gas buang;
298 adalah suhu pada kondisi normal (K);
760 adalah tekanan pada kondisi normal (mmHg);
100 adalah konversi ke persen.

CATATAN Apabila pengukuran tekanan (statik dan dinamik) menggunakan manometer air konversikan nilai tekanan menjadi mmHg dengan membagi 13,6.

6 Pengendalian mutu

a) Gunakan bahan kimia berkualitas murni (pa).
b) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
c) Gunakan filter sesuai persyaratan.
d) Gunakan termometer, termokopel, barometer, *pitot tube*, *gas meter*, neraca analitik, jangka sorong, dan skala manometer yang terkalibrasi.
e) Lakukan verifikasi *nozzle* dan *pitot tube* sebelum digunakan sesuai lampiran G.
f) Lakukan pengulangan pengukuran konsentrasi gas beberapa kali pada kondisi operasi yang sama, sehingga dapat dihitung hasil pengukuran rata-rata.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.

Lampiran A
(normatif)
Pelaporan

Catat pada buku kerja hal sebagai berikut:

1) Parameter yang diukur.
2) Nama petugas pengambil contoh uji.
3) Tanggal pengambilan contoh uji.
4) Nomor contoh uji.
5) Tempat dan denah lokasi pengambilan contoh uji.
6) Data fasilitas cerobong (fasilitas pengambilan contoh uji, jarak pengambilan contoh uji dari belokan, dan lain-lain).
7) Data pengambilan contoh uji seperti, kondisi meteorologi, lama uji, volume contoh uji.
8) Hasil perhitungan penentuan jumlah titik-titik lintas.
9) Kadar uap air, konsentrasi gas CO_2, O_2, CO, dan kecepatan alir gas buang.
10) Perhitungan persen isokinetik.
11) Kadar partikulat.

CATATAN Buku kerja dapat berupa *log book* atau *file* elektronik.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran B
(informatif)
Contoh formulir pelaporan hasil pemantauan emisi gas buang sumber tidak bergerak

Contoh formulir pelaporan hasil pemantauan emisi gas buang sumber tidak bergerak

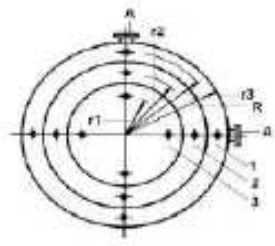
Nama perusahaan	:	
Alamat kegiatan	:	
Kabupaten/Kota	:	
Provinsi	:	
No. Telp/Fax	:	
Email	:	
Contact person	:	

IDENTITAS SUMBER EMISI			
Nama sumber emisi		Kapasitas produksi	
		Produksi yang dihasilkan	
Bahan bakar yang digunakan			
Nama/Kode cerobong		Waktu operasional (Jam)	
Temperatur gas cerobong (°C)		*Flow rate* gas (m^3/detik)	
Dimensi cerobong (m) [a] A. Bentuk cerobong bulat Diameter cerobong pengambilan contoh uji: Diameter cerobong atas: Diameter cerobong bawah: Tinggi cerobong: Jumlah lubang pengambilan contoh uji:		Ketersediaan sarana pengambilan contoh uji a. Tangga b. Lubang pengambilan contoh uji c. Pagar pengaman d. *Platform*/Lantai kerja e. Sumber listrik	 ( ) ( ) ( ) ( ) ( )
B. Bentuk cerobong persegi Diameter ekuivalen cerobong pengambilan contoh uji: Panjang cerobong: Lebar cerobong: Tinggi cerobong: Jumlah lubang pengambilan contoh uji:			
Posisi lubang pengambilan contoh uji setelah tidak ada hambatan/gangguan (m) :			
Tanggal pengambilan contoh uji (tgl/bln/thn):		Nama laboratorium penguji:	

HASIL PEMANTAUAN

No.	Parameter	Konsentrasi		Metode analisis	Laju alir gas (m^3/detik)	Baku mutu	Beban emisi (ton/thn)
		Terukur[b]	Terkoreksi[c]				
1.	Partikulat						
Parameter lain							
Parameter		Konsentrasi terukur					
Oksigen – O_2 (%)							

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Karbon dioksida – CO_2 (%)			
Karbon monoksida – CO (%)			
Kadar air – H_2O (% Volume)			
Pengukuran secara Isokinetik untuk parameter partikulat			
No.	Parameter	Hasil	Keterangan
1.	Titik lintas		
	a. Dimensi cerobong (m)		
	a.1 Diameter cerobong		
	a.2 Jarak cerobong atas dari lubang pengambilan contoh uji		
	a.3 Jarak cerobong bawah dari lubang pengambilan contoh uji		
	b. Jarak titik lintas dari pusat cerobong (m)		 Keterangan gambar: A adalah lubang pengambilan contoh uji; R adalah jari-jari cerobong; r1 adalah jarak titik lintas 1 dari pusat cerobong; r2 adalah jarak titik lintas 2 dari pusat cerobong; r3 adalah jarak titik lintas 3 dari pusat cerobong; 1 adalah titik lintas 1; 2 adalah titik lintas 2; 3 adalah titik lintas 3.
	b.1 Titik lintas 1		
	b.2 Titik lintas 2		
	b.3 Titik lintas 3		
	b.4 dst.		
	c. Kecepatan alir pada:		
	c.1 Titik lintas 1		
	c.2 Titik lintas 2		
	c.3 Titik lintas 3		
	c.4 dst.		
2.	Persen isokinetik (%)		

Keterangan:

[a] : Pilih cerobong sesuai dengan cerobong yang dilakukan pemantauan

[b] : Konsentrasi terukur adalah konsentrasi yang diukur secara langsung secara manual sebelum dilakukan koreksi oksigen.

[c] : Konsentrasi terkoreksi adalah konsentrasi terukur yang telah disesuaikan dengan Faktor Koreksi Oksigen, dengan rumus konsentrasi terkoreksi = konsentrasi terukur x (21 – O_2 koreksi) / (21 – O_2 terukur)

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran C
(informatif)
Contoh lembar pencatatan

C.1 Contoh lembar pencatatan untuk cara uji tipe A

C.1.1 Contoh lembar pencatatan penentuan kadar uap air

Contoh lembar pencatatan untuk penentuan kadar uap airditunjukkan pada Gambar C.1.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan atmosfer :
Waktu pengukuran :

Suhu pada Gas Meter, t_m (°C)	Tekanan uap air jenuh pada t_m (mmHg)	Tekanan pada Gas Meter (mmHg)	Pembacaan Volume Gas Meter (L)	
			Awal	Akhir

No.	Massa Awal	Massa Akhir	Selisih
1.			
2.			
3.			
4.			

Gambar C.1 – Contoh lembar pencatatan penentuan kadar uap air untuk cara uji tipe A

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

C.1.2 Contoh lembar pencatatan penentuan kecepatan alir

Contoh lembar pencatatan untuk penentuan kecepatan alir ditunjukkan pada Gambar C.2.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan atmosfer :
Waktu pengukuran :
Tempat pengukuran :

Data penentuan kecepatan laju alir

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Temperatur gas buang	(T)	°C	
Angka tekanan dinamis terbaca	(h_t)	mm etanol	
Angka tekanan di titik nol	(h_o)	mm etanol	
Perbedaan tekanan dinamis	(Δh)	mm etanol	
Temperatur cairan penyumbat (etanol)	(t)	°C	
Berat jenis cairan penyumbat	(ρ)		
Skala pembesaran manometer			
Tekanan dinamis yang sebenarnya	(h)	mmH_2O	
Tekanan statis gas buang		mm etanol	
Perbedaan tekanan statis		mm etanol	
Tekanan statis gas buang	(Ps_{H2O})	mmH_2O	
Tekanan statis gas buang	(Ps)	mmHg	
Massa jenis gas buang	(g_o)	kg/Nm³	
Massa jenis gas buang	(g)	kg/Nm³	
Kecepatan aliran gas buang	(v)	m/s	
Kecepatan aliran rata-rata	(v)	m/s	

Gambar C.2 – Contoh lembar pencatatan penentuan kecepatan alir untuk cara uji tipe A

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

C.1.3 Contoh lembar pencatatan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat

Contoh lembar pencatatan untuk pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat ditunjukkan pada Gambar C.3.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan atmosfer :
Waktu pengukuran :
Tempat pengukuran :

Data pengambilan contoh uji partikulat

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Jumlah aliran gas serap	q_m	l/min	
berkecepatan sama	$60/q_m$	s	
Pembacaan gas meter akhir		L	
Pembacaan gas meter awal		L	
Volume gas terbaca yang dihisap	V_d	L	
Volume koreksi gas meter	V	L	
Temperatur gas meter	t_m	°C	
Tekanan uap jenuh	P_v	mmHg	
Tekanan gas meter terbaca	P_m	mm	
Tekanan gas meter sebenarnya	$P_m/13.6$	mmHg	
Diameter nozzle	d	mm	
Massa awal kertas saring	W_3	gram	
Massa akhir kertas saring	W_4	gram	
Volume gas buang kering	V_n	Nm^3	

Data penentuan kadar partikulat

No	W_4	W_3	Vol	Kadar Partikulat	O_2 *actual*	O_2 *ref*
	(g)	(g)	(Nm^3)	(mg/Nm^3)	%	%
1						

Gambar C.3 – Contoh lembar pencatatan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat untuk cara uji tipe A

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

C.2 Contoh lembar pencatatan untuk cara uji tipe B

C.2.1 Contoh lembar pencatatan penentuan fraksi volume uap air

Contoh lembar pencatatan untuk penentuan fraksi volume uap air ditunjukkan pada Gambar C.4.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan atmosfer :

Titik lintas	Waktu pengambilan contoh uji (menit)	Suhu cerobong (°C)	ΔH (mmH_2O)	Volume Gas Meter (m^3)	ΔV_m (m^3)	Suhu Dry Gas Meter (°C)		Suhu keluar penjerap (°C)
						Masuk	Keluar	

Botol Penjerap	Massa Awal	Massa Akhir	Selisih
Botol penjerap ke – 1			
Botol penjerap ke – 2			
Botol penjerap ke – 3			
Botol silika gel			

Gambar C.4 – Contoh lembar pencatatan penentuan fraksi volume uap air untuk cara uji tipe B

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

C.2.2 Contoh lembar pencatatan penentuan kecepatan alir

Contoh lembar pencatatan untuk penentuan kecepatan alir ditunjukkan pada Gambar C.5.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan ambien :

Titik lintas	Tekanan dinamik (mmH_2O)	Suhu cerobong (°C)
#Port 1		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Rata – Rata		
#Port 2		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Rata – Rata		

Gambar C.5 – Contoh lembar pencatatan penentuan kecepatan alir untuk cara uji tipe B

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

C.2.3 Contoh lembar pencatatan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat

Contoh lembar pencatatan untuk pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat ditunjukkan pada Gambar C.6.

Nama perusahaan :
Sumber emisi :
Lokasi :
Operator :
Tanggal :
Suhu ambien :
Tekanan atmosfer :
Waktu pengukuran :

Pengaturan faktor isokinetik dan diameter *nozzle* ideal			
Koefisien *Pitot Tube*	(C_p)		
Rerata suhu cerobong	(t_s)		°C
Rerata suhu pada gas meter	(t_m)		°C
ΔH @ 0.75 SCFM	($\Delta H_@$)		mm H_2O
Rerata perbedaan tekanan *Pitot Tube*	(ΔP_{avg})		mm H_2O
Kadar uap air	(B_{ws})		
Berat molekul kering	(M_d)		g/g-mole
Perkiraan laju alir di *Orifice*	(Q_m)		acmm
Faktor Isokinetik ΔP - ΔH	(K)		

Tekanan			
Tekanan Barometrik	(P_b)		mm Hg
Tekanan statik cerobong	(P_{static})		mm H_2O
Tekanan absolut cerobong	(P_s)		mm Hg
Tekanan absolut pada *Gas Mefer*	(P_m)		mm Hg

Peralatan Pengambilan Contoh Uji			
Gas Meter #			
Faktor Kalibrasi *Gas Meter*	(Y)		
Nozzle #			
Diameter *Nozzle* Aktual	(D_{ns})		mm
Perkiraan Diameter *Nozzle*	(D_n)		mm
Probe # / panjang			m
Material *Liner*			
Sample Case / Oven #			
Impinger Case #			

ΔV_m	Uji Kebocoran				
Pra		m^3/min			mm Hg
Mid		m^3/min			mm Hg
Pasca		m^3/min			mm Hg
ΔV_m <		m^3/min	☐	Leak Check OK?	

Gambar C. 6 – Contoh lembar pencatatan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat untuk cara uji tipe B (1 dari 2)

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Titik Lintas	Waktu Pengambilan Contoh Uji (θ)	Pembacaan Dry Gas Meter (V_m)	ΔP	ΔH Orifice Aktual (ΔH)	Suhu cerobong (t_s)	Suhu *Probe* (t_{mi})	Suhu *Outlet Gas Meter* (t_{mo})	Suhu Filter	Suhu Keluar Penjerap	Pompa Vakum	Tekanan Statik (P_s)
	menit	L	mm H_2O	mm H_2O	°C	°C	°C	°C	°C	mm Hg	mm H_2O
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Gambar C. 6 – Contoh lembar pencatatan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat untuk cara uji tipe B (2 dari 2)

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran D
(informatif)
Tabel tekanan uap air jenuh dan masa jenis etanol berdasarkan suhu

Tabel D.1 – Tekanan uap air jenuh dan masa jenis etanol berdasarkan suhu

Suhu (°C)	P_v (mmHg)		ρ etanol (g/cm³)	Suhu (°C)	P_v (mmHg)		ρ etanol (g/cm³)
	0,0	0,5			0,0	0,5	
0	4,6	4,8	0,809	31	33,7	34,7	0,782
1	4,9	5,1	0,808	32	35,7	36,7	0,781
2	5,3	5,5	0,807	33	37,7	38,8	0,781
3	5,7	5,9	0,806	34	39,9	41,0	0,780
4	6,1	6,3	0,805	35	42,2	43,4	0,779
5	6,5	6,8	0,804	36	44,6	45,8	0,778
6	7,0	7,3	0,804	37	47,1	48,4	0,777
7	7,5	7,8	0,803	38	49,7	51,1	0,776
8	8,0	8,3	0,802	39	52,5	53,9	0,775
9	8,6	8,9	0,801	40	55,3	56,8	0,775
10	9,2	9,5	0,800	41	58,4	59,9	0,774
11	9,8	10,2	0,799	42	61,5	63,1	0,774
12	10,5	10,9	0,798	43	64,8	66,5	0,772
13	11,2	11,6	0,798	44	68,3	70,1	0,771
14	12,0	12,4	0,797	45	71,9	73,7	0,770
15	12,8	13,2	0,796	46	75,7	77,6	0,770
16	13,6	14,1	0,795	47	79,6	81,6	0,769
17	14,5	15,0	0,794	48	83,7	85,8	0,768
18	15,5	16,0	0,793	49	88,0	90,2	0,767
19	16,5	17,0	0,792	50	92,5	94,8	0,766
20	17,5	18,1	0,792	51	97,2	99,6	0,765
21	18,7	19,2	0,791	52	102,1	104,6	0,764
22	19,8	20,4	0,790	53	107,2	109,8	0,764
23	21,1	21,7	0,789	54	112,5	115,2	0,763
24	22,4	23,1	0,788	55	118,0	120,9	0,762
25	23,8	24,5	0,787	56	123,8	126,7	0,761
26	25,2	26,0	0,787	57	120,8	132,9	0,76
27	26,7	27,5	0,786	58	136,0	139,2	0,759
28	28,4	29,2	0,785	59	142,5	145,9	0,758
29	30,1	30,9	0,784	60	149,3	152,8	0,758
30	31,8	32,8	0,783				

Sumber : *Perry's Chemical Engineers' Handbook,* 1986.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran E
(normatif)
Prosedur analisis konsentrasi gas buang dengan *orsat analyzer*

E.1 Prinsip

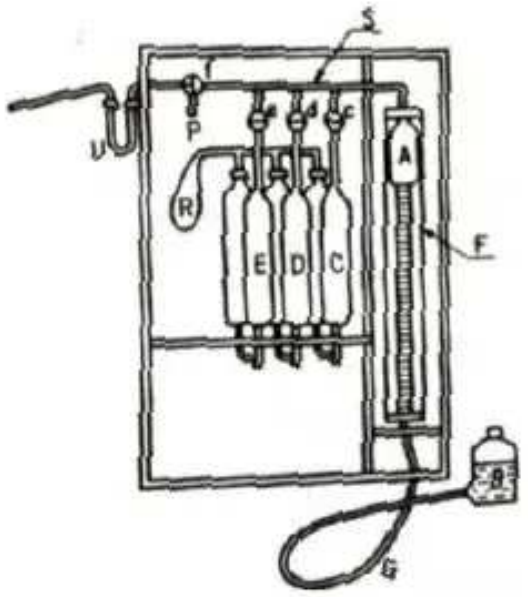
Peralatan *orsat* digunakan untuk mengetahui konsentrasi gas buang dalam contoh uji dengan cara pengukuran jumlah volume larutan penjerap yang berkurang akibat proses absorpsi.

E.2 Alat

Contoh rangkaian *orsat analyzer* seperti pada Gambar E.1 yang terdiri dari:

a) buret gas yang terbuat dari tabung gelas 100 mL dan dilengkapi skala 0,1 mL serta 1 mL;
b) silinder pendingin buret gas;
c) *levelling bulb* dengan kapasitas dalam 250 mL;
d) pipa pendistribusi gas: tabung gelas kapiler dilengkapi keran dua arah dan keran tiga arah;
e) *rubber balloon* dengan kapasitas 150 mL;
f) pipa U yang terbuat dari gelas yang diisi dengan kapas absorben (*absorbent cotton*), *refined asbestos*, atau *silica wool*.

CATATAN Bila *gas sampling tube* dilengkapi dengan filter untuk mencegah tercampurnya debu, maka pipa U tidak diperlukan.



Keterangan:

A	adalah buret gas;	P	adalah *discharge outlet*;
B	adalah *levelling bulb*;	R	adalah *rubber ballon*;
C	adalah botol penjerap CO_2;	S	adalah pipa pendistribusi gas;
D	adalah botol penjerap O_2;	c,d,e	adalah keran dua arah;
E	adalah botol penjerap CO;	f	adalah keran tiga arah;
F	adalah silinder pendingin buret gas;	U	adalah pipa U;
G	adalah selang penghubung;		

Gambar E.1 – Contoh rangkaian *orsat analyzer*

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

E.3 Bahan

a) larutan penjerap CO_2: larutkan 30 g KOH dalam 100 mL air bebas mineral;
b) larutan penjerap O_2: Campurkan larutan KOH dan pirogalol yaitu 60 g KOH dalam 100 mL air bebas mineral dan 12 g pirogalol dalam 100 mL air bebas mineral (total 200 mL);

CATATAN Hindari kontak terlalu lama dengan udara saat pencampuran, karena larutan ini mudah menyerap oksigen.

c) larutan penjerap CO: larutkan 15 g kristal Cu_2Cl_2 dalam 100 mL HCl pekat, kemudian homogenkan;
d) larutan skala: tambahkan indikator Metil Merah (MM) dalam larutan jenuh garam (*saturated brine*), kemudian tambahkan H_2SO_4 sampai warna larutan menjadi merah (bersifat agak asam).

E.4 Pengukuran

1) isikan larutan skala pada botol B (lihat Gambar D.1) sebanyak 250 mL;
2) masukkan 250 mL larutan penjerap masing-masing gas ke dalam setiap botol penjerap, larutan penjerap CO_2 dalam botol C, larutan penjerap O_2 dalam botol D, dan larutan penjerap CO dalam botol E, melalui inlet botol penjerap dan tutup dengan penyumbat botol penjerap, Tutup kran c,d,e pada masing-masing botol penjerap;
3) putar keran tiga arah f pada posisi netral dan naikkan botol B secara perlahan sehingga larutan skala memenuhi buret dan mendekati angka 100 mL. kemudian putar keran tiga arah f pada posisi tutup ;
4) buka kran dua arah pada botol C (botol penjerap CO_2) dan atur tinggi permukaan larutan penjerap dengan cara menurunkan botol B secara perlahan-lahan sampai tinggi permukaan larutan pada botol C mendekati kran dan beri tanda tinggi permukaan larutan penjerap (biasanya sudah ada tandanya). Tutup kran pada botol C. Lakukan hal yang sama untuk masing-masing botol penjerap D dan E;
5) putar keran tiga arah f pada posisi netral dan naikkan botol B secara perlahan sehingga larutan skala memenuhi buret sampai tepat tanda batas angka 100 mL. kemudian putar keran tiga arah f pada posisi tutup ;
6) hubungkan contoh uji yang sudah diambil menggunakan kantong contoh uji (Tedlar bag) dengan pipa U dan putar kran tiga arah f discharge outlet, P (lihat gambar D.1) pada posisi netral ;
7) lakukan pembilasan pipa pendistribusi gas (ditunjukkan dengan huruf S pada Gambar D.1), dengan cara menurunkan botol B hingga contoh uji dan udara dalam pipa pendistribusi masuk ke Buret, kemudian putar kran tiga arah f pada posisi buang untuk membuang contoh uji dan udara melalui P. Lakukan langkah ini beberapa kali kemudian posisikan kembali larutan skala dalam Buret di tanda batas 100 mL dan putar kran tiga arah f pada posisi netral ;
8) pindahkan contoh uji dalam Tedlar bag ke Buret secara berlebih dengan cara menurunkan botol B hingga larutan skala pada Buret turun sampai di bawah tanda batas 0 mL, kemudian putar kran tiga arah f pada posisi tutup dan lepaskan Tedlar bag dari pipa U;
9) putar kran tiga arah f pada posisi buang tepatkan larutan skala dalam Buret pada tanda 0 mL dengan menaikkan botol B secara perlahan-lahan sehingga contoh uji berlebih keluar dari Buret melalui discharge outlet, P. Kemudian putar kran tiga arah f pada posisi tutup ;

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

10) buka kran dua arah pada botol C, selanjutnya dorong gas yang ada di Buret ke botol C dengan menaikkan larutan skala botol B secara perlahan-lahan sampai hampir tanda 100 mL, kemudian turunkan larutan skala botol B perlahan-lahan sampai hampir titik 0 mL. Ulangi kembali menaikkan larutan skala botol B secara perlahan-lahan sampai hampir tanda 100 mL untuk mendorong gas yang ada di Buret ke botol C kemudian turunkan larutan skala botol B perlahan-lahan sampai larutan skala dalam Buret hampir di titik 0 mL. Lakukan langkah ini sebanyak 7 sampai 10 kali ulangan untuk menjerap CO_2;
11) setelah proses penjerapan CO_2 selesai, atur kembali tinggi permukaan larutan penjerap botol C hingga berada pada tanda batas yang telah ditandai sebelumnya dan tutup kran botol C;
12) atur permukaan larutan skala pada Buret dan permukaan larutan skala pada botol B sama tinggi dengan cara menaikan atau menurunkan botol B dan catat pembacaan skala volume pada Buret sebagai volume CO_2 yang terjerap, a (mL);
13) ulangi langkah 10 – 12 untuk menjerap gas O_2 (botol penjerap D) dan gas CO (botol penjerap E).

CATATAN Untuk penjerapan O_2 dan CO, posisi awal larutan skala dalam Buret tidak pada angka 100, tetapi bergantung dari sisa volume contoh uji dalam Buret setelah proses penjerapan sebelumnya.

E.5 Perhitungan

E.5.1 Konsentrasi CO_2

Konsentrasi CO_2 dalam contoh uji (% volume):

$$C_{CO_2} = \frac{100 - a}{100} \quad (39)$$

Keterangan:
C_{CO_2} adalah konsentrasi CO_2 dalam contoh uji (% volume);
100 adalah volume awal gas buang yang masuk ke buret A;
a adalah pembacaan volume pada buret gas setelah penjerapan CO_2 (mL).

E.5.2 Konsentrasi O_2

Konsentrasi O_2 dalam contoh uji (% volume):

$$C_{O_2} = \frac{a - b}{100} \quad (40)$$

Keterangan:
C_{O_2} adalah konsentrasi O_2 dalam contoh uji (% volume);
100 adalah volume awal gas buang yang masuk ke buret A;
a adalah pembacaan volume pada buret gas setelah penjerapan CO_2 (mL);
b adalah pembacaan volume pada buret gas setelah penjerapan O_2 (mL).

E.5.3 Konsentrasi CO

Konsentrasi CO dalam contoh uji (% volume):

$$C_{CO} = \frac{b - c}{100} \quad (41)$$

Keterangan:
C_{CO} adalah konsentrasi CO dalam contoh uji (% volume);
100 adalah volume awal gas buang yang masuk ke botol A;
b adalah pembacaan volume pada buret gas setelah penjerapan O_2 (mL);
c adalah pembacaan volume pada buret gas setelah penjerapan CO (mL).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran F
(informatif)
Contoh perhitungan kecepatan hisap pompa sesuai kecepatan isokinetik

F.1 Contoh untuk cara uji tipe A

Diketahui q_{mn} = 20 L/menit, maka waktu yang dibutuhkan untuk menghisap volume 1 liter adalah 60/20 = 3 detik.
Jadi untuk mendapatkan kecepatan pompa 20 L/menit atur *valve* pada pompa vakum dengan waktu 3 detik untuk volume 1 liter pada gas meter atau 1 L/rev.

F.2 Contoh untuk cara uji tipe B

Berikut adalah contoh data pengambilan contoh uji cerobong boiler:

Tabel F.1 – Contoh data pengambilan contoh uji cerobong boiler

Parameter	Nilai
ΔH@	46,77
Konsentrasi O_2 dalam gas buang	6 %
Konsentrasi CO_2 dalam gas buang	14,5 %
Suhu cerobong	146,7 °C
Tekanan Barometer	755 mmHg
Tekanan statik cerobong	70 mmH_2O
Rerata ΔP	58,83 mmH_2O
Akar ΔP	7,67
Suhu gas meter	31,8 °C
Koefisien *Pitot tube*	0,84
kadar uap air	13,55 %
laju alir pengambilan contoh uji	21,24 L/menit
Ideal nozzle	4,795 mm
Actual nozzle	4,8 mm
K faktor	0,811

Pengaturan kecepatan pompa dilakukan dengan mengatur ΔH. Nilai ΔH didapatkan dari rumus berikut:

$$\Delta H = \Delta P \times K\ \text{factor} \quad (42)$$

Dari data pada Tabel F.1, maka:
$\Delta H = 58.83 \times 0.811 = 47{,}7\ mmH_2O$

Jadi kecepatan pompa diatur pada posisi 47,7 mmH_2O dengan cara memutar *course control valve*.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran G
(informatif)
Prosedur verifikasi *nozzle* dan *pitot tube*

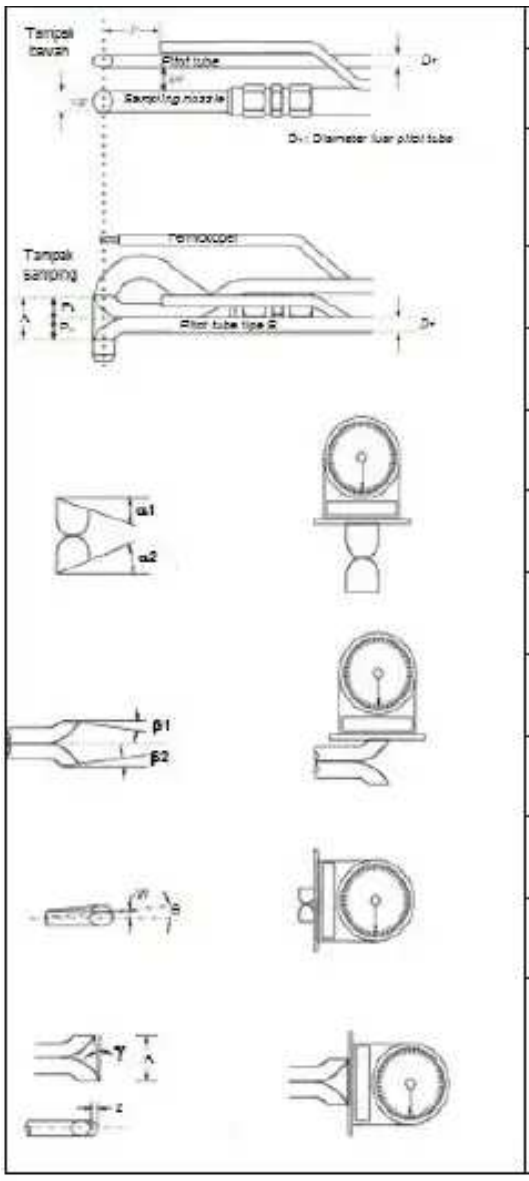
G.1 Prosedur verifikasi *nozzle*

Nozzle harus diverifikasi sebelum digunakan di lapangan menggunakan jangka sorong, untuk mengukur diameter dalam *nozzle* dengan ketelitian 0,025 mm. Buat tiga pengukuran terpisah pada sisi diameter yang berbeda dan dapatkan rata-rata pengukuran. Perbedaan antara nilai tertinggi dan terendah tidak boleh melebihi 0,1 mm (0,004 inci). Bila *nozzle* tergores, penyok karena terbentur, atau korosi, maka perlu diperbaiki atau diganti *nozzle* baru.

G.2 Prosedur verifikasi *pitot tube*

Pitot tube tipe S diverifikasi seperti contoh form verifikasi pada Tabel G.1.

Tabel G.1 – Contoh form verifikasi *pitot tube* tipe S



Parameter	Nilai	Rentang Keberterimaan
assembly level ?		Ya
ada bagian yang rusak ?		Tidak
$\alpha 1$		$-10° < \alpha 1 > +10°$
$\alpha 2$		$-10° < \alpha 2 > +10°$
$\beta 1$		$-5° < \beta 1 > +5°$
$\beta 2$		$-5° < \beta 2 > +5°$
γ		
θ		
$W = A \tan \theta$		$W \leq 0{,}031$ inci
$Z = A \tan \gamma$		$Z \leq 0{,}125$ inci
D_T		0,188 inci – 0,375 inci
A		Untuk diameter luar 1/4 inci = 0,525 inci – 0,750 inci Untuk diameter luar 3/8 inci = 0,788 inci – 1,125 inci

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran H
(informatif)
Material pipa pengambil contoh uji dan suhu maksimumnya

Tabel H.1 – Suhu cerobong maksimum untuk material pipa pengambil contoh uji

Material	Suhu Maksimum
Polytetrafluoroethylene (PTFE) *liners & fittings*	177 °C
Mineral-filled PTFE *fittings*	315 °C
Borosilicate glass liners	480 °C
Stainless steel liners	650 °C
Quartz liners	900 °C
Inconel or hastelloy liners	980 °C

Tabel H.2 – *Temperature ratings* untuk konfigurasi pipa pengambil contoh uji

Konfigurasi Rangkaian Pipa Pengambil Contoh Uji	Suhu Maksimum
Stainless steel sheath & glass liners	480 °C
Stainless steel sheath & liners	650 °C
Inconel or hastelloy sheath & liners	980 °C
Inconel or hastelloy sheath & quartz liners	980 °C

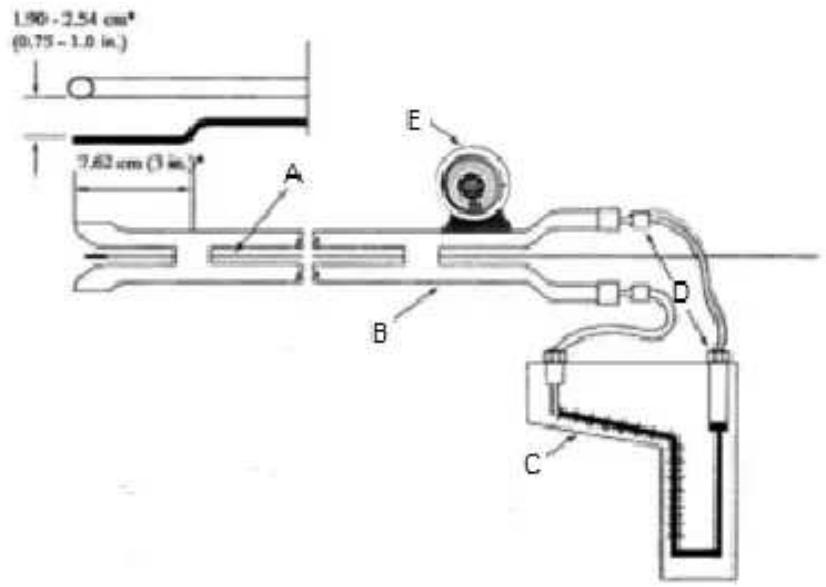
Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran I
(informatif)
Prosedur uji laminer

Lokasi pengambilan contoh uji yang ideal dilaksanakan pada posisi di antara 8 kali diameter cerobong dari aliran bawah (hulu) dan 2 kali diameter dari aliran atas (hilir) dengan persyaratan tidak ada gangguan aliran seperti belokan, penyempitan, atau pelebaran aliran di dalam cerobong. Apabila persyaratan tersebut tidak bisa terpenuhi, maka lokasi pengambilan contoh uji dapat dilaksanakan pada posisi di antara minimal 2 kali diameter dari gangguan bawah (hulu) dan 0,5 kali diameter dari gangguan atas (hilir) dengan syarat aliran gas buang pada lokasi tersebut tidak turbulen/siklonik. Untuk menentukan jenis aliran gas buang dapat dilakukan dengan prosedur berikut ini:

1) hubungkan *pitot tube* tipe S dengan manometer (manometer inklinasi atau digital);
2) pasang *pendulum style inclinometer* pada batang/pipa *pitot tube* (lihat Gambar I.1);
3) posisikan manometer pada posisi nol, lalu masukkan *pitot tube* tipe S ke dalam cerobong sesuai titik lintasnya dan posisikan lubang *pitot tube* berlawanan arah dengan aliran gas pada cerobong;
4) putar *pitot tube* ke arah posisi ± 90° sampai didapatkan pembacaan manometer (ΔP) di angka nol "0" dan catat sudut yang ditunjukkan oleh *pendulum style inclinometer* (lihat Tabel I.1);
5) ulangi langkah 3) dan 4) untuk semua titik lintas;
6) hitung nilai rata-rata aritmatik dari sudut yang dicatat untuk setiap lintasan.

Jika nilai rata-rata aritmatik hasil perhitungan kurang dari 20°, aliran gas buang laminer dan pengambilan contoh uji bisa dilanjutkan. Jika nilai rata-rata aritmatik hasil perhitungan lebih besar dari 20°, aliran gas buang terindikasi siklon (turbulen).



Keterangan:
A adalah termokopel;
B adalah *pitot tube* tipe S;
C adalah manometer inklinasi;
D adalah selang penghubung bebas kebocoran;
E adalah *pendulum style inclinometer*.

Gambar I.1 – Contoh rangkaian *pitot tube* tipe untuk uji aliran gas buang

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel I.1 – Contoh form pencatatan uji aliran gas buang

No.	Titik Lintas	ΔP pada acuan 0°	Sudut ditunjukkan oleh *pendulum style inclinometer*
Rata-Rata			

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Lampiran J
(informatif)
Contoh perhitungan penentuan kadar partikulat

Contoh perhitungan ini berdasarkan pengambilan contoh uji partikulat dan penentuan kadar partikulat menggunakan cara uji tipe A dan tipe B pada cerobong genset dengan data cerobong sesuai Tabel J.1.

Tabel J.1 – Data cerobong genset

Nama perusahaan	:	P3KLL	
Lokasi	:	Serpong, Tangerang Selatan, Banten	
Titik koordinat	:	S 6°21'00,55" E 106°40'05,19"	
IDENTITAS SUMBER EMISI			
Nama sumber emisi	Genset	Kapasitas	437 KW
Bahan bakar yang digunakan	Solar	Nama/Kode cerobong	G1
Temperatur gas cerobong (°C)	161		
Data cerobong Penampang cerobong: Lingkaran Diameter cerobong pengambilan contoh uji: 30 cm Jarak cerobong atas dari lubang pengambilan contoh uji: 1,5 m Jarak cerobong bawah dari lubang pengambilan contoh uji: 3 m Tinggi cerobong: 6,3 m Tebal cerobong: 1 cm Panjang *flange*: 14 cm Jumlah lubang pengambilan contoh uji: 2		Ketersediaan sarana pengambilan contoh uji a. Tangga b. Lubang pengambilan contoh uji c. Pagar pengaman d. *Platform*/lantai kerja e. Sumber listrik	 (√) (√) (√) (√) (√)

J.1 Contoh perhitungan cara uji tipe A

J.1.1 Penentuan titik lintas

Berdasarkan Tabel 1 jumlah titik lintas pengukuran untuk diameter cerobong 30 cm adalah 4 titik lintas dengan jarak dari pusat cerobong ke titik lintas pengukuran adalah 0,707R (R adalah jari-jari cerobong). Cerobong memiliki 2 lubang pengambilan contoh uji, maka setiap lubang pengambilan contoh uji terdapat 2 titik lintas dengan jarak titik lintas dari mulut lubang pengambilan contoh uji dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$r_1 = F + R - (R \times C) + t \quad (43)$$

$$r_2 = F + R + (R \times C) + t \quad (44)$$

Keterangan:
r_1 adalah jarak titik lintas 1 dari mulut lubang pengambilan contoh uji (cm);
r_2 adalah jarak titik lintas 2 dari mulut lubang pengambilan contoh uji (cm);
F adalah panjang *flange* (cm);
R adalah jari-jari cerobong (cm);
C adalah tetapan jarak titik lintas dari Tabel 1;
t adalah tebal cerobong (cm).

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Jarak-jarak titik lintas dari lubang pengambilan contoh uji dapat dilihat pada tabel J.2.

Tabel J.2 – Hasil perhitungan jarak titik lintas dari lubang pengambilan contoh uji

Titik Lintas	Panjang *Flange*, F (cm)	Diameter cerobong, D (cm)	C	Jari-jari cerobong, R (cm)	Tebal cerobong, t (cm)	Jarak titik lintas dari mulut lubang pengambilan contoh uji (cm)
Titik 1	14	30	0,707	15	1	19,4
Titik 2	14	30	0,707	15	1	40,6

J.1.2 Penentuan kadar uap air

Data pengambilan contoh uji untuk penentuan kadar uap air ditunjukkan pada Tabel J.3 dan hasil perhitungan kadar uap air sesuai dengan subpasal 5.1.2.6 ditunjukkan pada Tabel J.4.

Tabel J.3 – Data pengambilan contoh uji penentuan kadar uap air

No	Pengambilan contoh uji	Massa (g)			Total massa uap air (g)
		Awal	Akhir	Selisih	
1	kadar air 1	126,32	126,4	0,08	0,42
2		127,4	127,74	0,34	
3	kadar air 2	125,06	125,43	0,37	0,42
4		124,62	124,67	0,05	
5	kadar air 3	121,87	122,11	0,24	0,32
6		117,49	117,57	0,08	

Tabel J.4 – Hasil perhitungan kadar uap air

Parameter	Satuan	Kadar air 1	Kadar air 2	Kadar air 3
Volume gas yang dihisap (V_m)	L	10	10	10
Tekanan Atmosfer (P_a)	mmHg	755	755	755
Temperatur gas meter (t_m)	°C	30	31	31
Temperatur gas meter rata-rata (t_m)	°C	30,67		
Tekanan gas meter terbaca (P_m)	mmH_2O	4	4	4
Tekanan gas meter (P_m)	mmHg	0,294	0,294	0,294
Jumlah massa uap air (m)	g	0,42	0,42	0,32
Kadar air (X_w)	%	5,51	5,53	4,27
Kadar air rata-rata (X_w)	%	5,11		

J.1.3 Penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2

Hasil penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2 menggunakan *gas analyzer* ditunjukkan pada Tabel J.5.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel J.5 – Hasil penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2 menggunakan *gas analyzer*

No.	Jenis gas	% Volume
1	gas CO_2	2,14
2	gas O_2	18,1
3	gas CO	0
4	gas N^2	79,76

J.1.4 Penentuan kecepatan alir gas buang

Data pengukuran dan hasil perhitungan tekanan statik ditunjukkan pada Tabel J.6. Data untuk pengukuran dan hasil perhitungan tekanan dinamis setiap titik lintas ditunjukkan pada Tabel J.7. Data hasil perhitungan massa per satuan volume gas buang berdasarkan subpasal 5.1.4.6.3 ditunjukkan pada tabel J.8. Data hasil perhitungan kecepatan alir pada setiap titik lintas berdasarkan subpasal 5.1.4.6.4 ditunjukkan pada Tabel J.9.

Tabel J.6 – Data pengukuran dan hasil perhitungan tekanan statik

No.	Parameter	Nilai
1	tekanan statik gas buang (h_s)	40 mm etanol
2	skala manometer	20
3	suhu etanol	29 °C
4	massa jenis etanol	0,784 g/cm^3
5	tekanan statik (ΔPs)	1,568 mmH_2O
6	tekanan statik (ΔPs)	0,1153 mmHg

Tabel J.7 – Data pengukuran dan hasil perhitungan tekanan dinamik pada setiap titik lintas

No.	Parameter	Nilai
1	skala manometer	20
2	suhu etanol	29 °C
3	massa jenis etanol	0,784 g/cm^3
4	tekanan dinamik pada titik lintas 1 (h_1)	76 mm etanol
5	tekanan dinamik pada titik lintas 1 (h_1)	2,98 mmH_2O
6	tekanan dinamik pada titik lintas 2 (h_2)	75 mmetanol
7	tekanan dinamik pada titik lintas 2 (h_2)	2,94 mmH_2O
8	tekanan dinamik pada titik lintas 3 (h_3)	75 mmetanol
9	tekanan dinamik pada titik lintas 3 (h_3)	2,94 mmH_2O
10	tekanan dinamik pada titik lintas 4 (h_4)	76 mm etanol
11	tekanan dinamik pada titik lintas 4 (h_4)	2,98 mmH_2O

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel J.8 – Data hasil perhitungan massa jenis gas buang

No.	Parameter	Nilai
1	tekanan atmosfer (P_a)	755 mmHg
2	temperatur gas buang (t_s)	161 °C
3	% volume gas CO_2	2,14 %
4	% volume gas O_2	18,1 %
5	% volume gas CO	0 %
6	% volume gas N_2	79,76 %
7	massa molekul relatif gas CO_2	44
8	massa molekul relatif gas O_2	32
9	massa molekul relatif gas CO	28
10	massa molekul relatif gas N_2	28
11	kadar uap air	5,11 %
12	massa jenis gas buang basah (γ_o)	1,166 kg/m^3
13	massa jenis gas buang keing (γ)	0,795 kg/m^3

Tabel J.9 – Data hasil perhitungan kecepatan alir pada setiap titik lintas

No.	Parameter	Nilai
1	konstanta *pitot tube* (C)	0,84
2	percepatan gravitasi (g)	9,81 m/detik^2
3	kecepatan alir gas buang pada titik lintas 1 (υ_1)	7,201 m/detik
4	kecepatan alir gas buang pada titik lintas 2 (υ_2)	7,154 m/detik
5	kecepatan alir gas buang pada titik lintas 3 (υ_3)	7,154 m/detik
6	kecepatan alir gas buang pada titik lintas 4 (υ_4)	7,201 m/detik
7	kecepatan alir gas buang rata-rata (υ)	7,178 m/detik

J.1.5 Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri

Data hasil perhitungan penentuan diameter *nozzle* dan laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk setiap titik lintas ditunjukkan pada tabel J.10. Data pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan hasil perhitungan kadar partikulat ditunjukkan pada tabel J.11. Data hasil perhitungan persen isokinetik ditunjukkan pada tabel J.12.

Tabel J.10 – Data hasil perhitungan penentuan diameter *nozzle* dan laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk setiap titik lintas

No.	Parameter	Nilai
1	tekanan atmosfer (P_a)	755 mmHg
2	tekanan statik (ΔPs)	0,115 mmHg
3	tekanan gas meter (Pm)	0,294 mmHg
4	temperatur gas buang (t_s)	161 °C
5	temperatur gas meter (t_m)	30,7 °C
6	diameter *nozzle* (d)	10 mm
7	laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk titik lintas 1 (q_{m1})	22,52 L/menit
8	laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk titik lintas 2 (q_{m2})	22,37 L/menit
9	laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk titik lintas 3 (q_{m3})	22,37 L/menit
10	laju alir pengambilan contoh uji isokinetik pada gas meter untuk titik lintas 4 (q_{m4})	22,52 L/menit

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel J.10 (*lanjutan*)

No.	Parameter	Nilai
11	pengaturan *valve* pada pompa untuk 1 liter putaran di gas meter – titik lintas 1	2,66 detik
12	pengaturan *valve* pada pompa untuk 1 liter putaran di gas meter – titik lintas 2	2,68 detik
13	pengaturan *valve* pada pompa untuk 1 liter putaran di gas meter – titik lintas 3	2,68 detik
14	pengaturan *valve* pada pompa untuk 1 liter putaran di gas meter – titik lintas 4	2,66 detik

Tabel J.11 – Data pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan hasil perhitungan kadar partikulat

No.	Parameter	Nilai
1	tekanan atmosfer (P_a)	755 mmHg
2	tekanan gas meter (P_m)	0,294 mmHg
3	temperatur gas meter(t_m)	30,67 °C
4	temperatur gas buang (t_s)	161 °C
5	volume penghisapan gas buang basah (V_m)	474 L
6	volume penghisapan gas buang kering (V_n)	0,4623 Nm^3
7	massa kertas saring awal (W_3)	1,7940 g
8	massa kertas saring akhir (W_4)	1,8020 g
9	kadar partikulat terukur	17,306 mg/Nm^3
10	% volume O_2 terukur	18,1 %
11	% volume O_2 terukur	5 %
12	kadar partikulat terkoreksi	95 mg/Nm^3

Tabel J.12 – Data hasil perhitungan persen isokinetik

No.	Parameter	Nilai
1	temperatur gas buang (t_s)	161 °C
2	volume penghisapan gas buang kering (V_n)	0,4623 Nm^3
3	waktu pengambilan contoh uji tiap titik	5 menit
4	waktu pengambilan contoh uji total semua titik (θ)	20 menit
5	tekanan atmosfer (P_a)	755 mmHg
6	tekanan statis (ΔP_s)	0,115 mmHg
7	tekanan absolut pada cerobong (P_s)	755,12 mmHg
8	diameter nozzle (d)	10 cm
9	luas area *nozzle* (A_n)	$7,9 \times 10^{-5}$ m^2
10	kecepatan alir gas buang (υ)	7,178 m/detik
11	kadar uap air (X_w)	5,11 %
12	persen isokinetik	106 %

J.2 Contoh perhitungan cara uji tipe B

J.2.1 Penentuan titik lintas

Berdasarkan Gambar 15 dan 16 jumlah titik lintas pengukuran untuk diameter cerobong 30 cm adalah 8 titik lintas. Cerobong memiliki 2 lubang pengambilan contoh uji, maka setiap

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

lubang pengambilan contoh uji terdapat 4 titik lintas dengan hasil perhitungan jarak titik lintas dari mulut lubang pengambilan contoh uji ditunjukkan pada Tabel J.13.

Tabel J.13 – Hasil perhitungan jarak titik lintas dari lubang pengambilan contoh uji

Titik Lintas	Jarak titik lintas dari mulut lubang pengambilan contoh uji
Titik 1	16,0 cm
Titik 2	21,5 cm
Titik 3	36,5 cm
Titik 4	42,0 cm

J.2.2 Penentuan fraksi volume uap air

Data pengambilan contoh uji untuk penentuan fraksi volume uap air ditunjukkan pada Tabel J.14 dan hasil perhitungan fraksi volume uap air ditunjukkan pada Tabel J.15.

Tabel J.14 – Data pengambilan contoh uji untuk penentuan fraksi volume uap air

Botol penjerap	Massa Akhir (g)	Massa Awal (g)	Selisih (g)
1	705,45	694,61	10,84
2	698,96	686,95	12,01
3	600,4	600,15	0,25
4	753,5	736,79	16,71
Total			39,81

Tabel J.15 – Hasil perhitungan fraksi volume uap air

No.	Parameter	Nilai
1	massa total air dalam botol penjerap	39,81 g
2	volume uap air terkondensasi (V_{wc})	0,054 Nm^3
3	volume penghisapan gas buang pada *dry gas meter* (V_m)	0,763 m^3
4	tekanan pada *dry gas meter* (P_m)	755 mmHg
5	suhu pada *dry gas meter* (T_m)	310,4 K
6	faktor kalibrasi *dry gas meter* (Y)	0,9951
7	volume gas buang dikoreksi pada kondisi normal (V_n)	0,727 Nm^3
8	fraksi volume uap air (B_{ws})	0,068
9	% volume uap air	6,8 %

J.2.3 Penentuan massa molekul relatif gas buang basis kering

Hasil penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2 menggunakan *gas analyzer* ditunjukkan pada Tabel J.16 dan hasil penentuan massa molekul relatif gas buang basis kering ditunjukkan pada Tabel J.17.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel J.16 – Hasil penentuan konsentrasi gas CO, CO_2, O_2 menggunakan *gas analyzer*

No	O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)
1	18,1	2,12	174
2	18,1	2,12	174
3	18,1	2,13	175
4	18,1	2,12	175
5	18,1	2,13	174
6	18,1	2,12	175
7	18,1	2,14	175
rata-rata	18,1	2,13	175
mol fract	0,1812	0,0213	0,0175

Tabel J.17 – Hasil penentuan massa molekul relatif gas buang basis kering

No.	Parameter	Nilai
1	fraksi mol gas CO_2	0,0213
2	fraksi mol gas CO	0,017457
3	fraksi mol gas O_2	0,1812
4	fraksi mol gas N_2	0,780
5	fraksi volume uap air (B_{ws})	0,0681
6	massa molekul relatif gas buang basis kering (M_d)	29,06 g/gmol
7	massa molekul relatif gas buang basis basah (M_s)	28,31 g/gmol

J.2.4 Penentuan kecepatan alir gas buang

Data penentuan kecepatan alir gas buang ditunjukkan pada Tabel J.18 dan hasil perhitungan kecepatan alir gas buang ditunjukkan pada Tabel J.19.

Tabel J.18 – Data penentuan kecepatan alir gas buang

No.	Parameter	Nilai
1	suhu absolut gas buang rata-rata (T_s)	433,4 K
2	tekanan atmosfer (P_a)	755 mmHg
3	massa molekul relatif gas buang basis basah (M_s)	28,31 g/gmol
4	konstanta *pitot tube* (K_p)	34,97
5	koefisien *pitot tube*	0,84

Tabel J.19 – Hasil perhitungan kecepatan alir gas buang

Titik lintas	ΔP_i (mmH_2O)	$P_a - P_s$ (mmH_2O)	P_s (mmHg)	$[T_s/(P_s \times M_s)]^{1/2}$	$K_p \times C_p \times [T_s/(P_s \times M_s)]^{1/2}$	$(\Delta P_i)^{1/2}$	υ_s m/detik
1	2,8	1	755,07	0,1424	4,18	1,67	7,00
2	3,0	1	755,07	0,1424	4,18	1,73	7,24
3	3,2	1	755,07	0,1424	4,18	1,79	7,48
4	3,0	1	755,07	0,1424	4,18	1,73	7,24
5	2,8	1	755,07	0,1424	4,18	1,67	7,00
6	2,8	1	755,07	0,1424	4,18	1,67	7,00
7	3,2	1	755,07	0,1424	4,18	1,79	7,48
8	3,0	1	755,07	0,1424	4,18	1,73	7,24
rerata	3,0	1	755,07	0,1424	4,18	1,72	7,21

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

J.2.5 Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri

Data hasil perhitungan penentuan diameter *nozzle* dan pengaturan kecepatan pompa ditunjukkan pada tabel J.20. Data pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan hasil perhitungan kadar partikulat ditunjukkan pada tabel J.21. Data hasil perhitungan persen isokinetik ditunjukkan pada tabel J.22.

Tabel J.20 – Data hasil perhitungan penentuan diameter *nozzle* dan pengaturan kecepatan pompa

No	Parameter	Satuan	Nilai	Keterangan
1	K_5		0,0006068	tetapan
2	Q_m	m^3/menit	0,02124	perhitungan
3	P_m	mmHg	755	pengukuran
4	T_m	K	310,38	pengukuran
5	C_p	-	0,84	didapat dari kalibrasi
6	T_s	K	433,4	pengukuran
7	P_s	mmHg	755,07	pengukuran
8	ΔP	mmH_2O	2,975	pengukuran
9	D^n	m	0,00967	*SQRT[{(8)(9)(10)}/{(11)(12)(1-(5))}xSQRT{{(13)(7))/{(14)(15)}}*
10	D_n	mm	9,7	*(16)x25.4 or (16)x 1000*
11	D_n-aktual	mm	9,3	diameter *nozzle* yang dipakai
12	Konstanta		0.000080380	
13	$\Delta H@$	mmH_2O	47,44	nilai kalibrasi
14	K		12,85	*$[(18)x(16)^4x(19)x(12)^2(1-(5))^2]x$ $[(6)x(11)x(14)]/[(7)x(13)x(10)]$*
15	$\Delta H = K (\Delta P)$	mmH_2O	38,2	

Tabel J.21 – Data pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik dan hasil perhitungan kadar partikulat

No.	Parameter	Hasil	Satuan
1	massa awal kertas saring	1,7942	g
2	massa akhir kertas saring	1,8064	g
3	massa partikulat dalam penampung 1 (W_{p1})	0,0122	g
4	massa awal cawan	64,0792	g
5	massa akhir cawan	64,0805	g
6	massa partikulat dalam penampung 2 (W_{p2})	0,0013	g
7	masa awal cawan blanko	64,0799	g
8	masa akhir cawan blanko	64,0801	g
9	massa partikulat dalam blanko lapangan (W_b)	0,0002	g
10	volume gas buang kering (V_n)	0,727	Nm^3
11	kadar partikulat (C_s)	18,3	mg/Nm^3
12	Oksigen terukur	18,1	%
13	Oksigen koreksi dari Peraturan	5	%
14	kadar partikulat (C_s) setelah di koreksi oksigen	102	mg/Nm^3

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel J.22 – Hasil perhitungan persen isokinetik

No.	Parameter	Hasil	Satuan
1	Total waktu pengambilan contoh uji (θ)	40,0	menit
2	Suhu *Dry Gas Meter* (T_m)	310,4	K
3	Tekanan atmosfer (P_a)	755	mmHg
4	Koefisien *Dry Gas Meter* (Y)	0,9951	-
5	Volume contoh uji gas (V_m)	0,763	m^3
6	Rata-rata delta H (ΔH)	39,0	mmH_2O
7	Volume gas kondisi normal (V_n)	0,7268	Nm^3
8	Jumlah uap air dalam botol penjerap	39,81	gram
9	Volume uap air (V_w)	0,0531	Nm^3
10	Fraksi volume uap air (Bws)	0,068	-
11	Kp	34,97	-
12	Cp	0,84	-
13	suhu cerobong (Ts)	433,4	K
14	Pbar - Ps,	0,07	mmHg
15	Tekanan absolut cerobong (Ps)	755,074	mmHg
16	M_d	29,06	g/gmole
17	M_s	28,3	g/gmole
18	Rerata delta P (ΔP)	3,0	mmH^2O
19	Kecepatan alir gas (v)	7,2	m/detik
20	Diameter *Nozzle* (Dn)	9,3	mm
21	Luas area *Nozzle* (An)	$6,78947 \times 10^{-5}$	m^2
22	% Isokinetik dari data antara (I)	99	%
23	K_4	0,003454	-
24	% Isokinetik dari data mentah (I)	97	%

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Bibliografi

[1] *Code of federal Regulation 40 part 60, Standards of Performance for New Stationary Sources*.

[2] *JIS* Z 8808:2013, *Methods of Measuring Dust Concentration in Flue Gas.*

[3] *JIS Handbook Environmental Technology, B 7983 (1995).*

[4] Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. KEP-205/BAPEDAL/07/1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak.

[5] Perry, Robert H dan Don W. Green. 1986. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. *McGraw Hill Profesional. USA*.

[6] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.15/Menlhk/Setjen/Kum.1/4/2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Tenaga Listrik Termal

[7] *US EPA Method* 1, *Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources*.

[8] *US EPA Method* 2, *Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube).*

[9] *US EPA Method* 3, *Gas Analysis for the Determination of Dry Molecular Weight.*

[10] *US EPA Method* 4, *Determination of Moisture Content in Stack Gases*.

[11] *US EPA Method* 5, *Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources*.

[12] *US EPA Method* 17, *Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources*.

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Informasi perumus SNI 7117-21:2020

[1] Komite Teknis Perumusan SNI
Komite Teknis 13-03 Kualitas Lingkungan

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis Perumusan SNI
Ketua : Noer Adi Wardojo
Sekretaris : Diah Wati Agustayani
Anggota :
1. Ardeniswan
2. Henggar Hardiani
3. Muhamad Farid Sidik
4. M. S. Belgientie TRO
5. Noor Rachmaniah
6. Oges Susetio
7. Rina Aprishanty
8. Sri Bimo Andy
9. Sunardi
10. Toto Wiradisastra
11. Yuli Purwanto

[3] Konseptor Rancangan SNI
1. Ricky Nelson
2. Bambang Hindratmo
3. Retno Puji Lestari

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis Perumusan SNI
Pusat Standardisasi Lingkungan dan Kehutanan, Sekretariat Jenderal Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional. Copy standar ini dibuat untuk kegiatan perumusan SNI.
Penanggung jawab dokumen: Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan