

RSNI3

RSNI3 ISO 14687:2019
(Ditetapkan oleh BSN tahun 2024)

Rancangan Standar Nasional Indonesia3

Kualitas bahan bakar hidrogen – Spesifikasi produk

(ISO 14687:2019, IDT)

Pengguna dari RSNI ini diminta untuk menginformasikan adanya hak paten dalam dokumen ini, bila diketahui tanpa memberi informasi pendukung lainnya (pemilik paten: bagian yang terkena paten, alamat pemberi paten dan lain-lain)

Daftar isi

Daftar isi	I
Prakata	II
Pendahuluan	III
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Klasifikasi dan aplikasi	3
4.1 Klasifikasi.....	3
4.2 Aplikasi	3
5 Persyaratan kualitas hidrogen untuk aplikasi sel bahan bakar PEM kendaraan jalan raya	4
5.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar	4
5.2 Metode analisis	5
5.3 Sampling.....	5
5.4 Kontrol kualitas hidrogen.....	5
6 Hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen, persyaratan kualitas untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner.....	6
6.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar	6
6.2 Verifikasi kualitas	7
6.3 Sampling.....	8
7 Persyaratan kualitas hidrogen untuk aplikasi selain sel bahan bakar PEM kendaraan jalan raya dan aplikasi stasioner.....	8
7.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar	8
7.2 Verifikasi kualitas	10
7.3 Sampling.....	10
Lampiran A (informatif) Panduan pemilihan titik batas untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner.....	11
Lampiran B (informatif) Rasio untuk pemilihan impuritas hidrogen yang akan diukur untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner.....	14
Lampiran C (informatif) Adsorpsi ayun tekanan dan aplikabilitas co sebagai indikator untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner.....	16
Bibliografi.....	17

Prakata

SNI ISO 14687:2019, *Kualitas bahan bakar hidrogen – Spesifikasi produk*, merupakan standar baru yang disusun dengan jalur adopsi tingkat keselarasan identik dari ISO 14687:2019, *Hydrogen fuel quality – Product specification*, dengan metode adopsi terjemahan satu bahasa dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2024.

SNI ini disusun untuk menjadi acuan rancangan minimum spesifikasi produk dari kualitas bahan bakar hidrogen.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 27-11, Teknologi Hidrogen. Standar ini telah dibahas melalui rapat teknis dan disepakati dalam rapat konsensus pada tanggal 19 Juli 2024 di Bandung, yang 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 1 Agustus 2024 sampai dengan 15 Agustus 2024 dengan hasil akhir disetujui **menjadi SNI**.

Apabila pengguna menemukan keraguan dalam Standar ini, maka disarankan untuk melihat standar aslinya, yaitu ISO 14687:2019, dan/atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari Standar ini dapat berupa hak kekayaan intelektual. Namun selama proses perumusan SNI, Badan Standardisasi Nasional telah memperhatikan penyelesaian terhadap kemungkinan adanya hak kekayaan intelektual terkait substansi SNI. Apabila setelah penetapan SNI masih terdapat permasalahan terkait hak kekayaan intelektual, Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab mengenai bukti, validitas, dan ruang lingkup dari hak kekayaan intelektual tersebut.

Pendahuluan

Seperti yang telah disebutkan dalam prakata, standar ini merupakan kombinasi dari tiga standar sebelumnya untuk spesifikasi bahan bakar hidrogen, ISO 14687-1, ISO 14687-2, dan ISO 14687-3, yang menggabungkan revisi-revisinya secara bersamaan.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi sel bahan bakar membran penukar proton (*Proton Exchange Membrane/PEM*) telah menunjukkan perkembangan yang luar biasa seperti pengurangan penggunaan platina (Pt), membran elektrolit yang tipis, operasi dengan kepadatan arus tinggi, dan operasi pada humiditas rendah. Dengan perkembangan ini, penting untuk mempertimbangkan kembali toleransi impuritas hidrogen untuk sel bahan bakar PEM yang sebelumnya ditentukan dalam ISO 14687-2 dan ISO 14687-3.

Oleh karena itu, standar ini sebagian besar telah direvisi berdasarkan penelitian dan pengembangan sel bahan bakar PEM yang berfokus pada hal-hal berikut ini ^{[1], [3], to [15]}:

- katalis sel bahan bakar PEM dan toleransi sel bahan bakar terhadap impuritas bahan bakar hidrogen;
- efek/mekanisme impuritas pada sistem daya dan komponen sel bahan bakar;
- teknik deteksi dan pengukuran impuritas untuk laboratorium, produksi, dan operasi di lapangan;
- hasil demonstrasi sel bahan bakar kendaraan dan sel bahan bakar stasioner.

Kelas D dan kelas E dalam standar ini dimaksudkan untuk diterapkan pada sel bahan bakar PEM untuk kendaraan dan peralatan stasioner. Hal ini bertujuan untuk memfasilitasi penyediaan hidrogen dengan kualitas yang dapat diandalkan yang seimbang dengan biaya lebih rendah yang dapat diterima untuk suplai bahan bakar hidrogen.

Standar ini mencerminkan kondisi terkini pada tanggal penerbitannya, tetapi karena persyaratan kualitas untuk aplikasi teknologi hidrogen berkembang dengan cepat, standar ini mungkin perlu direvisi lebih lanjut di masa mendatang sesuai dengan kemajuan teknologi.

Kualitas bahan bakar hidrogen – Spesifikasi produk

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan karakteristik kualitas minimum bahan bakar hidrogen yang didistribusikan untuk digunakan dalam aplikasi pada kendaraan dan stasioner.

Hal ini dapat diterapkan pada aplikasi pengisian bahan bakar hidrogen, yang tercantum dalam Tabel 1.

2 Acuan normatif

Dokumen-dokumen berikut ini dirujuk dalam teks sedemikian rupa sehingga sebagian atau seluruh isinya merupakan persyaratan dari standar ini. Untuk acuan bertanggal, hanya edisi yang dikutip yang berlaku. Untuk acuan tidak bertanggal, berlaku edisi terbaru dari dokumen yang dirujuk (termasuk amendemennya).

ISO 19880-8, *Gaseous Hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel Quality Control*

ISO 21087, *Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel — Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles*

3 Istilah dan definisi

Untuk keperluan standar ini, istilah dan definisi berikut ini berlaku.

ISO dan IEC memelihara basis data terminologi untuk digunakan dalam standardisasi di alamat berikut:

- Layanan penjelajahan daring ISO: tersedia di <http://www.iso.org/obp>
- IEC *Electropedia*: tersedia di <http://www.electropedia.org/>

3.1

titik batas

<sel bahan bakar (3.7) PEM untuk aplikasi stasioner> titik antara *peralatan suplai bahan bakar hidrogen* (3.13) dan *sistem daya sel bahan bakar PEM* (3.9) yang karakteristik kualitas bahan bakar hidrogen harus ditentukan

3.2

konstituen

komponen (atau senyawa) yang ditemukan dalam campuran bahan bakar hidrogen

3.3

kontaminan

impuritas yang berdampak buruk pada komponen dalam *sistem sel bahan bakar* (3.8), *sistem daya sel bahan bakar* (3.9) atau sistem penyimpanan hidrogen

Catatan 1 untuk entri: Sebuah efek merugikan dapat reversibel atau tidak reversibel.

3.4

pelanggan

<sel bahan bakar (3.7) PEM untuk aplikasi stasioner> pihak yang bertanggung jawab untuk

mendapatkan bahan bakar hidrogen untuk mengoperasikan *sistem daya sel bahan bakar* (3.9)

3.5

batas deteksi

kuantitas terendah dari suatu zat yang dapat dibedakan dari ketiadaan zat tersebut dengan batas kepercayaan yang dinyatakan

3.6

batas determinasi

kuantitas terendah yang dapat diukur pada tingkat ketidakpastian tertentu yang dapat diterima

3.7

sel bahan bakar

perangkat elektrokimia yang mengonversi energi kimia suatu bahan bakar dan oksidan menjadi energi listrik (daya DC), kalor, dan produk reaksi lainnya

3.8

sistem sel bahan bakar

<*sel bahan bakar* (3.7) PEM untuk aplikasi kendaraan> sistem daya yang digunakan untuk pembangkitan listrik pada kendaraan sel bahan bakar

Catatan 1 untuk entri: Sistem sel bahan bakar umumnya terdiri dari subsistem berikut ini: tumpukan sel bahan bakar, pemrosesan udara, pemrosesan bahan bakar, manajemen termal, dan manajemen air.

3.9

sistem daya sel bahan bakar

<*sel bahan bakar* (3.7) PEM untuk aplikasi stasioner> rakitan sel bahan bakar mandiri yang digunakan untuk pembangkitan listrik yang dipasang di suatu tempat di lokasi tertentu

Catatan 1 untuk entri: Sistem daya sel bahan bakar umumnya terdiri dari subsistem berikut: tumpukan sel bahan bakar, pemrosesan udara, manajemen termal, manajemen air, dan sistem kontrol otomatis. Sistem ini digunakan dalam aplikasi seperti: pembangkitan listrik tersebar, pembangkitan listrik cadangan, pembangkitan listrik terpencil, kogenerasi pembangkitan listrik dan kalor untuk aplikasi perumahan dan komersial.

Catatan 2 untuk entri: Untuk keperluan aplikasi, sistem daya sel bahan bakar tidak mengandung sistem pemrosesan bahan bakar karena lokasi *titik batas* (3.1).

3.10

gas hidrogen

hidrogen dalam bentuk gas, dimurnikan hingga fraksi mol minimum seperti ditentukan dalam tabel dalam standar ini

3.11

bahan bakar berbasis hidrogen

<*sel bahan bakar* (3.7) PEM untuk aplikasi stasioner> gas yang mengandung konsentrasi hidrogen seperti yang ditentukan pada tabel dalam standar ini yang digunakan untuk sel bahan bakar PEM untuk aplikasi stasioner.

3.12

indeks bahan bakar hidrogen

fraksi mol campuran bahan bakar yang mengandung hidrogen

3.13**peralatan suplai bahan bakar hidrogen**

peralatan yang digunakan untuk transportasi atau pembangkitan bahan bakar hidrogen di tempat, dan selanjutnya untuk pengiriman ke *sistem daya sel bahan bakar* (3.9), termasuk penyimpanan tambahan, penguapan, dan pengaturan tekanan yang sesuai

3.14**efek tidak reversibel**

efek yang mengakibatkan degradasi kinerja permanen *sistem sel bahan bakar* (3.8) atau *sistem daya sel bahan bakar* (3.9) yang tidak dapat dipulihkan dengan perubahan praktis dari kondisi operasional dan/atau komposisi gas

3.15**hidrogen cair**

hidrogen yang telah dicairkan, yaitu diubah menjadi fasa cair

3.16**partikulat**

padatan atau cairan seperti kabut minyak yang dapat terperangkap di suatu tempat dalam produksi, pengiriman, penyimpanan, atau transfer bahan bakar hidrogen ke *sistem sel bahan bakar* (3.8) atau *sistem daya sel bahan bakar* (3.9)

3.17**efek reversibel**

efek, yang mengakibatkan degradasi kinerja sementara *sistem sel bahan bakar* (3.8) atau *sistem daya sel bahan bakar* (3.9) yang dapat dipulihkan dengan perubahan praktis kondisi operasional dan/atau komposisi gas

3.18**hidrogen slush**

hidrogen yang merupakan campuran padat dan cair pada temperatur eutektik (titik tripel)

3.19**integrator sistem**

<*sel bahan bakar* (3.7) PEM untuk aplikasi stasioner> integrator peralatan antara *sistem daya sel bahan bakar* (3.9) PEM dan suplai hidrogen

4 Klasifikasi dan aplikasi**4.1 Klasifikasi**

Bahan bakar hidrogen harus diklasifikasikan menurut peruntukan tipe dan kelas berikut:

- a) Tipe I (kelas A, B, C, D, dan E): gas hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen.
- b) Tipe II (kelas C dan D): hidrogen cair.
- c) Tipe III: hidrogen *slush*

4.2 Aplikasi

Tabel 1 mencirikan aplikasi representatif dari setiap tipe dan kelas bahan bakar hidrogen.

Tabel 1 — Klasifikasi hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen berdasarkan aplikasinya

Tipe	Kelas	Kategori	Aplikasi	Pasal
I Gas	A	—	Gas hidrogen; mesin pembakaran internal untuk transportasi; peralatan pembakaran residensial/komersial (misalnya ketel, kompor, dan aplikasi serupa)	7
	B	—	Gas hidrogen; bahan bakar industri untuk pembangkitan listrik dan pembangkitan kalor kecuali aplikasi sel bahan bakar PEM	7
	C	—	Gas hidrogen; sistem pendukung darat pada pesawat terbang dan kendaraan antariksa kecuali aplikasi sel bahan bakar PEM	7
	D ^{a,b}	—	Gas hidrogen; sel bahan bakar PEM untuk kendaraan jalan raya	5
	E	Sel bahan bakar PEM untuk peralatan stasioner		
1		Bahan bakar berbasis hidrogen; aplikasi efisiensi tinggi/daya rendah		
2		Bahan bakar berbasis hidrogen; aplikasi daya tinggi		
3	Gas hidrogen; aplikasi daya tinggi/efisiensi tinggi			
II Cair	C	—	Propulsi <i>on-board</i> pesawat terbang dan kendaraan antariksa dan persyaratan energi listrik; kendaraan <i>off-road</i>	7
	D ^{a,b}	—	Sel bahan bakar PEM untuk kendaraan jalan raya	5
III Slush	—	—	Propulsi <i>on-board</i> pesawat terbang dan kendaraan antariksa	7
^a Kelas D dapat digunakan untuk aplikasi sel bahan bakar lainnya untuk transportasi termasuk forklif dan truk industri lainnya bila disetujui sebelumnya antara pemasok dan pelanggan. ^b Kelas D dapat digunakan untuk peralatan sel bahan bakar PEM stasioner, alternatif untuk kelas E kategori 3.				

CATATAN Sumber hidrogen biologis dapat mengandung konstituen tambahan (misalnya siloksana atau merkuri) yang dapat memengaruhi kinerja berbagai aplikasi, khususnya sel bahan bakar PEM. Namun, hal ini tidak disertakan dalam sebagian besar spesifikasi berikut ini karena kurangnya informasi.

5 Persyaratan kualitas hidrogen untuk aplikasi sel bahan bakar PEM kendaraan jalan raya

5.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar

Kualitas hidrogen pada nozel dispenser untuk hidrogen kelas D (lihat Tabel 1) harus memenuhi persyaratan pada Tabel 2. Spesifikasi bahan bakar tidak bergantung pada proses atau spesifik dengan bahan baku. Kontaminan yang tidak terdaftar tidak memiliki jaminan tidak berbahaya.

CATATAN ISO 19880-8:2019, Lampiran A menyediakan alasan pemilihan impuritas yang ditentukan dalam Tabel 2.

Tabel 2 — Spesifikasi kualitas bahan bakar untuk aplikasi sel bahan bakar PEM kendaraan

Konstituen ^a (<i>assay</i>)	Tipe I, Tipe II kelas D
Indeks bahan bakar hidrogen (fraksi mol minimum) ^b	99,97%
Total gas nonhidrogen (maksimum)	300 µmol/mol
Konsentrasi maksimum dari kontaminan individual	
Air (H ₂ O)	5 µmol/mol

Tabel 2 (lanjutan)

Konstituen ^a (assay)	Type I, Type II kelas D
Total hidrokarbon kecuali metana ^c (ekuivalen C1)	2 µmol/mol
Metana (CH ₄)	100 µmol/mol
Oksigen (O ₂)	5 µmol/mol
Helium (He)	300 µmol/mol
Nitrogen (N ₂)	300 µmol/mol
Argon (Ar)	300 µmol/mol
Karbon dioksida (CO ₂)	2 µmol/mol
Karbon monoksida (CO) ^d	0,2 µmol/mol
Total senyawa sulfur ^e (ekuivalen S1)	0,004 µmol/mol
Formaldehida (HCHO) ^d	0,2 µmol/mol
Asam format (HCOOH) ^d	0,2 µmol/mol
Amonia (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Senyawa berhalogen ^f (ekuivalen ion halogen)	0,05 µmol/mol
Konsentrasi partikulat maksimum ^g	1 mg/kg

^a Untuk konstituen yang bersifat aditif, seperti total hidrokarbon dan total senyawa sulfur, jumlah konstituen tersebut harus kurang dari atau sama dengan batas yang dapat diterima.

^b Indeks bahan bakar hidrogen ditentukan dengan mengurangi "total gas nonhidrogen" dalam tabel ini, yang dinyatakan dalam persen mol, dari 100 persen mol.

^c Total hidrokarbon kecuali metana termasuk spesies organik beroksigen. Total hidrokarbon selain metana harus diukur dengan ekuivalen C1 (µmol/mol).

^d Jumlah CO, HCHO, dan HCOOH terukur tidak boleh melebihi 0,2 µmol/mol.

^e Minimum, total senyawa sulfur termasuk H₂S, COS, CS₂ dan merkaptan yang umumnya ditemukan pada gas alam.

^f Semua senyawa berhalogen yang berpotensi berada dalam gas hidrogen [(misalnya hidrogen klorida (HCl) dan klorida organik (R-Cl)] sebaiknya ditentukan oleh rencana kontrol kualitas hidrogen yang dibahas di ISO 19880-8. Senyawa berhalogen harus diukur dengan ekuivalen ion halogen (µmol/mol).

^g Partikulat meliputi partikulat padat dan cair yang terdiri dari kabut minyak. Partikulat besar dapat menyebabkan masalah pada komponen kendaraan dan sebaiknya dibatasi menggunakan filter seperti yang ditentukan dalam ISO 19880-1. Tidak boleh ada minyak yang terlihat pada bahan bakar di nozel.

5.2 Metode analisis

Metode analisis untuk mengukur konstituen dalam Tabel 2 harus memenuhi persyaratan ISO 21087.

5.3 Sampling

Panduan mengenai metode sampling untuk stasiun pengisian bahan bakar gas hidrogen tersedia di ISO 19880-1.

5.4 Kontrol kualitas hidrogen

Cara untuk memastikan bahwa kualitas hidrogen memenuhi spesifikasi pada 5.1 harus didasarkan pada ISO 19880-8.

6 Hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen, persyaratan kualitas untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner

6.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar

Kualitas hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen, yang disuplai ke peralatan sel bahan bakar PEM stasioner, harus memenuhi persyaratan Tabel 3 pada titik batas yang ditetapkan antara peralatan suplai bahan bakar hidrogen dan sistem daya sel bahan bakar PEM.

CATATAN 1 Lampiran A memberikan panduan untuk pemilihan titik batas.

CATATAN 2 Lampiran B memberikan rasional untuk pemilihan impuritas yang ditentukan dalam Tabel 3.

Tergantung pada persyaratan yang ditentukan oleh pemasok, hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen tipe I kelas E untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner menentukan subkategori berikut ini untuk memenuhi kebutuhan aplikasi stasioner yang berbeda:

- Tipe I, kelas E, kategori 1 (bahan bakar berbasis hidrogen; efisiensi tinggi/aplikasi berdaya rendah).
- Tipe I, kelas E, kategori 2 (bahan bakar berbasis hidrogen, aplikasi berdaya tinggi).
- Tipe I, kelas E, kategori 3 (gas hidrogen; aplikasi berdaya tinggi/efisiensi tinggi).

Tabel 3 — Spesifikasi kualitas bahan bakar untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner

Konstituen ^a (assay)	Tipe I, kelas E		
	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Indeks bahan bakar hidrogen ^b (fraksi mol minimum)	50%	50%	99,9%
Total gas nonhidrogen (fraksi mol maksimum)	50%	50%	0,1%
Air (H ₂ O) ^c	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang
Konsentrasi maksimum kontaminan individual ^d			
Total hidrokarbon selain metana ^e (ekuivalen C ₁)	10 µmol/mol	2 µmol/mol	2 µmol/mol
Metana (CH ₄)	5%	1%	100 µmol/mol
Oksigen (O ₂)	200 µmol/mol	200 µmol/mol	50 µmol/mol
Jumlah nitrogen (N ₂), argon (Ar), helium (He) (fraksi mol)	50%	50%	0,1%
Karbon dioksida (CO ₂)	Termasuk dalam total gas nonhidrogen	Termasuk dalam total gas nonhidrogen	2 µmol/mol
Karbon monoksida (CO)	10 µmol/mol	10 µmol/mol	0,2 µmol/mol ^f
Total senyawa sulfur ^g (ekuivalen S1)	0,004 µmol/mol	0,004 µmol/mol	0,004 µmol/mol
Formaldehida (HCHO)	3,0 µmol/mol	0,2 µmol/mol	0,2 µmol/mol ^f
Asam format (HCOOH)	10 µmol/mol	0,2 µmol/mol	0,2 µmol/mol ^f

Tabel 3 (lanjutan)

Konstituen ^a (assay)	Tipe I, kelas E		
	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Amonia (NH ₃)	0,1 µmol/mol	0,1 µmol/mol	0,1 µmol/mol
Senyawa berhalogen ^h (ekuivalen ion halogen)	0,05 µmol/mol	0,05 µmol/mol	0,05 µmol/mol
Konsentrasi partikulat maksimum	1 mg/kg	1 mg/kg	1 mg/kg
Diameter partikel maksimum	75 µm	75 µm	75 µm
<p>^a Untuk konstituen yang bersifat aditif, seperti total hidrokarbon dan total senyawa sulfur, jumlah konstituen tersebut harus kurang dari atau sama dengan batas yang dapat diterima.</p> <p>^b Indeks bahan bakar hidrogen ditentukan dengan mengurangi "total gas nonhidrogen" dalam tabel ini, yang dinyatakan dalam persen mol, dari 100 persen mol.</p> <p>^c Setiap lokasi harus dievaluasi untuk menentukan kadar air maksimum yang sesuai berdasarkan perkiraan temperatur lingkungan terendah dan perkiraan tekanan penyimpanan tertinggi.</p> <p>^d Konsentrasi maksimum dari impuritas terhadap kandungan gas total harus ditentukan menggunakan basis kering.</p> <p>^e Total hidrokarbon kecuali metana termasuk spesies organik beroksigen. Total hidrokarbon selain metana harus diukur dengan ekuivalen C1 (µmolC/mol).</p> <p>^f Jumlah CO, HCHO, dan HCOOH terukur tidak boleh melebihi 0,2 µmol/mol.</p> <p>^g Minimum, total senyawa sulfur termasuk H₂S, COS, CS₂ dan merkaptan yang umumnya ditemukan pada gas alam.</p> <p>^h Senyawa berhalogen termasuk, misalnya, hidrogen klorida (HCl) dan klorida organik (R-Cl). Senyawa berhalogen harus diukur dengan ekuivalen ion halogen (µmol/mol).</p>			

6.2 Verifikasi kualitas

6.2.1 Persyaratan umum

Persyaratan verifikasi kualitas harus ditentukan pada titik batas dengan menggunakan metode sampling yang ditentukan pada 6.3.

Pemilihan kontaminan bahan bakar yang relevan untuk analisis seperti yang ditentukan dalam Tabel 3 sebaiknya dilakukan berdasarkan metode produksi hidrogen.

Semua analisis yang dilakukan berdasarkan standar ini harus dilakukan dengan menggunakan standar kalibrasi gas (atau perangkat kalibrasi lainnya) yang dapat ditelusuri ke Sistem Satuan Internasional (SI) melalui standar nasional, jika standar tersebut tersedia.

CATATAN ISO 21087 menyediakan panduan untuk metode analisis.

6.2.2 Persyaratan analisis dari uji kualifikasi

Frekuensi pengujian dan persyaratan analisis untuk uji kualifikasi harus ditentukan berdasarkan kesepakatan antara pemasok dan pelanggan. Pertimbangan harus diberikan pada konsistensi suplai hidrogen dalam menentukan frekuensi pengujian dan konstituen yang akan diuji.

CATATAN Lampiran C memberikan praktik yang direkomendasikan dari jaminan kualitas untuk proses produksi hidrogen *steam methane reforming* (SMR) yang menggunakan pemurnian dengan adsorpsi ayun tekanan (*pressure swing adsorption*, PSA).

6.2.3 Hasil laporan

Batas deteksi dan batas determinasi untuk metode dan instrumen analisis yang digunakan

harus dilaporkan bersamaan dengan hasil dari setiap pengujian dan tanggal pengambilan sampel.

6.3 Sampling

6.3.1 Ukuran sampel

Bila dimungkinkan, kuantitas hidrogen dalam satu wadah sampel sebaiknya cukup untuk dilakukan analisis untuk spesifikasi kualitas bahan bakar hidrogen. Jika satu sampel tidak mengandung jumlah hidrogen yang cukup untuk melakukan semua analisis yang diperlukan untuk menilai tingkat kualitas, sampel tambahan dari lot yang sama harus diambil dalam kondisi yang mirip. Sampel banyak atau sampel dengan tekanan yang lebih besar, jika diperlukan, boleh disyaratkan jika beberapa pengujian akan dilakukan.

6.3.2 Pemilihan titik sampling

Titik batas harus ditetapkan sehingga sampel gas dapat mewakili suplai hidrogen ke sistem daya sel bahan bakar PEM.

CATATAN Lampiran A memberikan panduan untuk membantu identifikasi pihak yang bertanggung jawab atas kualitas hidrogen pada titik batas dan juga pemilihan titik batas.

6.3.3 Prosedur sampling

Sampel gas hidrogen harus mewakili suplai hidrogen, ditarik dari titik batas melalui sambungan yang sesuai ke dalam wadah sampel dengan ukuran yang sesuai. Tidak boleh ada kontaminasi bahan bakar hidrogen yang masuk antara titik batas dan wadah sampel (*purge valve* yang sesuai dapat digunakan).

Gas residu di dalam wadah sampel harus dievakuasi untuk memastikan bahwa sampel hidrogen tidak terkontaminasi. Jika evakuasi tidak memungkinkan, wadah sampel harus dibersihkan dengan menggunakan siklus pembilasan berulang.

Gas yang diambil sampelnya adalah gas mudah terbakar. Upaya harus diambil untuk menghindari situasi berbahaya. Panduan diberikan pada ISO/TR 15916.

6.3.4 Partikulat dalam gas hidrogen

Partikulat dalam hidrogen harus diambil sampelnya dari titik batas, dengan menggunakan filter, jika memungkinkan, di bawah kondisi yang sama (tekanan dan laju aliran) seperti yang digunakan pada kondisi suplai hidrogen yang sebenarnya. Upaya-upaya yang tepat harus diambil agar gas sampel tidak terkontaminasi oleh partikulat yang berasal dari perangkat sambungan dan/atau udara sekitar.

7 Persyaratan kualitas hidrogen untuk aplikasi selain sel bahan bakar PEM kendaraan jalan raya dan aplikasi stasioner

7.1 Spesifikasi kualitas bahan bakar

Kualitas hidrogen yang disuplai ke spesifikasi contoh untuk aplikasi selain sel bahan bakar PEM kendaraan dan aplikasi stasioner harus memenuhi persyaratan Tabel 4. Bagian kosong menunjukkan tidak ada karakteristik pembatas maksimum. Tidak adanya karakteristik pembatas maksimum dalam tingkat kualitas yang tercantum tidak menyiratkan bahwa komponen tersebut ada atau tidak ada, tetapi hanya menunjukkan bahwa tidak ada batasan terkait komponen ini untuk memenuhi standar ini.

CATATAN Spesifikasi lain dapat sesuai untuk aplikasi-aplikasi ini.

Tabel 4 — Spesifikasi kualitas bahan bakar untuk aplikasi selain sel bahan bakar PEM kendaraan jalan raya dan aplikasi stasioner

Konstituen (<i>assay</i>)	Tipe I			Tipe II	Tipe III
	Kelas A	Kelas B	Kelas C	Kelas C	
Indeks bahan bakar hidrogen ^a (fraksi mol minimum, %)	98,0%	99,90%	99,995%	99,995%	99,995%
Parahidrogen (fraksi mol minimum, %)	NS	NS	NS	95,0%	95,0%
Impuritas (konten maksimum)					
Gas total	20.000 μmol/mol	1.000 μmol/mol	50 μmol/mol	50 μmol/mol	
Air (H ₂ O) (fraksi mol, %)	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang	c	c	
Hidrokarbon total	100 μmol/mol	Tidak terkondensasi pada kondisi lingkungan sekitar sebarang	c	c	
Oksigen (O ₂)	b	100 μmol/mol	d	d	
Argon (Ar)	b		d	d	
Nitrogen (N ₂)	b	400 μmol/mol	c	c	
Helium (He)			39 μmol/mol	39 μmol/mol	
Karbon dioksida (CO ₂)			e	e	
Karbon monoksida (CO)	1 μmol/mol		e	e	
Merkuri (Hg)		0,004 μmol/mol			
Sulfur (S)	2,0 μmol/mol	10 μmol/mol			
Partikulat permanen	g	f	f	f	
Densitas					f

Keterangan

NS: Tidak ditentukan (*not specified*)

^a Indeks bahan bakar hidrogen ditentukan dengan mengurangi “total gas nonhidrogen” yang dinyatakan dalam persen mol, dari 100 persen mol.

^b Gabungan air, oksigen, nitrogen, dan argon: fraksi mol maksimum 1,9% (19.000 μmol/mol)

^c Gabungan nitrogen, air, dan hidrokarbon: maksimum 9 μmol/mol.

^d Gabungan oksigen dan argon: maksimum 1 μmol/mol.

^e Total CO₂ dan CO: maksimum 1 μmol/mol.

^f Untuk disepakati antara pemasok dan pelanggan.

^g Hidrogen tidak boleh mengandung debu, pasir, kotoran, *gums*, minyak, atau zat lain dalam jumlah yang cukup untuk merusak peralatan stasiun pengisian bahan bakar dimaksud atau kendaraan (mesin) yang sedang diisi bahan bakar.

7.2 Verifikasi kualitas

7.2.1 Persyaratan umum

Pemasok harus memastikan, dengan praktik standar, verifikasi tingkat kualitas hidrogen. Prosedur sampling dan kontrol dijelaskan pada 7.3.

CATATAN ISO 21087 dapat digunakan sebagai panduan untuk protokol validasi metode analisis kontaminan pada Tabel 4.

7.2.2 Uji kualifikasi produksi

Uji kualifikasi produksi adalah analisis tunggal atau rangkaian analisis yang harus dilakukan pada produk untuk memastikan keandalan fasilitas produksi dalam menyuplai hidrogen dengan tingkat kualitas yang diperlukan. Kualifikasi produksi ini dapat dicapai dengan memverifikasi catatan analisis produk dari pemasok, atau, jika diperlukan, dengan melakukan analisis sampel representatif produk dari fasilitas pada interval yang sesuai sebagaimana disepakati antara pemasok dan pelanggan. Uji kualifikasi produk dapat dilakukan oleh pemasok atau oleh laboratorium yang disepakati pemasok dan pelanggan.

7.3 Sampling

7.3.1 Ukuran sampel

Kuantitas hidrogen dalam satu wadah sampel harus cukup untuk dilakukan analisis untuk spesifikasi kualitas bahan bakar hidrogen. Jika satu sampel tidak mengandung jumlah hidrogen yang cukup untuk melakukan semua analisis yang diperlukan untuk menilai tingkat kualitas, sampel tambahan dari lot yang sama harus diambil dalam kondisi yang serupa.

7.3.2 Sampel gas

Sampel gas harus merepresentasikan suplai hidrogen. Sampel harus diperoleh dengan menggunakan salah satu dari prosedur berikut:

- a) Isi wadah sampel dan wadah pengiriman pada waktu yang bersamaan, *manifold* yang sama, dan cara yang sama.
- b) Ambil sampel dari wadah suplai melalui sambungan yang sesuai ke dalam wadah sampel. Untuk alasan keselamatan, wadah sampel dan sistem pengambilan sampel harus memiliki tekanan servis terukur yang setidaknya sama dengan tekanan pada wadah suplai.
- c) Hubungkan wadah yang sedang diambil sampelnya langsung ke peralatan analisis dengan menggunakan regulator tekanan yang sesuai untuk mencegah pemberian tekanan berlebih ke peralatan ini.
- d) Pilih wadah yang representatif dari wadah yang terisi di lot.

7.3.3 Sampel cairan (teruapkan)

Sampel cairan yang teruapkan harus mewakili suplai hidrogen cair. Sampel harus diperoleh menggunakan salah satu prosedur berikut:

- a) dengan menguapkan hidrogen cair dari wadah suplai, di jalur sampling;
- b) dengan mengalirkan hidrogen cair dari wadah suplai ke dalam atau melalui wadah yang sesuai sebagai tempat sampel representatif dikumpulkan dan kemudian diuapkan.

Lampiran A (informatif)

Panduan pemilihan titik batas untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner

A.1 Tujuan

Panduan berikut ini disediakan untuk membantu dalam identifikasi titik batas dan siapa yang bertanggung jawab atas kualitas hidrogen di titik batas.

A.2 Panduan produksi hidrogen

Hidrogen, dan bahan bakar berbasis hidrogen, dapat diproduksi dengan beberapa cara, termasuk *reformation* dari bahan bakar fosil atau hidrokarbon lainnya, elektrolisis air murni atau air alkali, dan berbagai metode biologis. Hidrogen, dan bahan bakar berbasis hidrogen, dapat dihasilkan *on-site*, umumnya dalam jumlah yang relatif kecil, atau dalam sistem produksi skala yang lebih besar *off-site*, kemudian diangkut dengan diberi tekanan atau sebagai cairan ke titik penggunaan.

A.3 Identifikasi pihak yang bertanggung jawab atas kualitas hidrogen di titik sampling

Diketahui bahwa penyediaan hidrogen untuk sistem daya sel bahan bakar dapat melibatkan banyak pihak.

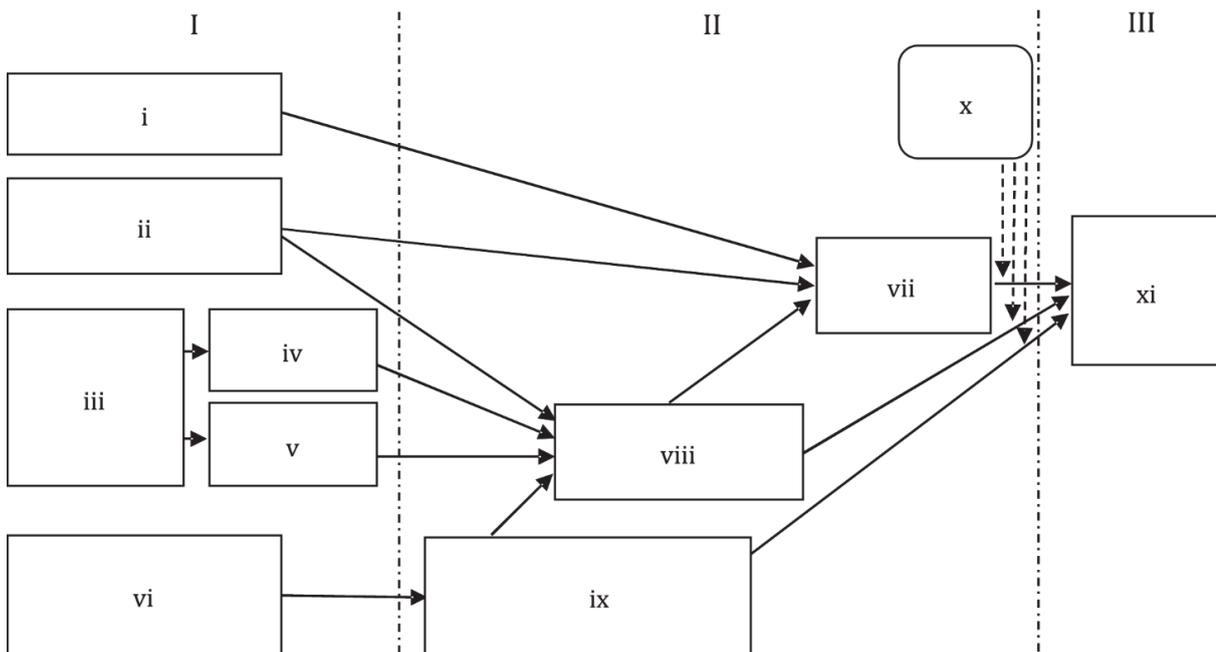
Teks dan gambar berikut ini memberikan contoh untuk tujuan informasi, tetapi tidak dimaksudkan untuk komprehensif. Sistem penyaluran hidrogen yang menggunakan peralatan atau bahan baku hidrogen yang berbeda sebaiknya menggunakan contoh-contoh ini sebagai dasar untuk menentukan tanggung jawab atas kualitas hidrogen di titik batas dan, jika perlu, titik pengambilan sampel tambahan.

Berikut ini adalah contoh pihak-pihak yang terlibat dan bertanggung jawab atas suplai hidrogen:

- pemasok gas hidrogen (misalnya, silinder, bundel, atau trailer tabung);
- pemasok hidrogen cair;
- hidrogen via distributor pipa;
- pabrikan *reformer*;
- pabrikan *electrolyser*.

Tergantung pada bentuk suplai hidrogen, boleh ada persyaratan bagi integrator sistem untuk menyediakan peralatan antara sumber hidrogen dan saluran masuk ke sistem daya sel bahan bakar. Peralatan tersebut dapat terdiri dari, sebagaimana berlaku, berikut ini yang ditunjukkan pada Gambar A.1:

- regulator tekanan;
- penyimpanan hidrogen cair, pompa kriogenik, dan *vaporizers*;
- penyimpanan bufer gas hidrogen;
- *manifold* tambahan dari sumber hidrogen ke saluran masuk sistem daya sel bahan bakar.



Keterangan

- | | | | | | |
|------|--|----|--|-----|-----------------------------|
| I | suplai hidrogen | II | integrasi sistem | III | sistem daya sel bahan bakar |
| i | penyaluran melalui pipa | ii | penyaluran dengan silinder atau trailer tabung | | |
| iii | suplai utilitas (gas alam, listrik, air, dll.) | iv | sistem pemrosesan bahan bakar | | |
| v | <i>electrolyser</i> | vi | penyaluran dengan truk (hidrogen cair) | vii | regulator tekanan |
| viii | bufer gas hidrogen | ix | penyimpanan hidrogen cair, pompa kriogenik, <i>vaporizer</i> | | |
| x | titik batas (untuk sampling) | xi | sistem daya sel bahan bakar PEM | | |

Gambar A.1 — Contoh yang menunjukkan suplai hidrogen ke sistem daya sel bahan bakar dan posisi titik batas

Sebaiknya diketahui bahwa integrator sistem bertanggung jawab atas kualitas hidrogen pada titik batas, segera sebelum saluran masuk sistem daya sel bahan bakar. Jika integrator sistem dan operator sistem daya sel bahan bakar adalah pihak yang sama, satu atau beberapa titik sampling alternatif yang sesuai untuk memenuhi karakteristik kualitas hidrogen sebaiknya ditentukan melalui kesepakatan antara pemasok hidrogen dan pelanggan.

Dalam beberapa kasus, integrator sistem juga dapat menjadi pemasok hidrogen, dalam hal ini tanggung jawab untuk karakteristik kualitas hidrogen pada titik batas adalah tanggung jawab pemasok hidrogen kecuali ditentukan lain dari kesepakatan antara pemasok hidrogen dan pelanggan.

Jika integrator sistem dan pemasok hidrogen adalah pihak yang berbeda, tanggung jawab untuk karakteristik kualitas hidrogen pada titik batas adalah tanggung jawab integrator sistem. Dalam kasus seperti itu, persyaratan analisis (periode waktu, impuritas, dan titik uji antarmuka yang sesuai) untuk suplai hidrogen sebaiknya ditentukan oleh kesepakatan antara pemasok hidrogen, integrator sistem, dan pelanggan.

Dimungkinkan pula terdapat kasus pemasok hidrogen menyediakan beberapa aspek integrasi sistem *on-site* tetapi tidak secara langsung berinteraksi dengan sistem daya sel bahan bakar. Dalam kasus seperti itu, pemasok hidrogen bertanggung jawab untuk memenuhi karakteristik kualitas hidrogen pada antarmuka pemasok ke peralatan tambahan yang terhubung ke sistem daya sel bahan bakar, sedangkan integrator yang berinteraksi dengan sistem daya sel bahan bakar bertanggung jawab atas persyaratan analisis kualitas hidrogen pada titik batas. Persyaratan analitis (periode waktu, impuritas) pada titik sampling tambahan yang sesuai dengan sistem sebaiknya ditentukan melalui kesepakatan antara integrator sistem dan pemasok hidrogen.

Jika pemeliharaan sistem akan dilakukan oleh pihak lainnya, persyaratan untuk jaminan kualitas hidrogen setelah selesainya pemeliharaan tersebut sebaiknya ditentukan melalui kesepakatan antara integrator sistem, pihak yang bertanggung jawab untuk pemeliharaan dan operator sel bahan bakar.

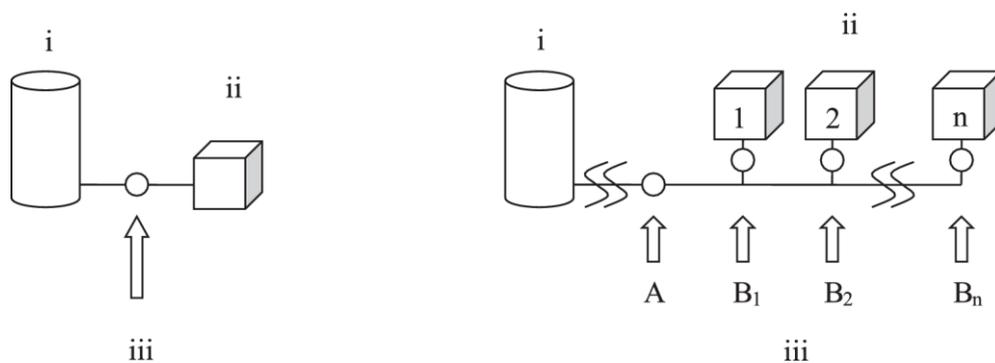
A.4 Pemilihan titik sampling

Dalam kasus sistem daya sel bahan bakar tunggal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar A.2 a), titik batas sebaiknya sedekat mungkin dengan saluran masuk bahan bakar ke sistem daya sel bahan bakar.

Dalam kasus sistem daya sel bahan bakar multipel secara paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar A.2 b), lokasi titik batas sebaiknya ditentukan melalui kesepakatan antara integrator sistem dan operator sel bahan bakar.

Contoh untuk lokasi titik sampling dapat mencakup:

- Titik batas A – suplai untuk sistem daya sel bahan bakar 1 hingga n.
- Titik batas tunggal antara B_1 dan B_n , yang merepresentasikan kasus terburuk.
- Semua titik batas B_1 sampai dengan B_n .



a) Sistem daya sel bahan bakar tunggal b) Sistem daya sel bahan bakar multipel secara paralel

Keterangan

- i peralatan suplai hidrogen dan bahan bakar berbasis hidrogen
- ii sistem daya sel bahan bakar PEM
- iii titik batas

Gambar A.2 — Penentuan posisi titik sampling

Lampiran B (informatif)

Rasional untuk pemilihan impuritas hidrogen yang akan diukur untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner

B.1 Kandungan air

Air (H_2O) umumnya tidak memengaruhi fungsi sel bahan bakar; namun, air menyediakan mekanisme perpindahan untuk kontaminan yang larut dalam air seperti K^+ dan Na^+ ketika hadir sebagai aerosol. Baik K^+ dan Na^+ direkomendasikan untuk tidak melebihi $0,05 \mu\text{mol/mol}$ untuk kategori 3. Selain itu, air dapat menimbulkan masalah dalam kondisi lingkungan dengan temperatur di bawah nol dan memengaruhi katup. Dengan demikian, air harus tetap berbentuk gas di seluruh kondisi temperatur lingkungan yang dihadapi.

B.2 Kandungan total hidrokarbon

Hidrokarbon yang berbeda memiliki efek yang berbeda pada kinerja sel bahan bakar. Umumnya hidrokarbon aromatik menyerap lebih kuat pada permukaan katalis daripada alkana, sehingga menghambat akses ke hidrogen. Metana (CH_4) dianggap sebagai gas inert karena pengaruhnya terhadap kinerja sel bahan bakar adalah untuk mengencerkan aliran bahan bakar hidrogen.

B.3 Kandungan oksigen

Oksigen (O_2) dalam konsentrasi rendah tidak memengaruhi fungsi sistem daya sel bahan bakar; tetapi oksigen konsentrasi tinggi menyebabkan degradasi sel bahan bakar.

B.4 Kandungan helium, nitrogen, dan argon

Konstituen inert, seperti helium (He), nitrogen (N_2), dan argon (Ar) tidak memengaruhi fungsi komponen sel bahan bakar atau sistem daya sel bahan bakar. Namun, mereka mengencerkan gas hidrogen.

B.5 Kandungan karbon dioksida

Karbon dioksida (CO_2) biasanya tidak memengaruhi fungsi sel bahan bakar. Karbon dioksida mengencerkan bahan bakar hidrogen sehingga memengaruhi efisiensi sistem daya sel bahan bakar. Selain itu, konsentrasi CO_2 yang lebih tinggi dari 25% dalam fraksi mol dapat dikonversi secara katalisis melalui reaksi *reverse water gas shift* menjadi CO , yang akibatnya meracuni katalis. Namun, dalam kondisi operasi normal, tingkat CO_2 yang tinggi seperti itu sangat tidak mungkin ada di anoda.

B.6 Kandungan karbon monoksida

Karbon monoksida (CO) adalah racun katalis parah yang berdampak buruk pada kinerja sel bahan bakar sehingga perlu dijaga pada tingkat yang sangat rendah dalam bahan bakar hidrogen. Meskipun dampaknya terhadap kinerja dapat dibalik dengan mengubah kondisi operasi dan/atau komposisi gas, upaya-upaya ini bisa tidak praktis. Dalam aplikasi *reformate* (kategori 1 dan 2), dampak dari tingkat CO yang secara inheren lebih tinggi dimitigasi melalui pemilihan material, dan/atau rancangan dan operasi sistem, namun efek jangka panjang CO pada daya tahan sel bahan bakar menjadi perhatian, khususnya untuk pemuatan katalis anoda

yang rendah.

B.7 Konsentrasi total sulfur

Senyawa yang mengandung sulfur adalah racun katalis yang bahkan pada tingkat yang sangat rendah dapat menyebabkan beberapa efek yang tidak dapat dipulihkan pada kinerja sel bahan bakar. Senyawa sulfur spesifik minimum yang perlu disertakan dalam pengujian adalah: hidrogen sulfida (H_2S), karbonil sulfida (COS), karbon disulfida (CS_2), merkaptan (misal metil merkaptan), yang dapat ditemukan dalam hidrogen yang di-*reform* dari gas alam. Konsentrasi sulfur total sebaiknya dipantau. Pemuatan katalis yang lebih rendah sangat rentan terhadap kontaminan racun katalis.

B.8 Kandungan formaldehida dan asam format

Formaldehida ($HCHO$) dan asam format ($HCOOH$) memiliki efek yang sama terhadap kinerja sel bahan bakar seperti CO dan dengan demikian dianggap sebagai kontaminan yang menyebabkan efek reversibel. Efek dari $HCHO$ dan $HCOOH$ pada kinerja sel bahan bakar bisa lebih parah daripada CO karena kinetika pemulihan yang lebih lambat dan spesifikasinya lebih rendah daripada CO. Pemuatan katalis yang lebih rendah sangat rentan terhadap kontaminan racun katalis.

B.9 Kandungan amonia

Amonia (NH_3) menyebabkan beberapa efek yang tidak reversibel pada kinerja sel bahan bakar dengan mengontaminasi membran/ionomer penukar proton dan bereaksi dengan proton dalam membran/ionomer untuk membentuk ion NH_4^+ . Data uji untuk toleransi amonia sebaiknya mencakup kapasitas pertukaran ion membran dan/atau elektroda. Pemuatan katalis yang lebih rendah artinya kapasitas pertukaran ion yang lebih rendah di dalam elektroda.

B.10 Kandungan total senyawa berhalogen

Senyawa berhalogen menyebabkan efek yang tidak reversibel pada kinerja. Sumber potensial melingkupi proses produksi klorin-alkali dan refrigeran yang digunakan dalam pemrosesan dan bahan pembersih.

B.11 Partikulat

Konsentrasi dan ukuran partikulat maksimum ditentukan untuk memastikan bahwa filter tidak tersumbat dan/atau partikulat tidak masuk ke dalam sistem daya bahan bakar PEM dan memengaruhi pengoperasian katup dan tumpukan sel bahan bakar. Ion kalium dan natrium yang ada dalam aerosol menyebabkan efek yang tidak reversibel pada kinerja dengan mengontaminasi membran penukar proton/ionomer. Partikel yang mengandung besi, bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, menyebabkan degradasi membran/ionomer yang parah.

Lampiran C (informatif)

Adsorpsi ayun tekanan dan aplikabilitas CO sebagai indikator untuk aplikasi sel bahan bakar PEM stasioner

C.1 Indikator: impuritas utama dari berbagai proses produksi dan pemurnian H₂

Untuk produksi dan pemurnian SMR-PSA, CO dapat berfungsi sebagai indikator keberadaan impuritas lain yang tercantum dalam Tabel 3 karena memiliki probabilitas tertinggi untuk terdapat dalam bahan bakar yang dihasilkan oleh proses tertentu. Konfirmasi bahwa kandungan CO kurang dari batas yang ditentukan menunjukkan bahwa impuritas lain, kecuali impuritas inert, terdapat kurang dari batas yang ditentukan.

Kandungan maksimum impuritas inert dalam produk dapat diperkirakan dengan menggunakan kandungan maksimum impuritas inert dalam bahan baku yang ditentukan oleh pemasok dan peningkatan aliran dalam sistem SMR dan penurunan aliran dalam sistem PSA. Peningkatan aliran dalam sistem SMR dan penurunan aliran dalam sistem PSA dapat dihitung dari komposisi bahan baku, rasio uap terhadap karbon, dan laju konversi hidrogen.

C.2 Pemantauan *in-line* dari indikator

Pemantauan CO secara *in-line* sangat disarankan untuk menunjukkan bahwa kandungannya dalam bahan bakar hidrogen kurang dari spesifikasi secara *real-time*, yang mengindikasikan bahwa kandungan kontaminan lain kurang dari spesifikasinya secara *real-time*. Untuk tujuan ini, alat analisis CO inframerah yang tersedia secara komersial dapat digunakan. Dalam kasus sistem SMR-PSA, alat analisis sebaiknya ditempatkan tepat setelah sistem SMR-PSA untuk menghindari kontaminasi pada peralatan di bagian hilir.

C.3 Analisis *batch*

Untuk cadangan pemantauan *in-line* kandungan CO, pengambilan sampel *batch* hidrogen produk dan analisis laboratorium terhadap semua konstituen impuritas seperti yang tercantum dalam Tabel 3 juga direkomendasikan. Sampel *batch* sebaiknya diambil pada titik batas. Frekuensi pengambilan sampel dan analisis ditentukan oleh pemasok hidrogen. Metode analisis seperti yang dijelaskan pada 6.2 dan 6.3 sebaiknya diterapkan.

Bibliografi

- [1] ISO/TR 15916, *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*
- [2] ISO 19880-1, *Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 1: General requirements*
- [3] SAE J2719, *Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles*
- [4] Angelo M., Bender G., Dorn S., Bethune K., Hossain T., Posey D. et al. The Impacts of Repetitive Carbon Monoxide Poisoning on Performance and Durability of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *ECS Trans.* 2008, 16 (2) pp. 669-676
- [5] Angelo M.S., Bethune K.P., Rocheleau R.E. The Impact of sub ppm Carbon Monoxide and ppm Level CO/Toluene and Methylcyclohexane/CO Mixtures on PEMFC Performance and Durability. *ECS Trans.* 2010, 28 (23) pp. 169–181
- [6] Akai M., Uchida H., Tatsumi M., Watanabe S. "Influences of Impurities in Hydrogen on Fuel Cell Performance", *15th World Hydrogen Energy Conference, 2004, 30C-05*
- [7] Bender G., Angelo M., Bethune K., Dorn S., Thampan T., Rocheleau R. Method Using Gas Chromatography to Determine the Molar Flow Balance for Proton Exchange Membrane Fuel Cells Exposed to Impurities. *J. Power Sources.* 2009, 193 pp. 713–722
- [8] Hashimasa Y., Matsuda Y., Akai M. Effects of Platinum Loading on PEFC Power Generation Performance Deterioration by Carbon Monoxide in Hydrogen Fuel. *ECS Trans.* 2010, 26 (1) pp. 131–142
- [9] Imamura D., Ebata D., Hashimasa Y., Akai M., Watanabe S. "Impact of Hydrogen Fuel Impurities on PEMFC Performance", *2007 JSAE/SAE International Fuels and Lubricants Meeting, 2007, First Issue, pp. 100-104*
- [10] Imamura D., Hashimasa Y. Effect of Sulfur-Containing Compounds on Fuel Cell Performance. *ECS Trans.* 2007, 11 (1) pp. 853–862
- [11] Matsuda Y., Hashimasa Y., Imamura D., Akai M., Watanabe S. Accumulation Behavior of Impurities in fuel Cell Hydrogen Circulation System. *Review of Automotive Engineering.* 2009, 30 pp. 167–172
- [12] St-Pierre J. PEMFC Contamination Model: Competitive Adsorption Followed by an Electrochemical Reaction. *J. Electrochem. Soc.* 2009, 156 (3) pp. B291–B300
- [13] St-Pierre J. PEMFC contaminant tolerance limit—CO in H₂. *Electrochim. Acta.* 2010, 55 pp. 4208–4211
- [14] Thampan T., Rocheleau R., Bethune K., Wheeler D. "Effect of Trace Contaminants on PEM Fuel Cell Performance", in *Generation, Storage and Fuel Cells*, edited by Anne Dillon, Charles Olk, Constantina Filiou, Jim Ohi (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 885, Warrendale, PA), 0885-A01-05, 2005
- [15] Watanabe S. *Motoaki Akai, Masahito Tatsumi, "Hydrogen Quality Standard for Fuel of Fuel Cell Vehicles.* Fuel Cell Seminar Abstracts, 2004, pp. 248–51
- [16] Li H.; Wang, H.; Qian, W.; Zhang, S.; Wessel, S.; Cheng, T.T.H.; Shen, J.; Wu, S., Chloride contamination effects on proton exchange membrane fuel cell performance and durability. *Journal of Power Sources*, 2011, 196, issue 15 August 1, 2011. pp. 6249-6255

Informasi perumus SNI

[1] Komite Teknis Perumusan SNI

Komite Teknis 27-11 Teknologi Hidrogen

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis Perumusan SNI

Ketua : Eniya Listiani Dewi
Wakil Ketua : Tony Susandy
Sekretaris : Azizah Ayu Kartika
Anggota :
Diaz Ficry Arfianto
Eki Dwi Wijanarko
Ikrar Adilla
Deni Shidqi Khaerudini
Oka Pradipta Arjasa
Sri Djangkung Sumbogo Murti
Sandia Primeia
Hary Devianto
Firman Bagja Juangsa
Haryo Satria Oktaviano
Umar
Sri Mukartiningsih
Ricky Cahya Andrian
Abdul Rochim

[3] Konseptor Rancangan SNI

Eniya Listiani Dewi
Tony Susandy
Azizah Ayu Kartika
Diaz Ficry Arfianto
Eki Dwi Wijanarko
Ikrar Adilla
Deni Shidqi Khaerudini
Oka Pradipta Arjasa
Sri Djangkung Sumbogo Murti
Sandia Primeia
Hary Devianto
Firman Bagja Juangsa
Haryo Satria Oktaviano
Umar
Sri Mukartiningsih
Ricky Cahya Andrian
Abdul Rochim
Raditya Daffa Cepika

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis Perumusan SNI

Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan
Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi,
Kementerian ESDM