

PENGUJIAN SISTEM DETEKSI GAS HIDROGEN

Suliyanto⁽¹⁾ dan Akhmad Saogi Latif⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PENGUJIAN SISTEM DETEKSI GAS HIDROGEN. Pengujian sistem deteksi gas hidrogen di IEBE telah dilakukan. Pada sistem deteksi hidrogen IEBE terdapat sensor untuk mendeteksi adanya gas hidrogen yang keluar dari sistem karena kebocoran atau tidak sempurnanya pembakaran hidrogen. Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui suhu disekitar sensor dan respon indikator *warning*, *evacuate* serta *failure*. Pemeriksaan suhu di sekitar sensor dilakukan dengan cara mengukur suhu di dalam sungkup tempat sensor itu terpasang dengan menggunakan termometer pada 5 kondisi operasi, pada waktu *pilot torchs* dinyalakan. Pemeriksaan indikator *warning* dan *evacuate* pada panel *annunciator* dilakukan dengan cara menghembuskan gas hidrogen ke sensor. Pemeriksaan indikator *failure* pada panel *annunciator* dilakukan dengan cara memutus koneksi *output alarm* sensor gas (*horn* 1 dan 2) dengan input dari indikator *warning* dan *evacuate* pada panel *Annunciator*. Suhu disekitar sensor ketika gas pembakar dinyalakan antara 29,68 °C sampai dengan 41,75 °C, berada dibawah 80 °C (daya tahan sensor terhadap panas maksimum). Indikator *warning* dapat merespon 20 % LEL, sedangkan indikator *evacuate* dapat merespon 30 % LEL. Indikator *failure* dapat merespon ketika dilakukan pemutusan koneksi pada indikator *warning* maupun *evacuate*. Dari hasil pengujian sistem deteksi gas hidrogen di IEBE, maka dapat disimpulkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik.

Kata kunci: hidrogen, sensor, panel *annunciator*

ABSTRACT

EXAMINATION OF THE HYDROGEN GAS DETECTION SYSTEM. Examination of the hydrogen gas detection system in IEBE have been done. The hydrogen gas detection system in IEBE attached sensor to detect the existence of secretory hydrogen gas from system because leakage or imperfect its hydrogen combustion. Intention of examination is to know the temperature of around sensor and respon of indicator *warning*, *evacuate* and *failure*. Examination of temperature around sensor conducted by measuring under extraction hoods in place of sensor using the thermometer at 5 operating condition, when *pilot torchs* flamed. Examination of Indicator of *warning* and *evacuate* at panel *annunciator* conducted by combistion of hydrogen gas to sensor. Examination of Indicator *failure* at panel *annunciator* conducted by disconnection of link alarm output (*horn* 1 and 2) to input of *warning* and *evacuate* indicator at *annunciator* panel. Temperature around sensor, when gas burner flamed between 29,68 °C up to 41,75 °C under 80 °C (maximum heat). *Warning* Indicator can response existence of hydrogen gas equal to 20 % LEL, while *evacuate* indicator equal to 30 % LEL. *Failure* Indicator can response when disconnection of link alarm output to input of *warning* and *evacuate* indicator. From examination result, known that the hydrogen gas detection system in IEBE can be operated.

Key words: hydrogen, sensor, *annunciator* panel

PENDAHULUAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah suatu instalasi nuklir yang berfungsi untuk melaksanakan penelitian dan pengembangan (litbang) teknologi produksi bahan bakar nuklir. IEBE dirancang untuk mengolah bahan baku *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 derajat nuklir, dan membuatnya menjadi berkas (*bundle*) bahan bakar nuklir tipe HWR (Cirene). Potensi bahaya yang mungkin timbul di laboratorium IEBE antara lain: kontaminasi Bahan Radioaktif U, paparan Radiasi- γ , kebakaran dan ledakan. Potensi bahaya akibat ledakan di IEBE dapat terjadi di fasilitas pemroses U yang menggunakan gas H_2 (hidrogen), seperti di tungku sinter dan tungku reduksi. Penyinteran dalam tungku sinter ME-06 (*sintering furnace*) dalam kondisi gas hidrogen + gas *inert* (Gambar 1) dilakukan untuk mendapatkan densitas tinggi pelet UO_2 hasil pengompakan akhir, Tungku berbentuk silinder dilengkapi dengan sistem pendingin air. Sebelum gas hidrogen + gas *inert* dimasukkan, ruang pemanas dihampakan terlebih dahulu dengan pompa vakum hingga kondisi vakum tertentu. Laju alir gas hidrogen ke ruang HR-05 adalah $0,5 \text{ Nm}^3/\text{jam}$ yang digunakan sebagai reduktor dan protektor dalam proses penyinteran dan reduksi [1]. Batasan dan kondisi operasi yang aman terhadap penggunaan gas hidrogen dalam proses penyinteran dan reduksi, diperlukan untuk mencegah terjadinya kebakaran dan ledakan akibat reaksi gas hidrogen dengan udara atau oksigen sebagai berikut :

- Jumlah maksimum gas hidrogen di dalam tungku adalah 100 liter.
- Pengaliran gas hidrogen ke dalam tungku, dengan memperhatikan jumlahnya antara 4% - 75% volum dalam media udara akan menimbulkan resiko kebakaran dan ledakan [2].



Gambar 1. Peralatan *Sintering furnace*-ME 06 (ruang HR-05)

Selama proses berlangsung, kelebihan gas hidrogen dari proses penyinteran ataupun reduksi akan dialirkan keluar tungku, dan dibakar semuanya di bawah *extraction hoods* dengan *pilot torchs* (satu *torch* untuk masing-masing tungku) menggunakan gas elpiji (propan). Sebelum pengaliran gas hidrogen ke dalam tungku, tungku harus dikondisikan terbebas dari udara (divakumkan) dan di-*flashing* dengan nitrogen. Untuk mendeteksi adanya gas hidrogen yang keluar dari sistem (adanya kebocoran atau tidak sempurnanya pembakaran), dipasang sensor yang akan memberikan nyala lampu LED dan bunyi *alarm* ketika konsentrasi gas hidrogen di udara sekitar alat melebihi batas yang ditetapkan. Sistem instrumen dan kendali yang terpasang pada sistem deteksi di IEBE terdiri dari 4 buah sensor di ruang HR-05 yang terhubung dengan Panel monitor gas di ruang CR-27. Hasil pemantauan hidrogen diproses oleh Panel monitor gas untuk selanjutnya diinformasikan ke lampu LED pada panel *Annunciator* dan *alarm (horn)* di Ruang CR-27

dan Ruang HR-05. Sistem deteksi gas hidrogen yang terpasang di IEBE dalam kondisi baru selesai diperbaiki, sehingga perlu dilakukan uji fungsi. Sensor selain berfungsi untuk mengetahui keberadaan gas hidrogen, juga dapat mengukur konsentrasinya. Sensor terbuat dari bahan semikonduktor yang mempunyai konduktivitas yang rendah di udara bersih. Keberadaan gas hidrogen dideteksi dengan berubahnya konduktivitas sensor yang tergantung pada konsentrasinya di udara. Rangkaian elektronika sederhana mengkonversi konduktivitas tersebut ke sinyal keluaran yang sesuai dengan konsentrasi gas hidrogen tersebut.

Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui suhu disekitar sensor dan respon indikator *warning*, *evacuate* serta *failure*.

Ruang lingkup pengujian sistem deteksi gas hidrogen di IEBE meliputi: pemeriksaan suhu di sekitar sensor dilakukan dengan cara mengukur suhu di dalam sungkup tempat sensor itu terpasang ketika *pilot torchs* dinyalakan dengan gas elpiji (propan) menggunakan termometer pada 5 kondisi operasi. Disamping itu dilakukan juga pemeriksaan terhadap respon indikator *warning* dan indikator *evacuate* pada panel *annunciator* dilakukan dengan cara menghembuskan gas hidrogen ke sensor dengan konsentrasi 20 % LEL dan 30 % LEL, serta pemeriksaan indikator *failure* pada panel *annunciator* dilakukan dengan cara memutus koneksi *output alarm* sensor gas (*horn* 1 dan 2) pada indikator *warning* dan *evacuate*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah uji fungsi sistem deteksi gas hidrogen di IEBE untuk memeriksa kesesuaiannya dengan kriteria penerimaan.

TEORI

● GAS HIDROGEN

Gas Hidrogen dapat membentuk campuran yang dapat terbakar dan meledak (*flammable and explosive mixtures*) dengan oksigen, pada suhu antara 530 °C sampai 590

°C. Konsentrasi tidak normal gas H₂ dapat menimbulkan resiko kebakaran atau ledakan, dimana secara otomatis dapat dikenali baik secara lokal maupun sentral melalui sistem peringatan yang merupakan bagian dari sistem deteksi hidrogen. Gas hidrogen mudah terbakar di dalam batas mudah terbakarnya di udara, untuk dapat terbakar perlu suatu sumber pengapian. Beberapa sumber pengapian mungkin ada, meliputi nyala api terbuka, percikan dan permukaan panas^[3].

Gas hidrogen adalah suatu gas mudah terbakar, tidak terlihat, tidak berbau dan tidak berasa. Gas hidrogen adalah suatu gas mudah terbakar pada konsentrasi lebih dari 4 % Volume, sehingga diperlukan sensor untuk mendeteksi gas tersebut. Sistem deteksi hidrogen adalah suatu instrumen yang dirancang dan dibuat untuk memonitor secara kontinyu atmosfer di udara, di dalam jumlah konsentrasi sampai tercapainya LEL (*lower explosive limit*). Segera setelah tingkat konsentrasi yang ditentukan terhadap gas hidrogen telah dicapai, maka lampu LED akan menyala dan *alarm* berbunyi. Konsentrasi 4 % sampai dengan 75 % campuran gas hidrogen dengan udara dapat terjadi ledakan. Suatu Sensor hidrogen akan memberikan suatu peringatan dan memudahkan pengusiran konsentrasi hidrogen sebelum tercapai LEL sebesar 4 % campuran hidrogen dengan udara. Sensor yang digunakan terdiri dari bahan semikonduktor yang dapat meningkatkan konduktivitas listrik, apabila gas hidrogen diserap (*adsorb*) di permukaannya. Daya konduksi sebanding dengan konsentrasi gas yang secara kontinyu dipantau oleh suatu rangkaian listrik. Konsentrasi gas di udara tidak semuanya menyebabkan kebakaran atau ledakan. *Lower Explosive Limit* (LEL) merupakan konsentrasi terendah yang dapat menyebabkan ledakan, yaitu sebesar 4 % campuran gas H₂ dengan udara. *Upper Explosive Limit* (UEL) merupakan konsentrasi maksimum sebesar 75 % campuran hidrogen dengan udara, dimana jika konsentrasi diatas konsentrasi tersebut tidak akan terjadi

ledakan. Jika terjadi campuran dengan konsentrasi yang memenuhi syarat untuk meledak, ledakan dapat distimulasi dengan adanya energi yang diberikan pada campuran tersebut. Suhu terendah yang dapat menyebabkan campuran itu meledak disebut *ignition temperature*. Potensi terjadinya ledakan pada campuran gas hanya diperlukan sebagian kecil campuran tersebut saja untuk mencapai *ignition temperature*. Dengan membakar bagian tersebut, panas yang cukup akan menstimulasi seluruh volume campuran tersebut. Sumber stimulasi tersebut mempunyai dua karakter, yaitu ^[4] :

- Suhu harus sama dengan *ignition temperature* atau lebih.
- Energi sumber stimulasi tersebut harus cukup memberikan energi dengan kecepatan yang cukup tinggi untuk meningkatkan campuran gas tersebut pada titik stimulasi, untuk memulai terjadinya ledakan

Keberadaan gas hidrogen akan menyebabkan ledakan berdasarkan konsep yang ada, yaitu ^[4]:

- Jika konsentrasi gas hidrogen di udara antara LEL sampai dengan UEL.
- Tercapainya *ignition temperature* kira-kira 500 °C.

● TEKNIK PENDETEKSIAN GAS

▪ Sensor

Sensor hidrogen menggunakan tiga elektroda yang menjadi solusi ideal untuk pendeteksian gas hidrogen, tidak hanya diperlukan berpindah tempat tetapi juga dapat diletakkan pada suatu tempat. Ciri utama dari Sensor hidrogen adalah pengukuran yang terbentang sampai 4 % volume hidrogen pada suhu -20 °C sampai dengan 80 °C, merupakan suatu film tipis *polyvinylidene fluoride* yang dilapisi dengan suatu Palladium tipis. Kepekaan terhadap hidrogen diakibatkan oleh

syarat batas yang berkenaan dengan perubahan panas pada penghubung gas-film dan tergantung atas *thermophysical* gas. Pada konsentrasi 0.1 % hidrogen di dalam suatu campuran udara seimbang pada suhu kamar yang diukur, menunjukkan kemungkinan adanya sensitivitas mendekati 100 ppm. Cara kerja Sensor terhadap keberadaan gas hidrogen yang banyak digunakan adalah *sampling probe* dan difusi. Sedangkan sensor yang digunakan di IEBE adalah tipe difusi karena sensor ini tahan terhadap suhu antara -20 °C sampai dengan 80 °C ^[5]. Sensor gas mudah terbakar dibagi menjadi dua kategori umum, meliputi :

- Sensor katalis

Sensor katalitis telah digunakan lebih dari 30 tahun dan secara luas di bidang industri sebagai alat pantau gas terbakar. Sensor katalis berfungsi dengan prinsip yang dapat dipercaya dan sederhana yang mana suatu gas terbakar dapat dioksidasi untuk menghasilkan panas. Biasanya unsur-unsur ini terdiri dari suatu *coil* (gulungan) platina yang ditempelkan di dalam katalis. Sensor menggunakan dua manik-manik yang serupa terdiri dari: satu manik-manik aktif yang berfungsi mengoksidasi keberadaan gas terbakar, dan satu lapisan kaca sebagai acuan. Ketika gas mengoksidasi pada manik-manik aktif, maka suhu manik-manik meningkat langsung menyesuaikan konsentrasi gas di udara. Kenaikan suhu ini meningkatkan resistensi manik-manik aktif, dan apabila dibandingkan dengan resistensi dari manik-manik acuan mengakibatkan suatu perbedaan tegangan yang dapat diukur ^[5].

- Sensor inframerah

Sensor inframerah merupakan suatu metoda alternatif dalam mengukur konsentrasi gas terbakar, yang bekerja berdasarkan penyerapan radiasi IR pada panjang gelombang tertentu ketika volume gas terbakar telah terlampaui. Jika suatu volume

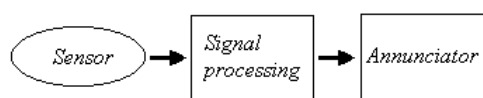
gas lewat diantara sensor dan sumber, jumlah cahaya di dalam panjang gelombang aktif menjadi berkurang, sedang jumlah cahaya di dalam panjang gelombang acuan tetap tanpa perubahan.

▪ **Signal processing**

Pada sistem deteksi gas, interpretasi sinyal digunakan untuk mengetahui keberadaan gas tertentu disertai konsentrasinya. Pada sistem deteksi gas, bagian pemroses sinyal dari sensor adalah panel monitor gas. Berdasarkan batas konsentrasi yang ditentukan, panel monitor gas kemudian melaporkan hasil pemrosesan tersebut ke *Annunciator*. Interpretasi sinyal dari hasil pemrosesan sinyal dilakukan oleh *Annunciator*. Perbedaan antara sistem deteksi dan sistem data akuisisi adalah bahwa sensor hanya membandingkan sinyal yang didapat dari Sensor dengan nilai ambang tertentu, sehingga dapat direpresentasikan ke *Annunciator*. Sedangkan pada sistem data akuisisi pengukuran dilakukan untuk mendapatkan sinyal dari Sensor untuk dilakukan penyimpanan data atau pengamatan [6].

▪ **Panel Annunciator**

Panel *Annunciator* dapat dikatakan sebagai "*Human interface*", dimana lampu LED akan menyala dan *alarm* berbunyi sebagai informasi adanya hidrogen di udara sekitar alat, ketika konsentrasinya melebihi batas yang ditetapkan [6]. Konsep pendeteksian gas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep pendeteksian gas

▪ **Kriteria penerimaan**

Spesifikasi sistem deteksi gas hidrogen IEBE, sebagai berikut [6]:

- Daya tahan Sensor terhadap panas maksimum : 80 °C.
- Setting *alarm* panel Annunciator untuk indikator *warning* : 20 % LEL.
- Setting *alarm* panel Annunciator untuk indikator *evacuate* : 30 % LEL.

TATA KERJA

Langkah yang dilakukan untuk pemeriksaan suhu disekitar sensor, sebagai berikut :

- Pada sungkup sebelah kiri dan kanan sensor, dipasang termometer
- *Pilot torch* dengan gas pembakar, dinyalakan
- Hisapan exhaust 50 % pada jam pertama sampai jam ketiga dinyalakan, sedangkan hisapan exhaust 100 % pada jam ke empat dan kelima,
- Diakukan pengamatan suhu selama lima kali untuk setiap satu jam,
- Setiap hasil pengamatan suhu disekitar sensor, dicatat

Sebelum dilakukan pemeriksaan indikator *warning* dan *evacuate*, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi *alarm level* gas detektor. Peralatan kalibrasi, terdiri dari :

- Silinder gas kalibrasi
- Regulator atau *Valve* silinder (0,5 liter/ menit)
- *Test cup* untuk memberikan gas ke sensor.
- Obeng kecil untuk melakukan pengaturan potensiometer.

Langkah kalibrasi *alarm* kesatu, sebagai berikut :

- Regulator ke *test cup* dan gas silinder dihubungkan untuk *alarm 1* (ambang batas terendah),
- Regulator tabung gas hidrogen dibuka secara perlahan sampai gas keluar berhembus untuk mendapatkan respon secara maksimal (kira-kira 60 detik),
- Sementara gas mengalir ke sensor lakukan pengaturan pada potensiometer *horn 1* (terletak tepat di bawah *buzzer*),
- Jika *buzzer* bunyi dan lampu LED kuning menyala, putar potensiometer perlahan searah jarum jam sampai *buzzer* tidak bunyi dan lampu LED kuning tidak menyala.
- Kemudian putar potensiometer perlahan berlawanan arah jarum jam sampai *buzzer* bunyi dan lampu LED kuning nyala lagi.
- Jika lampu LED kuning tidak nyala, putar potensiometer perlahan berlawanan arah jarum jam sampai nyala.

Langkah kalibrasi *alarm* kedua, sebagai berikut :

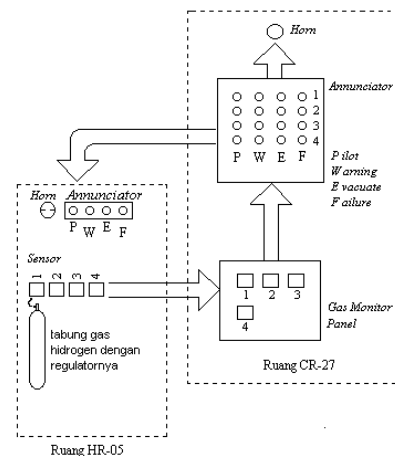
- regulator ke *test cup* dan gas silinder dihubungkan untuk *alarm 2* (ambang batas tertinggi),
- regulator tabung gas hidrogen dibuka secara perlahan sampai gas keluar berhembus untuk mendapatkan respon secara maksimal (kira-kira 60 detik),
- Sementara gas mengalir ke sensor lakukan pengaturan pada potensiometer *horn 2* (terletak tepat di bawah *buzzer*).
- Jika *buzzer* bunyi dan lampu LED merah menyala, putar potensiometer perlahan searah jarum jam sampai *buzzer* tidak bunyi dan lampu LED merah tidak nyala.
- Kemudian putar potensiometer perlahan berlawanan arah jarum jam sampai *buzzer* bunyi dan lampu LED merah menyala lagi.
- Jika lampu LED merah tidak nyala, putar potensiometer perlahan berlawanan arah jarum jam sampai nyala.

Langkah yang dilakukan untuk pemeriksaan indikator *warning* (Gambar 3), sebagai berikut :

- operasikan sistem deteksi gas hidrogen sesuai prosedur operasi,
- regulator tabung gas hidrogen 20 % LEL dibuka secara perlahan sampai gas keluar berhembus ke sensor (kira-kira 60 detik),
- tunggu beberapa saat, lihat respon nyala Lampu LED kuning disertai dengan bunyi *horn 1* pada panel *Annunciator*.
- setiap hasil pemeriksaan indikator *warning* dicatat.

Langkah yang dilakukan untuk pemeriksaan indikator *evacuate* (Gambar 3), sebagai berikut :

- operasikan sistem deteksi gas hidrogen sesuai prosedur operasi,
- regulator tabung gas hidrogen 30 % LEL dibuka secara perlahan sampai gas keluar berhembus ke sensor (kira-kira 60 detik),
- tunggu beberapa saat, lihat respon nyala Lampu LED merah disertai dengan bunyi *horn 2* pada panel *Annunciator*.
- setiap hasil pemeriksaan indikator *evacuate* dicatat.



Gambar 3. Pemeriksaan status operasi sistem deteksi hidrogen
Langkah yang dilakukan untuk pemeriksaan indikator *failure*, sebagai berikut:

- lakukan pemutusan koneksi *output alarm* sensor gas (*horn 1* untuk *warning* atau *horn 2* untuk *evacuate*) ke *input* rangkaian *Annunciator* yang sama.
- lakukan pemeriksaan indikator *warning* atau *evacuate* dilakukan sesuai dengan lokasi pemutusan koneksi, kemudian perhatikan bunyi *Horn 1* dan *Horn 2* dan Lampu LED merah tanda *failure*.
- Catat setiap hasil pemeriksaan indikator *failure*.

Pengujian dilakukan dengan menyalakan *pilot torch* dengan gas pembakar, dan pengukuran suhu disekitar sensor diamati setiap satu jam dengan melihat termometer. Pengujian dilakukan dengan menyalakan hisapan exhaust 50% pada jam pertama sampai jam ketiga, sedangkan pada jam ke empat dan kelima dengan hisapan exhaust 100%, sehingga panas yang terserap oleh sensor dapat diketahui dari termometer. Pengujian ini dilakukan selama 5 (lima) jam dan menghasilkan data yang akan digunakan sebagai acuan ketahanan sensor terhadap panas yang kontinyu. Hasil suhu disekitar sensor terhadap panas pembakaran dengan gas elpiji dapat dilihat pada Tabel 1.

HASIL DAN BAHASAN

Tabel 1. Pengukuran suhu disekitar sensor

Waktu pengukuran	Kondisi operasi	Suhu sungkup kanan (°C)	Suhu sungkup kiri (°C)	Suhu rerata (°C)
09.00 – 10.00	exhaust 50%	29,62	29,74	29,68
10.00 – 11.00	exhaust 50%	41,24	42,26	41,75
11.00 – 12.00	exhaust 50%	40,88	40,94	40,91
12.00 – 13.00	exhaust 100%	39,55	40,12	39,83
13.00 – 14.00	exhaust 100%	39,23	39,80	39,51

Sensor gas hidrogen terletak didalam sungkup *pilot torchs* yang keberadaannya sangat rentan terhadap panas tinggi. Jarak antara sensor dengan *pilot torchs* relatif dekat, sehingga dikhawatirkan pengaruh panas yang kontinyu merusak sensor, sehingga dapat mengurangi kinerja dari sensor itu sendiri. Untuk mengetahui daya tahan sensor terhadap panas, maka dilakukan pengujian dengan cara mengukur suhu dalam sungkup *pilot torchs*. Suhu disekitar sensor gas H₂ ketika gas pembakar menyala berkisar antara 29,68 °C sampai dengan 41,75 °C. Suhu tersebut masih jauh dibawah batas tertinggi spesifikasi daya tahan sensor sebesar 80 °C.

Pemeriksaan indikator *warning*, dilakukan dengan mengalirkan gas hidrogen. Sensor dengan konsentrasi 20 % LEL, dimana respon dari indikator *warning* adalah warna Lampu LED kuning.

Sedangkan untuk indikator *evacuate* menggunakan gas hidrogen konsentrasi 30 % LEL, dimana respon dari indikator *evacuate* adalah warna Lampu LED merah. Hasil pemeriksaan indikator *warning* dan *evacuate*, dapat dilihat pada Tabel 2. Perbedaan pemeriksaan indikator *warning* dan *evacuate* adalah gas yang digunakan dan lampu LED yang nyala sebagai respon dari adanya gas tersebut. Hasil yang diperoleh ketika dialirkan gas hidrogen sebesar 20 % LEL ke sensor,

maka indikator *warning* dapat merespon, sedangkan indikator *evacuate* belum merespon. Sedangkan gas hidrogen sebesar 30 % LEL yang dialirkan ke sensor, maka

indikator *warning* merespon lebih dahulu kemudian segera diikuti oleh indikator *evacuate*.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan indikator *warning* dan *evacuate*

Sensor	Konsentrasi gas H ₂	Indikator <i>warning</i>		Indikator <i>evacuate</i>	
		LED kuning	Horn	LED merah	Horn
Sensor 1	20 % LEL	nyala	bunyi	tidak nyala	tidak bunyi
	30 % LEL	nyala	bunyi	nyala	berbunyi
Sensor 2	20 % LEL	nyala	bunyi	tidak nyala	tidak bunyi
	30 % LEL	nyala	bunyi	nyala	bunyi
Sensor 3	20 % LEL	nyala	bunyi	tidak nyala	tidak bunyi
	30 % LEL	nyala	bunyi	nyala	bunyi
Sensor 4	20 % LEL	nyala	bunyi	tidak nyala	tidak bunyi
	30 % LEL	nyala	bunyi	nyala	bunyi

Pemeriksaan indikator *failure* dilakukan dengan pemutusan koneksi indikator *warning* dan indikator *failure*. Hasil pemeriksaan indikator *failure*, dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil yang diperoleh bila dilakukan pemutusan koneksi pada indikator *warning*,

maka *horn* pada indikator *warning* bunyi dan lampu *LED* indikator *failure* nyala. Sedangkan bila dilakukan pemutusan koneksi pada indikator *evacuate*, maka *horn* pada indikator *evacuate* bunyi dan lampu *LED* indikator *failure* nyala.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan indikator *failure*

Lokasi pemutusan koneksi	Horn indikator <i>warning</i>	Horn indikator <i>evacuate</i>	Lampu LED merah indikator <i>failure</i>
Indikator <i>warning</i>	bunyi	tidak bunyi	nyala
Indikator <i>evacuate</i>	tidak bunyi	bunyi	nyala

SIMPULAN

Hasil Pengujian sistem deteksi hidrogen IEBE sebagai berikut : suhu di sekitar sensor gas hidrogen ketika gas pembakar menyala berkisar antara 29,68 °C - 41,75 °C, berada

dibawah daya tahan sensor terhadap panas maksimum 80 °C. Indikator *warning* dapat merespon gas hidrogen 20 % LEL yang dialirkan ke sensor, dan indikator *evacuate* belum merespon. Indikator *evacuate* dapat merespon gas hidrogen sebesar 30 % LEL

yang dialirkan ke sensor, dimana indikator *warning* akan merespon terlebih dahulu. Indikator *failure* dapat merespon bila dilakukan pemutusan koneksi pada indikator *warning* maupun *evacuate*. Dari hasil pengujian sistem deteksi hidrogen di IEBE, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan sistem dapat beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. NIRA.: *Technical Note on Risk Evaluation For BATAN Safety Assessment of The Fuel Fabrication Development Laboratory (PCP and FFL Processess in EFEI Building)*, IND 00000S0376, ENEA, Italia.
2. PTBN-BATAN, Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Elemen Bakar Eksperimental, No. Dok.: KK20J09003, revisi 6, 20007
3. [Http://www.aist.go.jp/aist_e/topics/20011001/20011001.html](http://www.aist.go.jp/aist_e/topics/20011001/20011001.html), Development of a highly selective hydrogen gas sensor operating at room temperature, Applications expected for fuel cell-powered vehicles, Novato, USA.
4. [Http://www.msttechnology.com/us/us_products/h2/h2_Sensormodule.htm](http://www.msttechnology.com/us/us_products/h2/h2_Sensormodule.htm), MST H2 Sensormodule, MST Technology, Inc. 2005 – 2007.
5. [Http://www.generalmonitors.com](http://www.generalmonitors.com), fundamentas of combustible gas detection, general monitors protection for life, lake forest-California USA.
6. ANONIM.: Manual prosedur pengoperasian sistem deteksi gas hidrogen, Cakra Indonesia Persada, Jakarta.