

**OPTIMASI PEMBENTUKAN HI DAN H₂SO₄ PADA
REAKSI BUNSEN UNTUK Mendukung PRODUKSI HIDROGEN**

Oleh

Rahayu Kusumastuti, Itjeu Karlina, Nurul Huda
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

OPTIMASI PEMBENTUKAN HI DAN H₂SO₄ PADA REAKSI BUNSEN UNTUK Mendukung PRODUKSI HIDROGEN. Teknologi proses produksi hidrogen secara termokimia telah menjadi unggulan bila dikopel dengan reaktor nuklir temperatur tinggi. Proses ini hanya memerlukan energi termal untuk memecahkan air menjadi hidrogen dan oksigen. Implementasi rancangan eksperimen reaksi Bunsen telah dilakukan. Bahan peralatan percobaan ini terdiri dari bahan kaca pyrex dan pipa teflon agar tahan terhadap serangan korosi, tekanan 2 bar dan suhu reaksi 120 °C. Percobaan telah dilakukan dengan parameter pengubah yaitu durasi reaksi, komposisi I₂ dan H₂O, sedangkan parameter tetap yaitu komposisi SO₂, temperatur dan tekanan gas SO₂ secara statis. Hasil percobaan optimasi dengan kondisi menunjukkan bahwa produk reaksi Bunsen meningkat dengan bertambahnya fraksi I₂, H₂O dan durasi reaksi. Namun pada penambahan H₂O peningkatan produk terbatas pada jumlah H₂O 0,055 mol. Hasil analisis terhadap produk reaksi Bunsen menunjukkan bahwa reaktan yang bereaksi membentuk produk adalah sebesar 5,6 % dan reaktan yang belum bereaksi akan terus membentuk produk reaksi selama produk reaksi yang terjadi dipisahkan dari reaktan.

Kata kunci: Reaksi Bunsen, optimasi, produksi hidrogen

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF HI AND H₂SO₄ FORMING PROCESS ON BUNSEN REACTION FOR SUPPORTING HYDROGEN PRODUCTION. Technology of hydrogen production process was advantage thermochemically if coupled with high temperature nuclear reactor. This process needs thermal energy to split water into hydrogen and oxygen. Bunsen reaction experiment has been implemented. The equipment and materials of this experiment consist of pyrex glass and Teflon which were resisted to corrosion. The experiment has been performed by using reaction duration I₂ and H₂O composition as variable parameter, temperature and pressure as static variable. It shows that Bunsen reaction product increase with the increasing of I₂ and H₂O fraction and reaction duration. However, the increase of Bunsen reaction product will be limited to some amount of H₂O is 0,055 mol. The analyzed result for The Bunsen reaction product shown that the reactant produce is 5,6% and the remain reactants will performed the product continuously during the reactants product separated from the initial reactants.

Keywords: Bunsen reaction, optimization, hydrogen production

PENDAHULUAN

Bahan Bakar Minyak (BBM) saat ini sudah merupakan isu strategis yang sangat mempengaruhi kinerja kegiatan perekonomian. Indonesia pada saat ini mempunyai tingkat ketergantungan terhadap BBM cukup tinggi, sementara ketersediaan sumber daya tambang yang memproduksi BBM sangat terbatas. Oleh karena itu, salah satu cara yang cukup efektif untuk mengurangi ketergantungan yang mendalam terhadap BBM adalah dengan diversifikasi sumber energi menggunakan hidrogen. Hidrogen merupakan bahan bakar masa depan yang bersih dan ramah lingkungan untuk berbagai keperluan industri, transportasi, peralatan elektronik dan lainnya. Hal ini dapat memberikan

solusi terhadap masalah keterbatasan energi fosil, pencemaran lingkungan, dan isu pemanasan global yang ditimbulkan oleh penggunaan energi fosil tersebut. Target Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) sampai tahun 2025 adalah pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan. Saat ini kontribusi pemanfaatan energi baru dan terbarukan masih jauh dari target yang diharapkan yaitu 4,4 %^[1]. Untuk itu perlu diberikan suatu insentif terhadap pemanfaatan sumber energi energi baru dan terbarukan.

PTRKN (Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir) sebagai satuan kerja di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yang berada di bawah koordinasi Deputi Kepala BATAN Bidang Pengembangan Teknologi Energi Nuklir

(PTEN) mempunyai tugas dan fungsi (*core business*) yang diatur dalam Surat Keputusan Kepala BATAN No. 392/KA/XI/2005 yaitu melaksanakan pengembangan di bidang teknologi reaktor dan keselamatan nuklir. Dalam pengembangan penggunaan reaktor, Bidang Pengembangan Reaktor (BPR) - PTRKN, mempunyai tugas salah satunya adalah pengkajian teknologi pemanfaatan reaktor generasi lanjut, meliputi pengembangan konsep pemanfaatan reaktor kogenerasi untuk produksi hidrogen, desalinasi, pencairan dan gasifikasi batu bara, dan *enhanced oil recovery* (EOR) yang sesuai dengan ARN 2006-2009^[2]. Dalam perkembangan iptek yang sangat pesat, kini telah diketahui secara umum bahwa hidrogen adalah merupakan pembawa energi (*energy carrier*) yang fleksibel dan sangat baik^[3,4]. Untuk memasok kebutuhan hidrogen dimasa mendatang perlu dilakukan riset tentang teknologi produksi hidrogen. Secara umum pada saat ini telah dikenal tiga metoda untuk produksi hidrogen, yaitu dengan elektrolisis air (H₂O), reformasi uap metana (CH₄) dan proses pemecahan air secara termokimia.

Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami kondisi parameter teknologi proses reaksi Bunsen melalui berbagai eksperimen laboratorium dengan berbagai variasi parameter komposisi, waktu reaksi, agar dapat diperoleh produk yang optimal, untuk mewujudkan produksi hidrogen yang efisien. Hal ini sangat berguna untuk pengembangan penelitian produksi hidrogen skala pilot dan industri di masa mendatang.

TEORI

Teknologi proses produksi hidrogen secara termokimia telah didemonstrasikan di Jepang. Onuki dkk telah melakukan riset tentang proses reaksi bunsen untuk menunjang produksi hidrogen secara termokimia hidrogen^[5]. Penelitian ini kita lakukan dengan cara eksperimen di laboratorium untuk mengetahui secara pasti pengaruh penambahan air, Iodine serta pengaruh variasi waktu pada reaksi bunsen kemudian dilakukan analisis deskriptif sederhana melalui pembacaan grafik. Adapun peralatan eksperimen yang dipakai, kita rancang dan rangkai sendiri dengan memperhatikan aspek keselamatan. Proses produksi hidrogen ini hanya membutuhkan energi termal untuk memecahkan air menjadi hidrogen dan oksigen. Untuk mempermudah proses pemecahan digunakan katalis iodium dan sulfur, oleh karena itu proses ini terkenal sebagai Proses I-S (*Iodine-Sulfur*). Pemanfaatan energi termal dari suatu reaktor nuklir temperatur tinggi untuk memasok

energi yang dibutuhkan dalam pemecahan air secara termokimia akan meningkatkan efisiensi dari teknologi proses produksi hidrogen ini^[5].

Teknologi proses produksi hidrogen secara termokimia dengan proses I-S terdiri dari beberapa komponen proses reaksi kimia yang membentuk suatu siklus tertutup. Komponen proses reaksi kimia tersebut adalah :

- Reaksi Bunsen $I_2(l)+SO_2(g)+2H_2O(l)\rightarrow 2HI(aq)+H_2SO_4(aq)$
- Kestabilan produk reaksi Bunsen
- Pemisahan produk reaksi Bunsen
- Pemurnian produk reaksi Bunsen
- Dekomposisi produk reaksi Bunsen $H_2SO_4(aq)\rightarrow H_2O(l)+SO_2(g)+1/2O_2(g)$ dan $2HI(g)\rightarrow H_2(g)+ I_2(g)$

Dari reaksi tersebut di atas, terlihat bahwa reaksi Bunsen merupakan reaksi utama yang sangat penting dalam proses produksi hidrogen termokimia I-S. Oleh karena itu segala permasalahan pada reaksi Bunsen harus terlebih dahulu diketahui penyelesaiannya sebelum beranjak pada tahapan reaksi berikutnya, terutama untuk mewujudkan proses I-S siklus tertutup dalam memproduksi hidrogen secara efisien. Pada proses reaksi Bunsen diperlukan reaktan berupa SO₂, H₂O dan I₂ yang harus kontak sempurna sehingga menghasilkan HI dan H₂SO₄ yang optimal. Namun pada kondisi normal, fasa reaktan tersebut berbeda-beda yaitu SO₂(g), H₂O(l) dan I₂(s). Kondisi berbagai fasa tersebut menyulitkan kontak sempurna antar reaktan, sehingga proses terjadinya reaksi secara optimal sulit dicapai. Oleh karena itu diperlukan suatu kondisi proses reaksi sehingga produk reaksi Bunsen optimal. Berbagai permasalahan pada proses reaksi Bunsen yang perlu diteliti yaitu :

- Teknologi homogenisasi dalam pencampuran reaktan.
- Teknologi kontak antar reaktan.
- Optimasi parameter waktu dan temperatur terhadap produk reaksi.
- Teknologi rancang bangun peralatan untuk proses reaksi Bunsen.

Hipotesa untuk mengatasi permasalahan optimalisasi produk reaksi Bunsen adalah dengan mewujudkan kontak atau tumbukan sempurna antar reaktan melalui optimasi parameter reaksi yaitu: temperatur, tekanan, komposisi, durasi waktu dan kondisi fasa yang optimal. Penyelesaian dari permasalahan tersebut di atas adalah (i) membuat rancang-bangun suatu alat yang mampu mendistribusikan gas SO₂ sehingga terjadi kontak sempurna antar reaktan, (ii) menentukan temperatur dan teknik pencampuran sehingga I₂ tercampur secara optimal. (iii) memvariasikan parameter komposisi air, Iodin dan durasi waktu terkait dengan optimalisasi produk reaksi Bunsen. (iv)

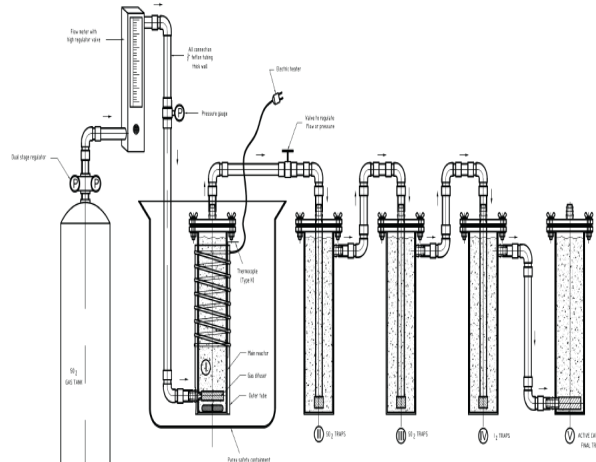
membuat rancang-bangun peralatan sehingga memudahkan pencampuran bahan reaksi Bunsen. Data hasil eksperimen akan dianalisis menggunakan metode turbidimetri. Lingkup penelitian ini adalah mengetahui kondisi parameter yang berperan dalam proses reaksi Bunsen yang optimal, melalui teknologi proses homogenisasi reaktan yang digunakan dalam proses reaksi Bunsen, optimalisasi teknologi proses kontak antar reaktan, optimalisasi pengaruh parameter waktu dan temperatur terhadap produk reaksi, rancang-bangun peralatan proses reaksi kimia untuk memperoleh produk reaksi Bunsen yang optimal.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium kimia PTRKN-BATAN Gd.80 Kawasan Puspittek Serpong pada tahun 2009. Beberapa tahap penelitian yang dilakukan, yaitu (1) membuat rancang-bangun peralatan eksperimen proses reaksi Bunsen, yang terdiri dari peralatan gelas pyrex serta pipa selang teflon, (2) melakukan optimalisasi distribusi gas SO_2 , proses optimasi ini dilakukan adalah pengetesan aliran SO_2 menggunakan kontrol regulator serta *flowmeter*. Dalam proses optimasi gas SO_2 ini perlu dipergunakan masker khusus sebagai proteksi diri terhadap gas SO_2 karena bersifat racun, (3) melakukan eksperimen untuk menentukan pengaruh komposisi H_2O sebesar 0,000; 0,033; 0,050; 0,066; dan 0,400 mol, (4) melakukan eksperimen untuk menentukan pengaruh durasi waktu reaksi yang berlangsung pada menit ke 10 sampai menit ke 90, (5) melakukan eksperimen untuk menentukan pengaruh komposisi I2 sebesar 0,0062; 0,0125; 0,0250; 0,0500; dan 0,075 mol pada temperatur kisaran 60-130 °C dan dilakukan pengadukan dengan kisaran 1500-2000 rpm sehingga I2 tercampur secara optimal. Eksperimen dilakukan pada kondisi tekanan uap air jenuh (sekitar 2 atm) dengan temperatur sekitar 120 °C untuk mencairkan padatan I2 sehingga reaksi berjalan sempurna. Seluruh produk reaksi hasil eksperimen dianalisis menggunakan metode turbidimetri menggunakan alat spektroskopi *infrared portable*.

Eksperimen optimasi reaksi Bunsen ini dimaksudkan untuk memperoleh kondisi optimum parameter reaksi yang terkait dengan produk reaksi Bunsen. Eksperimen dilakukan menggunakan peralatan reaktor Bunsen yang terdiri dari (i) pemanas listrik, (ii) reaktor gelas, (iii) Katup penahan tekanan gas SO_2 (iv) tabung berisi gas SO_2 dan regulator. Bahan reaktan eksperimen ini meliputi gas SO_2 , Iodin padat, dan H_2O . Adapun prosedur percobaan dalam penelitian ini yaitu (i) menyiapkan bahan reaktan I2, H_2O , dan gas SO_2 ,

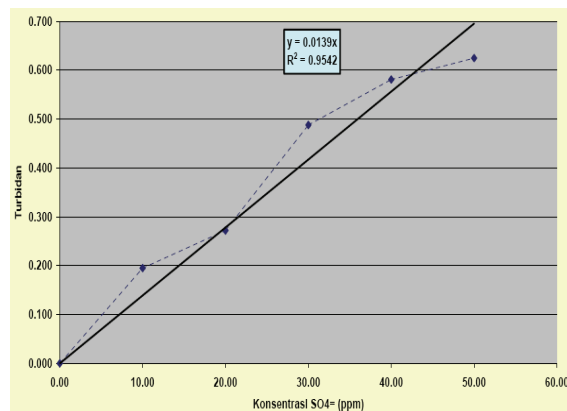
(ii) memasukkan ke dalam reaktor, (iii) memasukkan gas SO_2 ke dalam reaktor hingga bertekanan sekitar 2 bar, (iv) memanaskan reaktor hingga 120 °C, (v) menganalisis produk reaksi dengan metoda turbidimetri menggunakan spektroskopi *infrared portable*. Rangkaian peralatan reaktor Bunsen seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian peralatan reaktor Bunsen

HASIL DAN PEMBAHASAN

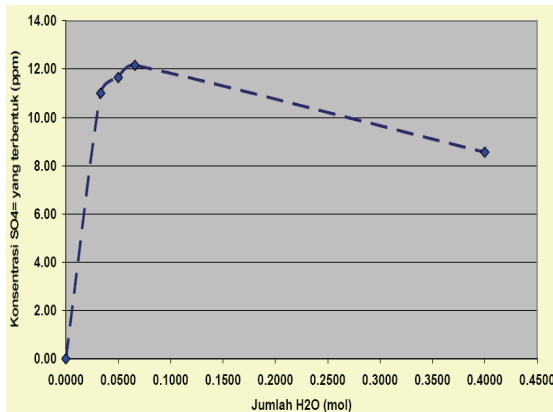
Gambar 2 menunjukkan grafik hasil kalibrasi alat ukur dengan metode turbidimetri. Relasi antara konsentrasi sulfat SO_4^{2-} dengan turbiditan adalah linier dengan representasi matematik $Y=0,0139x$ dan $R^2=0.9542$.



Gambar 2. Hasil kalibrasi pengaruh konsentrasi sulfat terhadap turbiditan Rangkaian

Ekperimen pengaruh komposisi H_2O sebagai reaktan terhadap hasil reaksi Bunsen dilakukan dengan mencampurkan reaktan I2 padat 0,025 mol, gas SO_2 tekanan 2 atm, dan air berturut turut 0,000; 0,033; 0,050; 0,066; dan 0,400 mol.

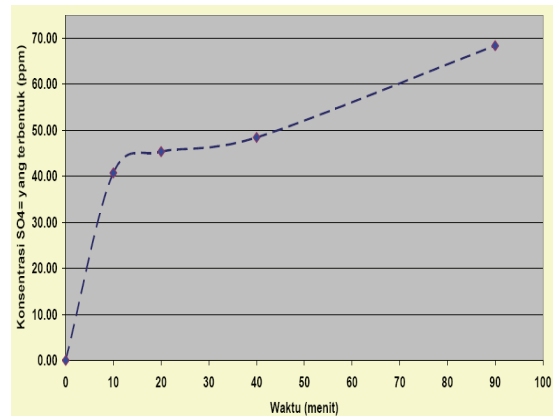
Hasil percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa dengan peningkatan komposisi H₂O terhadap komposisi reaktan I₂ dan SO₂ dalam reaktor dapat meningkatkan produk H₂SO₄, namun peningkatan ini berhenti pada komposisi penambahan air pada 0,055 mol. Dengan penambahan di atas 0,05 mol air, tampak terjadi penurunan produk yang cukup signifikan. Fenomena ini terjadi disebabkan penambahan air akan membuat konsentrasi reaktan menjadi lebih encer, sehingga terjadi penurunan kecepatan yang mengakibatkan penurunan produk reaksi Bunsen. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa dalam reaksi Bunsen, air tidak boleh berlebihan dan harus dalam fraksi tertentu dengan perbandingan komposisi 0,025 mol I₂, tekanan gas SO₂ 2 atm, dan air 0,055 mol.



Gambar 3. Pengaruh penambahan mol H₂O terhadap produk reaksi Bunsen

Pengaruh durasi waktu reaksi dilakukan dengan mencampurkan reaktan I₂ padat sebesar 0,025 mol, gas SO₂ pada tekanan 2 atm, dan air 0,4 mol dipanaskan pada suhu 120 °C dengan variasi durasi reaksi 10; 20; 40; dan 90 menit. Progres reaksi diamati melalui asam sulfat yang dihasilkan. Hasil percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa dengan peningkatan durasi waktu reaksi, maka produk reaksi Bunsen yang berupa asam sulfat (H₂SO₄), cenderung terus meningkat tanpa menunjukkan penurunan hingga pengamatan 90 menit. Tetapi pada awal reaksi terjadi yaitu pada 10 menit pertama, grafik meningkat sangat tajam. Hal ini menunjukkan telah terjadi reaksi yang sangat cepat. Dalam waktu 10 menit berikutnya grafik mengalami kenaikan yang selanjutnya cenderung stabil sampai menit ke 40. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi antar fasa masih terjadi dengan laju reaksi yang tetap. Reaksi pada durasi waktu 40 sampai 90 menit cenderung meningkat tetapi tidak setajam pada reaksi 10 menit pertama. Fenomena ini terjadi disebabkan oleh proses reaksi berjalan

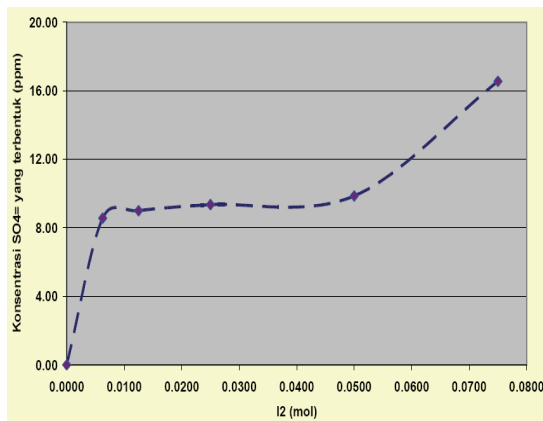
terus meningkat seiring dengan durasi reaksi. Hal ini disebabkan karena laju reaksi Bunsen berjalan relatif lambat mengingat reaktan-reaktan dalam reaktor adalah dalam fasa yang berbeda, yaitu SO₂ dalam fasa gas, H₂O dan I₂ dalam fasa cair setelah dipanaskan hingga 120 °C (dimana I₂ sudah dalam bentuk cair) sehingga dalam durasi 90 menit reaksi masih tetap berlangsung dengan laju yang tetap karena tanpa ada reaktan yang berkurang secara signifikan (tanpa ada yang habis). Hal inilah yang menyebabkan semakin lama durasi reaksi semakin banyak produk reaksi Bunsen yang dihasilkan. Dari data ini disimpulkan bahwa dalam kondisi komposisi reaktan tersebut belum diperoleh satu reaktan sebagai reaktan pembatasnya, sehingga reaksi belum mencapai optimal.



Gambar 4. Pengaruh durasi waktu reaksi terhadap reaksi Bunsen

Eksperimen pengaruh komposisi Iodin terhadap produk reaksi Bunsen dilakukan dengan mencampurkan reaktan I₂ padat berturut-turut 0,0062; 0,0125; 0,0250; 0,0500; dan 0,075 mol, gas SO₂ pada tekanan 2 atm, dan air 0,4 mol selanjutnya dipanaskan pada suhu 120 °C, progres reaksi diamati melalui asam sulfat yang dihasilkan. Hasil percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa dengan peningkatan komposisi Iodin terhadap komposisi reaktan H₂O dan SO₂ dalam reaktor dapat meningkatkan produk H₂SO₄, dan peningkatan ini terus meningkat seiring dengan peningkatan komposisi Iodin. Pada penambahan Iodin sebanyak 0,0062 ppm menunjukkan grafik yang meningkat secara signifikan, hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi yang cukup baik pada proses pereaksian antar 3 fasa yang berbeda. Grafik pada penambahan Iodin dalam rentang konsentrasi antara 0,0062 ppm sampai 0,05 ppm cenderung stabil. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi tetap berjalan hanya saja laju reaksinya cenderung tetap. Selanjutnya grafik pada penambahan Iodine pada konsentrasi 0,05 sampai 0,075 menunjukkan

peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan Iodin yang semakin banyak, reaksi cenderung meningkat. Dari hasil eksperimen yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan Iodin belum mencapai optimal, hal ini dikarenakan bahwa proses reaksi yang terjadi pada 3 fasa yang berbeda memang cukup sulit dilakukan, proses yang dilakukan adalah membuat 3 fase tersebut bereaksi dalam fase yang sama sehingga akhirnya tidak semuanya bisa bereaksi sempurna. Pada komposisi tersebut hanya air yang mencapai optimal, sedangkan Iodin dan durasi reaksi masih belum optimal. Pada kondisi eksperimen tersebut dihipotesakan bahwa jika produk reaksi Bunsen segera dipisahkan, maka optimasi untuk masing-masing reaktan akan dapat diperoleh.



Gambar 5. Pengaruh jumlah Iodin terhadap reaksi Bunsen

KESIMPULAN

Telah dilakukan riset tentang optimasi proses pembentukan HI dan H₂SO₄ pada reaksi bunsen untuk mendukung produksi hidrogen secara termokimia. Experimen dilakukan dengan bervariasi komposisi reaktan I₂ dan H₂O serta waktu reaksi, sedangkan komposisi SO₂ dan temperatur tetap pada 120 °C. Hasil percobaan menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan produk reaksi bunsen akibat penambahan komposisi reaktan I₂, H₂O serta durasi waktu reaksi. Tetapi penambahan H₂O peningkatan produk terbatas pada jumlah H₂O tertentu yaitu pada 0,055 mol. Hasil analisis produk yang dihasilkan sebesar 5,6 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025", (www.esdm.go.id), Jakarta, 2005.
2. ANONYMOUS, "Agenda Riset Nasional 2006-2009", BATAN, Jakarta, 2006.
3. ONUKI, *et al.*, "Thermochemical Hydrogen Production by Iodine - Sulfur Cycle", Prosiding 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Canada, 2002.
4. NAKAJIMA, *et al.*, "Closed Cycle Continuous Hydrogen Production Test by Thermochemical I-S Process", Kagaku Kougaku Ronbunsha, Vol.24, No.2, pp.252-355, 1998.
5. BROWN, LC., *et al.*, "High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power", Proposal to US-DOE prepared under Nuclear Energy Research Initiative Program, DE-FG03-99SF21888.