

ANALISIS PROSES PEMBENTUKAN HI_x UNTUK MENDUKUNG PEMISAHAN PRODUK REAKSI BUNSEN DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI HIDROGEN

Oleh

Tumpal Pandiangan

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS PROSES PEMBENTUKAN HI_x UNTUK MENDUKUNG PEMISAHAN PRODUK REAKSI BUNSEN DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI HIDROGEN. Salah satu keunggulan proses termokimia I-S dibanding dengan metode lainnya adalah adanya peluang peningkatan efisiensi termal dalam proses pembentukan produk reaksi Bunsen. Tujuan penelitian adalah memperoleh cara yang lebih baik dalam proses pemisahan hasil reaksi bunsen. Telah dilakukan eksperimen pencampuran bahan produk reaksi Bunsen dengan komposisi fraksi mol pembentuk senyawa dari HI_x ($2\text{HI} + 10\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2$) dan larutan asam sulfat dalam air ($\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$) pada temperatur sekitar 120°C dalam tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan. Karakteristika hasil reaksi setelah ditunggu sekitar 24 jam, secara visualisasi menunjukkan tampak dua fasa yang terpisah yang diperkirakan adalah fasa HI_x dan fasa larutan H_2SO_4 dengan H_2O . Fasa HI_x berada pada bagian bawah dan campuran asam sulfat dengan air pada bagian atas tabung reaksi. Apabila hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan H_2O , dan ditunggu selama 74 jam, campuran tersebut menjadi tidak terpisah, tetapi menjadi larut satu sama lain. Namun ketika produk hasil reaksi yang terpisah tersebut ditambah dengan asam sulfat, tampak kedua fasa tetap terpisah. Dengan mengontrol komposisi reaktan reaksi dapat memberi kemudahan dalam proses pemisahan produk reaksi Bunsen.

Kata kunci: Reaksi Bunsen, HI_x, termokimia, hidrogen

ABSTRACT

ANALYSIS OF HI_x SYNTHESIS PROCESS FOR SUPPORTING BUNSEN REACTION PRODUCT SEPARATION IN INCREASING HYDROGEN PRODUCTION. One of the I-S thermochemical advantage compared with the others method is a thermal efficiency challenged in its processing. The purpose of the research is to get a good knowledge of a separation method of the Bunsen reaction product. A thermal efficiency challenge is carried out by mixing of the Bunsen reaction product of the HI_x composition solution ($2\text{HI} + 10\text{H}_2\text{O} + 8\text{I}_2$) and the sulfuric acid phase and water solution ($\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$) at temperature 120°C and 1 atm during 1 hour of heating. The experiment product characteristic, after waiting of 24 hours confirm there are two separated phase of HI_x and the H_2SO_4 reaction as visualisation that was predicted. The HI_x exist on the bottom and the sulfat acid phase solution on the upper of reaction tube. If into that's reaction is added with H_2O and than waited during of 74 hours, the reaction product is to be not separated but remain in one solutions. But if into that's reaction product is added some of the H_2SO_4 , the two phase of reaction product are still separated. By a reaction composition controlling, it can give a supporting in the Bunsen reaction product separated.

Keywords: Bunsen reaction, HI_x, thermochemical, hydrogen

PENDAHULUAN

Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan bahwa pada tahun 2025 pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan mencapai 4,4 %^[1,2]. Pada saat ini kontribusinya masih sangat jauh dari target 4,4 %. Dibandingkan dengan prosentasi pemanfaatan BBM, kontribusi sumber energi baru dan terbarukan adalah sangat minim. Dengan perkembangan iptek yang sangat pesat, kini telah diketahui secara umum bahwa hidrogen

adalah merupakan pembawa energi (*energy carrier*) yang fleksibel dan sangat baik.

Salah satu permasalahan yang sangat signifikan dalam meningkatkan efisiensi termal produksi hidrogen yaitu proses pembentukan dan pemisahan komposisi HI_x ($\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{HI}$)^[3]. HI_x diharapkan terjadi di dalam tabung reaksi dengan cara menambah fraksi I₂ yang melebihi ukuran stoikometri reaksi Bunsen. Sedangkan kelebihan I₂ di dalam reaksi Bunsen diinginkan untuk membentuk HI_x. Hal ini dilakukan guna memberi kemudahan dalam hal proses pemisahannya dari asam sulfat. Melalui kemudahan ini diperoleh

peningkatan efisiensi termal produksi hidrogen. Keunggulan proses termokimia I-S dibanding dengan metode lainnya adalah peningkatan efisiensi termal tersebut yaitu pada bagian proses reaksi Bunsen proses termokimia I-S. Pada penelitian ini, peluang efisiensi termal diupayakan pada proses reaksi Bunsen tersebut.

Telah dilakukan eksperimen pencampuran bahan reaksi untuk komposisi fraksi mol pembentukan senyawa HIx dan senyawa larutan asam sulfat dengan komposisi $2\text{HI}+14\text{H}_2\text{O}+8\text{I}_2+\text{H}_2\text{SO}_4$ pada temperatur sekitar $120\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan dan diharapkan akan terjadi senyawa HIx yang mengendap dan H_2SO_4 yang berada di bagian atasnya. Ke dalam hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan H_2O dan atau H_2SO_4 dibiarkan selama 74 jam, kemudian diamati pengaruh penambahan tersebut terhadap sifat pemisahan produk reaksi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu kondisi yang dapat membentuk senyawa HIx dan mengetahui bagaimana pengaruhnya terhadap kelebihan fraksi mol baik dari H_2O maupun H_2SO_4 .

METODOLOGI

Bahan

- (i) Senyawa HI
- (ii) I_2 dan H_2O
- (iii) Detektor temperatur
- (iv) Pemanas listrik
- (v) Tabung reaksi
- (vi) Tabung pemanas tabung reaksi

Prosedur

Dilakukan pencampuran pada komposisi HIx, kemudian dipanaskan pada temperatur sekitar $120\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm. Tabung reaksi yang berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam bejana yang sudah berisi oli. Kemudian oli dipanaskan oleh plat pemanas listrik. Pemanasan dilakukan sekitar 1 jam. Eksperimen dilakukan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Eksperimen yang dilakukan

TEORI

Proses produksi hidrogen secara termokimia dengan proses I-S terdiri dari beberapa komponen proses atau reaksi kimia yang membentuk suatu siklus tertutup. Komponen reaksi kimia tersebut adalah: (i) reaksi Bunsen ($\text{I}_2(\text{l})+\text{SO}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{l})\rightarrow 2\text{HIx}+\text{H}_2\text{SO}_x$); (ii) pemisahan hasil reaksi Bunsen; (iii) pemurnian hasil reaksi Bunsen dan (iv) dekomposisi hasil reaksi Bunsen ($\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})\rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})+\text{SO}_2(\text{g})+ 1/2\text{O}_2(\text{g})$ dan $2\text{HI}(\text{g})\rightarrow \text{H}_2(\text{g})+\text{I}_2(\text{g})$). 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 mencapai tujuan akhir yaitu mewujudkan proses I-S siklus tertutup dan memproduksi hidrogen secara efisien. Kombinasi dari beberapa reaksi kimia eksoterm dan endoterm yang membentuk suatu proses termokimia tertentu dapat menurunkan temperatur proses pemecahan air menjadi hidrogen dan oksigen. Pemecahan air secara langsung membutuhkan temperatur $5000\text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan dengan proses termokimia, pemecahan air dapat berlangsung pada temperatur maksimum $850\text{ }^\circ\text{C}$, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokan reaksi Bunsen dan reaksi pemisahan^[4]

| No | Reaksi kimia | Suhu reaksi ($^\circ\text{C}$) | Status Termokimia |
|----|---|----------------------------------|-------------------|
| 1 | $\text{SO}_2+\text{XI}_2+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4+2\text{HIx}$ (Reaksi Bunsen) | 120 | Eksoterm |
| 2 | $\text{H}_2\text{SO}_4\rightarrow \text{H}_2\text{O}+\text{SO}_2+1/2\text{O}_2$ (Reaksi komposisi) | 850 | Endoterm |
| 3 | $2\text{HIx}\rightarrow 2\text{HI}+(\text{X}-1)\text{I}_2$ (Reaksi pemurnian) | 300 | Endoterm |
| 4 | $\text{HI}\rightarrow \text{H}_2+\text{I}_2$ (Reaksi ekomposisi) | 400 | Sedikit endoterm |
| 5 | $\text{H}_2\text{O}\rightarrow \text{H}_2+1/2\text{O}_2$ (Reaksi ekomposisi) | 5000 | Sangat endoterm |

Reaksi nomor 1 – 4 adalah gabungan reaksi eksoterm dan endoterm yang membentuk proses termokimia pemecahan air menggunakan katalis I_2 dan SO_2 (*Iodine-Sulfur* / I-S). Proses termokimia ini membutuhkan air dan katalis I-S, dan hasil proses adalah hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) serta

I-S yang dapat dipakai kembali sebagai katalis. Dalam proses termokimia ini temperatur reaksi maksimal 850 °C, jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan temperatur reaksi pemecahan air secara langsung 5000 °C. Masalah pada reaksi Bunsen yaitu (a) produk reaksi bunsen adalah berbentuk HIx dan H₂SO₄x untuk itu sebelum diuraikan menjadi H₂ dan I₂ maka terlebih dahulu dimurnikan menjadi HI dan H₂SO₄; dan (b) keterbatasan data dukung termodinamika proses.

Proses SI pertama kali dikembangkan oleh *General Atomic* (GA) dalam tahun 70-an dan awal 80-an. Proses SI mempunyai keuntungan karena semua reaktan dan produk adalah dalam bentuk cair. Temperatur I₂ adalah 386,85K sehingga reaksi Bunsen dilakukan pada temperatur 393K. Pada temperatur ini reaksi tidak disukai, energi bebas berubah saat $\Delta G_{400K} = +82$ KJ/mol. GA menemukan bahwa operasi pada kondisi *non stoichiometric* dengan menggunakan I₂ dan H₂O yang berlebih sehingga konversi ditingkatkan lebih besar. Kelebihan I₂ akan menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen untuk menghasilkan asam yang lebih banyak. Yang paling penting dalam hal tersebut adalah proses tersebut membuat terjadinya pemisahan produk dua larutan *aqueous* secara spontan, salah satunya asam sulfur (fasa ringan) dan lainnya adalah asam polyhydriodic (HIx, fasa berat). Penemuan sifat-sifat ini telah banyak menyelesaikan pemisahan yang sangat sulit. Pemisahan fasa terjadi adalah akibat dari formasi asam *polyhydriodic* dimana anion disolvasi oleh *diodine* molekul. Sebagai mana HI, I₂ dan H₂O, larutan HIx mengandung ion-ion I³⁻ dan sejumlah proton polyiodine kompleks, yaitu I₂H⁺, I₄H⁺ dan I₆H⁺, Calabrese dan Khan, 2000^[5].

Karakteristik pemisahan H₂SO₄ dan HI diperbaiki dengan meningkatkan konsentrasi I₂, Sakura dkk, 2000. Bagaimana pun konsentrasi diatas saturasi I₂, komposisi kedua fasa tetap konstan. Pada jumlah H₂O yang berlebih juga menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen untuk menghasilkan lebih banyak asam tetapi hal itu juga menyebabkan perubahan substansi dalam entalpi reaksi disebabkan oleh kelarutan asam. Senyawa hasil reaksi Bunsen secara stokiometri antara H₂SO₄ dan HI, dengan persamaan reaksi $H_2SO_4 + 6HI \rightarrow S + 3I_2 + 4H_2O$ dan $H_2SO_4 + 8HI \rightarrow H_2S + 4I_2 + 4H_2O$. Namun dengan alasan kemudahan dalam pemisahan HI dari H₂SO₄, maka komposisi reaksi Bunsen dibuat tidak stokiometri yaitu dengan menambahkan I₂ yang berlebih dari yang seharusnya.

HASIL DAN DISKUSI

Reaksi Bunsen menghasilkan produk HI dan H₂SO₄ dan juga reaksi samping berupa endapan sulfur (S) dan gas H₂S. Produk reaksi samping akan mengurangi produk HI dan H₂SO₄. Selain itu, HI dan H₂SO₄ adalah bersifat polaritas sehingga sukar dalam proses pemisahan antara kedua produk. Untuk mengatasi kedua hal tersebut di atas dilakukan penambahan fraksi reaktan I₂ dan pengontrolan besar fraksi H₂O yang tepat, sehingga terbentuk senyawa HIx (2HI+10H₂O+8I₂) dan (H₂SO₄+4H₂O). Hasil eksperimen pencampuran reaksi dengan komposisi fraksi mol pembentukan HIx pada temperatur sekitar 120 °C pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan menunjukkan terdapat dua fasa yang terpisah yaitu fasa HIx pada bagian bawah tabung reaksi dan fasa campuran asam sulfat dengan air pada bagian atas tabung reaksi seperti pada Gambar 2. Hasil penelitian ini mirip dengan hasil penelitian orang lain dari Itali^[6] dimana kedua hasil penelitian ini membentuk dua fasa lapisan yaitu lapisan yang ada pada bagian bawah yang lebih keruh dan lapisan atas yang lebih bening. Lapisan bawah adalah fasa HIx dan lapisan atas adalah fasa campuran H₂SO₄ dan air. Pemisahan hasil reaksi terjadi karena adanya perbedaan berat jenis yang signifikan antara HIx dengan asam sulfat, sehingga daya tarik gravitasi terhadap HIx lebih besar dari pada daya tarik gravitasi pada asam sulfat. Hal ini membuat HIx berada pada bagian bawah tabung reaksi, sedangkan asam sulfat berada pada bagian atas tabung reaksi. Apabila hasil reaksi yang terpisah ini ditambah dengan H₂O, dan dibiarkan selama 74 jam, campuran tersebut menjadi tidak berpisah seperti pada Gambar 3, namun bila produk yang terpisah tersebut ditambah dengan asam sulfat, maka kedua fasa tetap terpisah seperti dalam Gambar 4.

Pencampuran dengan penambahan H₂O terhadap campuran dua fasa yang terpisah di atas diduga akan terjadi pelepasan ikatan I₂ dari HIx dan kemudian disubstitusi oleh H₂O sehingga mengubah HIx menjadi lebih encer dan kemudian HIx larut dalam asam sulfat sehingga tidak terjadi pemisahan antara kedua fasa tersebut, sedangkan penambahan dengan asam sulfat tidak dapat mengganggu ikatan HIx dengan I₂ (HIx) sehingga ke dua fasa HIx dan larutan (H₂SO₄, H₂O) tetap terpisah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bila fraksi mol H₂O lebih besar dari 14/25 bagian, maka akan mengganggu ikatan senyawa HIx sedangkan kelebihan H₂SO₄ dari 1/25 fraksi mol tidak dapat mengganggu ikatan HIx, sehingga kedua fasa tetap berpisah berdasarkan daya tarik gravitasi yang berbedah. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian dari General Atomic. General Atomic

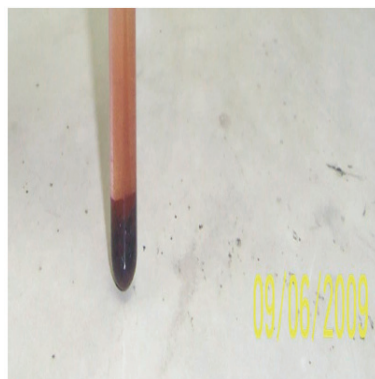
menemukan bahwa operasi pada kondisi *non stichimetric* dengan menggunakan I₂ dan H₂O yang berlebih dalam tabung reaksi Bunsen sehingga membuat konversi dapat ditingkatkan menjadi lebih besar. Kelebihan I₂ dalam tabung reaksi Bunsen dapat menggeser maju kesetimbangan reaksi Bunsen guna menghasilkan produk asam yang lebih banyak.



Gambar 2. Larutan HIx dan H₂SO₄ yang terpisah



Gambar 3. Larutan HIx dan H₂SO₄ yang tidak terpisah



Gambar 4. Larutan HIx dan H₂SO₄ yang ditambah H₂SO₄

Yang paling penting dalam hal tersebut adalah proses tersebut membuat terjadinya pemisahan produk dua larutan *aqueous* secara spontan, salah satunya yaitu asam sulfur (fasa ringan) dan satunya lagi adalah asam *polyhydriodic* (HIx, fasa

berat). Pemisahan fasa terjadi adalah akibat dari formasi asam *polyhydriodic* dimana anion anion *disolvasi* oleh *diiodine* molekul. Sebagai mana HI, I₂ dan H₂O, larutan HIx mengandung ion-ion I₃- dan sejumlah proton *polyiodine* kompleks, yaitu I₂H⁺, I₄H⁺ dan I₆H⁺, Calabrese and Khan, 2000.

KESIMPULAN

Proses pembentukan HIx dipengaruhi oleh komposisi pembentuknya, bila kelebihan H₂O akan membentuk senyawa polar yang larut dalam asam sulfat sehingga campuran tersebut sukar untuk dipisahkan, sedangkan dengan kelebihan asam sulfat tidak mempengaruhi pemisahan campuran tersebut. Hasil eksperimen pencampuran dengan komposisi fraksi mol 2HI+10H₂O+8I₂ dan H₂SO₄+ 4H₂O pada temperatur sekitar 120 °C pada tekanan 1 atm, selama 1 jam pemanasan akan membentuk senyawa HIx yang dapat dipisahkan menjadi dua fasa larutan yaitu fasa kaya HI dan fasa kaya asam sulfat.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

1. PANDIANGAN, T., "Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Reaksi Samping Reaksi Bunsen untuk Produksi Hidrogen", dokumen PTRKN-BATAN.
2. ANONYMOUS, "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025", (www.esdm.go.id), Jakarta, 2005.
3. ONUKI, *et al.*, "Thermochemical Hydrogen Production by Iodine - Sulfur Cycle", Prosiding 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Canada, 2002.
4. 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.
5. 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.
6. RACHAEL, H., *et al.*, "Use of Membranes and Reactive Distillation for the Separation of HIx in the Sulphur-Iodine Cycle", Departement of Chemical and Process Engineering, University of Sheffield, Mappin St, Sheffield S13JD, UK.