

KAJIAN PRODUKSI ENERGI HIDROGEN MENUJU TRANSISI EKONOMI BEBAS CO₂ : SEBUAH TINJAUAN PUSTAKA

Sutarno¹, Abdul Malik²

Jurusan Teknik Kimia – Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia^{1,2)}

Jl. Kaliurang Km.14,5, Sleman, Yogyakarta, 55584

E-Mail : sutarno.pset@gmail.com¹, malik_fti@yahoo.com²

ABSTRACT

The energy demand of the world is foreseen to be increased due to improvements on the living standard of developing countries and the development of global economy. The increase in sustainability of energy supply must be considered as a must to avoid spoiling natural resources for the next human generations and more dramatic effects such as global atmospheric warming. The utilization of CO₂-free energy sources, as renewable energy, is one of the most promising way. Nevertheless, massive energy production with such energy sources are far from being practically feasible in short-medium term and an innovative solution should be put implemented CO₂. This general assumption is also applicable to any energy carrier such as hydrogen or electricity. In this paper, analysis of the hydrogen production processes conducted and the discussion of the need to develop a CO₂-free production scheme like methane cracking is shown.

Keywords : Hydrogen, Low-Carbon, Methane Cracking.

1. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan manusia yang paling penting adalah bagaimana mencukupi kebutuhan energi yang diperlukan untuk mempertahankan standar hidup dan perkembangan masa depan. Sistem energi saat ini terutama didasarkan pada pemanfaatan bahan bakar fosil melalui oksidasi, memproduksi gas rumah kaca yang mengacaukan keseimbangan (*misbalance*) siklus karbon yang berlangsung di atmosfer. *Misbalance* tersebut akan menimbulkan efek bencana iklim yang dimasukkan ke dalam resiko tidak hanya konfigurasi bentang darat (permukaan laut, *gletser*, hutan, dan sebagainya) ini, tetapi juga lingkungan manusia seperti dalam kasus pertanian (aliran udara, kenaikan suhu, nasib ekosistem) (*World Energy Technology Outlook*. 2006). Masalah lingkungan tentang perubahan iklim dan ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas di masa depan memaksa transformasi sistem energi dari skema terutama yang berbasis pembakaran bahan bakar fosil dengan suatu sumber energi berbasis bebas CO₂ berkelanjutan. Tujuan kajian ini adalah untuk mengembangkan skema produksi bebas CO₂.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Produksi Hidrogen dan Bahan Bakar Fosil

Ada berbagai macam metode untuk menghasilkan hidrogen. Secara singkat, metode - metode tersebut adalah :

1. **Elektrolisis** : untuk memecah molekul air dengan cara listrik. Energi primer menjadi bisa energi terbarukan bebas CO₂ seperti PV, angin, panas matahari, dan sebagainya, serta nuklir. Teknologi produksi listrik berbahan bakar fosil berbasis batubara, minyak atau gas alam seperti pembangkit listrik tenaga batubara (PLTB), pabrik - pabrik bersiklus kombinasi, dapat digunakan dengan mengkombinasikan dengan menangkap dan mengasingkan karbon (*Carbon Capture and Sequestration / CCS*) atau menangkap dan menggunakan karbon (*Carbon Capture and Use / CCU*). Di antara metode ini, dekomposisi pancaran-plasma (*plasma-arc*) gas alam dapat juga dimasukkan.
2. **Hidrogen Sulfida (H₂S) Cracking** dengan metode katalitik termal atau reaksi siklus.

3. **Proses Termokimia**, dengan bahan bakar fosil dan air menggunakan energi panas langsung dari panas energi terbarukan atau energi nuklir, seperti gasifikasi batubara dan reformasi bahan bakar fosil dikombinasikan dengan CCS atau CCU. Siklus termokimia, berbasis oksida / oksida logam, atau siklus sulfur, di anjurkan dengan sumber panas dari energi terbarukan, baik itu dari energi matahari ataupun nuklir.
4. **Proses Biokimia**, dengan biomassa sebagai sumber hidrogen dan air, seperti biofotolisis, foto - fermentasi, menggunakan energi matahari didalam mengkombinasikan dengan bakteri atau reformasi dan gasifikasi biomassa.

Di antara pilihan ini, portofolio teknologi skenario energi menganggap bahwa untuk produksi hidrogen, teknologinya sebagai berikut :

- Gas *Steam Reforming*, dengan / tanpa menangkap CO₂.
- Oksidasi parsial batubara, dengan / tanpa menangkap CO₂.
- Pirolisis Biomassa.
- Termolisis surya suhu tinggi.
- Termolisis Nuklir suhu tinggi.
- Elektrolisis air, berbasis nuklir, angin atau berbasis listrik.

Saat ini, sekitar 48% hidrogen berasal dari reformasi uap gas alam, 30% dari nafta / reformasi minyak dalam industri kimia dan 18% dari gasifikasi batubara. Angka - angka ini menyiratkan bahwa 96% produksi hidrogen di dunia berasal dari fosil, dengan jumlah sensitif emisi CO₂. Hanya 4% dari total produksi hidrogen di seluruh dunia berbasis elektrolisis air (Guerrero-Lemus & Martínez - Durant, 2010), yang dapat disesuaikan dengan produksi bebas CO₂ jika diproduksi dengan sumber - sumber terbarukan. Fakta ini merupakan konsekuensi dari daya saing biaya metode produksi.

Diharapkan pengembangan teknologi terbarukan bisa membawa elektrolisis air dari angin dan matahari, atau solar termokimia untuk menghadapi pasar yang kompetitif. Namun demikian, diharapkan bahwa bahan bakar fosil akan memainkan peranan penting dimasa depan. Misalnya, perkiraan untuk produksi hidrogen dari Komisi Eropa (EU 2038, 2016.) mengasumsikan bahwa 30% dari produksi hidrogen pada tahun 2050 akan berasal dari batubara, dan yang akan menggantikan reformasi uap gas alam (*natural gas steam reforming*) sebagai sumber fosil utama karena dari segi bahan baku harganya lebih menguntungkan. Di antara sumber energi bebas CO₂, nuklir akan menempati 15% dan energi terbarukan sekitar 60%.

Metode produksi hidrogen yang berbasis teknologi bebas CO₂ adalah harapan besar untuk pelaksanaan masa depan ekonomi hidrogen berkelanjutan. Bagaimanapun, mereka masih dalam tahap pengembangan, dan tahap transisi membutuhkan perubahan pasar produksi hidrogen berdasarkan fosil dengan emisi CO₂ ke suatu sistem berbasis energi terbarukan secara penuh yang bebas CO₂, yang akan mampu mendorong ekonomi berbasis hidrogen, atau penggunaan sebagian besar hidrogen sebagai energi.

Sebagai teknologi tambahan yang dikaji untuk transisi ini, dekarburisasi metana atau *methane cracking* adalah sebuah proses yang terbukti secara ilmiah didasarkan pada pemisahan metana ke dalam komponen-komponen atomnya (karbon dan hidrogen), memperoleh hidrogen tanpa emisi CO₂. Tabel 1 menunjukkan perbandingan dasar antara *methane cracking* dan metode produksi hidrogen yang paling relevan dari bahan bakar fosil. Baik dengan gasifikasi batubara ataupun reformasi uap gas alam, emisi CO₂ dapat menghindari aplikasi secara penuh penangkapan dan pengasingan karbon, yang mana dianggap sebagai teknologi adaptasi, sebagai risiko pelepasan gas yang memungkinkan adanya emisi akhir ke atmosfer.

Tabel 1. Perbandingan Bahan Bakar Fosil Berdasarkan Proses Produksi Hidrogen

	Reformasi Uap Metana	Gasifikasi Batubara	Pirolisis Metana
Reaksi	CH₄+2H₂O=CO₂+4H₂	C+2H₂O=CO₂+2H₂	CH₄=C+2H₂
Panas reaksi kJ (mol C) ⁻¹ .	235,00	178,15	74,85
Panas reaksi kJ (mol H ₂) ⁻¹ .	63,25	89,08	37,43
Efisiensi energi waktu transformasi (%).	74	60	55
Efisiensi energi pada CCS (%).	54	43	55
Emisi CO ₂ , mol CO ₂ (mol H ₂) ⁻¹ .	0,34	0,83	0,05
Emisi CO ₂ dengan sumber energi bebas CO ₂ , mol CO ₂ (mol H ₂) ⁻¹ .	0,25	0,5	0
Produksi CO ₂ dengan sumber energi bebas, CO ₂ kg GJ ⁻¹ .	61,1	150,9	0
Produksi karbon kg GJ ⁻¹ .	0	0	24,8

Disisi lain, *methane cracking* tidak menghasilkan CO₂, tapi pengumpulan karbon harus dikelola, baik sebagai limbah, atau sebagai komoditas untuk tujuan lain.

Perkembangan *methane cracking* membuka jalan untuk mengeksplorasi sumber daya gas alam yang diketahui sangat banyak dapat menghindari emisi CO₂. Pemanfaatan bahan bakar fosil dalam banyak kasus yang menunjukkan berdasarkan 'bisnis biasa' membuktikan bahwa konsentrasi atmosfer membentuk emisi gas rumah kaca pada sekitar 650 ppm, sehingga kenaikan suhu 3,5°C dalam jangka panjang, kemungkinan jauh di bawah target 2°C yang diterima umum. Oleh karena itu perlu banyak usaha yang harus dilakukan untuk melengkapi mekanisme dan teknologi yang bisa menghindari situasi tersebut.

Salah satu masalah utama untuk mengembangkan *methane cracking* adalah stabilitas ikatan C-H yang kuat, yang menyiratkan kebutuhan suhu yang sangat tinggi.

Energi *Gibbs* menyatakan bahwa untuk reaksi dekarburisasi metana sama dengan nol pada 819 K (°C) (Villacampa et al., 2003), Hal ini menyiratkan bahwa reaksi ini secara teoritis akan berlangsung di atas suhu ini. Namun demikian, ambang batas energi ini dapat dipengaruhi oleh komponen lain yang dapat dimasukkan dalam reaksi, sebagai katalis atau media reaksi. Beberapa peneliti bekerja dalam upaya untuk mengimplementasikan praktek reaksi ini.

Mereka pada dasarnya mendasarkan pada panas langsung *methane cracking*, yaitu oleh Rodat et al, 2011; Dahl et al, 2004; Steinberg, 1999; Hirsch, 2004, atau dengan panas katalis *methane cracking*, yaitu oleh Suelves, 2007 ; Villacampa et al., 2003; Muradov & Veziroglu, 2008. Dengan kedua metode ini masih ditemukan kesulitan yang signifikan yang masih belum terpecahkan karena pembentukan kokas juga menghasilkan penyumbatan sistem, atau me non aktifkan katalis secara cepat, yang membuat proses sangat sulit untuk di aplikasikan pada skala industri.

2.2. Biaya Produksi Hidrogen

Biaya hidrogen dimasa depan memiliki beberapa ketidakpastian yang akan tergantung pada perkembangan teknologi produksi hidrogen dari sumber energi terbarukan, dan harga bahan bakar fosil. Di sisi lain, ada banyak komponen biaya yang terpisahkan untuk pengiriman hidrogen yang akan membuat perbedaan. Biaya hidrogen tergantung pada biaya teknologi produksi (yang terdiri dari investasi modal, operasi & pemeliharaan dan biaya bahan baku), dan biaya transportasi hidrogen.

Tabel 2 menunjukkan biaya produksi rata - rata beberapa teknologi produksi hidrogen. Cara yang paling kompetitif untuk produksi hidrogen berdasarkan gasifikasi batubara dan reformasi uap metana. Namun demikian, penerapan teknologi tersebut harus dilaksanakan dengan penangkapan dan pengasingan karbon (*Carbon Capture and Sequestration / CCS*) untuk menghindari dampak lingkungan atau dampak dari gangguan yang ditimbulkan oleh karbon yang akan dibebankan pada sumber emisi CO₂. Penerapan CCS meningkatkan biaya produksi lebih dari 30% dalam beberapa kasus sebagai akibat dari sebagian besar energi yang harus digunakan untuk penyerapan karbon dan pengelolaannya. Produksi hidrogen dari *cracking metana* telah dianalisis oleh penulis yang berbeda, dan khususnya, dalam proyek SOLYCARB (Rodat et al, 2011; Sattler, 2009). Proyek SOLHYCARB adalah proyek yang didanai Komisi Eropa (FP6) bertujuan pengembangan suhu tinggi skala pilot reaktor surya yang menghasilkan hidrogen dan karbon hitam oleh *cracking* hidrokarbon. Sepuluh lembaga (pusat penelitian, universitas, perusahaan) berkolaborasi dalam rangka konsorsium SOLHYCARB.

Pabrik percontohan SOLHYCARB didasarkan pada reaktor surya SR50 (*level* daya 50 kW). Operasinya pada tungku surya PROMES Font Romeu (Prancis) 1 MW CNRS akan menunjukkan bahwa kombinasi energi surya terkonsentrasi dan sebuah proses baru dengan matahari suhu tinggi merupakan rute yang efisien untuk menghasilkan dua produk berharga - hidrogen dan karbon nanopartikel (karbon hitam) - dari pemisahan metana. Untuk proses produksi hidrogen, diperkirakan menelan biaya sekitar 3- 4 \$ (kg H₂)⁻¹ (Sattler, 2009), yang jelas tidak kompetitif dibandingkan dengan teknologi bahan bakar fosil yang ada pada kondisi teknologi menara surya (*solar tower*) saat ini, yang mampu mencapai suhu yang diperlukan untuk *cracking* panas langsung (> 1000°C). Namun demikian, biaya target potensial akan berkurang jika biaya *heliostat* (biaya tdk semestinya) dan biaya penerima (kurator) berkurang, karena merupakan investasi modal yang besar.

Disisi lain, dalam masa transisi, dimana teknologi surya harus dikembangkan untuk mencapai pengurangan biaya sensitif, pembakaran hidrogen yang dihasilkan dalam sistem dapat mendorong reaksi *dekarburisasi metana*. Dalam hal ini, biaya modal dari peralatan surya terhapus, dan biaya produksi hidrogen dapat diharapkan akan berkurang sehingga menjadi kompesisi dengan reformasi *steam metana* tanpa penangkapan dan pengasingan karbon. Dalam kondisi apapun, pengembangan industri teknologi ini harus dipertimbangkan untuk mencapai tujuan ini, yaitu biaya produksi hidrogen yang rendah.

Tabel 2. Biaya Teknologi Produksi Hidrogen

Teknologi	Bahan bakar / Energi	Biaya produksi (\$ kg⁻¹)	Referensi
<i>Central Steam Reforming</i>	Gas Alam	1,5	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant, 2010; Pregger, 2009
<i>Distrib. Steam Reforming</i>	Gas Alam	2,6	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Gasifikasi	Batu Bara	1,2	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Gasifikasi dengan CCS	Batu Bara	1,8	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant, 2010; Pregger, 2009
Gasifikasi	Biomasa	1,4	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Elektrolisis Terpusat	Jaringan Listrik	6,8	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Elektrolisis Terpusat	Angin	3,8	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Elektrolisis Terpusat	Angin	7,3	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
Siklus Termokimia	Nuklir	1,4	Guerrero-Lemus & Martínez-Durant 2010
<i>Pyrolysis / Cracking</i>	Gas Alam + Surya	3,0	Villacampa et al., 2003; Hirsch, 2004
<i>Pyrolysis / Cracking</i>	Gas Alam + Surya	3,6	Muradov & Veziroglu, 2008
<i>Pyrolysis / Cracking</i>	Gas Alam + Surya	4,5	Dahl et al., 2004
<i>Steam Reforming</i>	Gas Alam + Surya	2,2	EU project SOLREF
<i>Elektrolisis FV</i>	Surya	9,1	Pregger, 2009
<i>Solar Thermoch. S Cycles</i>	Surya	5,3	Pregger, 2009
<i>Sol Thermoch. Oxide / Metal</i>	Surya	8,3	Pregger, 2009

3. KESIMPULAN

Transisi untuk produksi hidrogen rendah karbon harus mengikuti proses dimana bahan bakar fosil akan memainkan peranan penting dalam memasok kebutuhan pasar hidrogen dengan mengembangkan teknologi yang memanfaatkan energi terbarukan (seperti : *fuel cell*, aplikasi *mobile*, *fuel cell* hibrida / mesin pembakaran internal), asalkan ketersediaan hidrogen dengan harga yang wajar.

Perkembangan teknologi teknik produksi yang berkelanjutan, berbasis energi terbarukan (angin, surya, biomassa) akan memungkinkan penggantian secara bertahap dari hidrogen karbon rendah berbasis fosil. Dalam transisi ini, masalah lingkungan yang berkaitan dengan emisi gas rumah kaca ke atmosfer adalah masalah yang sangat penting, yang akan menuju ke skenario produksi hidrogen, baik itu yang menangkap karbon maupun penyerapan atau *dekarburisasi* dapat diterapkan sebagai langkah mitigasi atau adaptasi untuk menghindari pelepasan CO₂.

Disisi lain, Hidrogen juga dipertimbangkan sebagai pembawa energi yang bisa memiliki peran penting dalam mengurangi dampak lingkungan dari bahan bakar fosil. Secara khusus, transformasi gas alam atau batubara menjadi hidrogen merupakan alternatif untuk mengurangi pelepasan CO₂ oleh proses pembakaran baik di sektor transportasi ataupun untuk produksi listrik. Dalam hal ini, pengembangan teknologi bebas CO₂ untuk mengeksploitasi bahan bakar fosil adalah suatu keharusan untuk membuat pemanfaatannya cocok (*compatible*) dengan pengurangan emisi. Solusi inovatif baru harus dimasukkan ke dalam praktek. Untuk mencapai tujuan ini, *methane cracking* adalah alternatif yang menjanjikan, karena dengan *methane cracking* biaya produksi lebih rendah dan pengurangan dampak lingkungan akibat hidrokarbon lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dahl, J.K., Buechler, K.J., Weimer, A.W., Lewandowski, A., Bingham, C. Solar-thermal dissociation of methane in a fluid-wall aerosol flow reactor. *Int. J. Hydrogen Energy* 29, 725–736, 2004.
- EU project SOLREF, Hydrogen production via solar reforming of Hydrocarbons, <http://www.pre.ethz.ch/research/projects/?id=solrefdiakses> 06-09-2016.
- Guerrero-Lemus. R & Martínez-Durant. J.M. *Updated hydrogen production cost and partities for conventional and renewable technologies*. *International Journal of Hydrogen Energy* 35, 3929–3936, 2010.
- Hirsch. D, Steinfeld. A, *Solar Hydrogen production by thermal decomposition of natural gas using a vortex - flow reactor*. *International Journal of Hydrogen Energy* 29, 47 – 55. Muradov, 2004.
- N., Veziroglu, T.N. *Green' path from fossil - based to hydrogen economy: An overview of carbon - neutral technologies*. *Int. J. Hydrogen Energy* 33, 6804–6839, 2008.
- Pregger. T, Graf. D, Krewitt. W, Sattler. C, Roeb. M, Möller. S. *Prospects of solar thermal hydrogen production processes*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 4256– 4267, 2009.
- Rodat, S. Abanades S, Flamant. G,. *Co-production of hydrogen and carbon black from solar thermal methane splitting in tubular reactor prototype*. *Solar Energy* 85, 645–652, 2011.
- Sattler. C. *From a pilot solar reactor to an industrial plant, Process analysis and cost issues*. SOLHYCARB Event, Odeillo, 28 September, 2009.
- Steinberg. M. *Fossil fuel decarbonisation technology for mitigating global warning*. *International Journal of Hydrogen Energy* 24 , 771–777, 1999.
- Suelves. I. *'Hydrogen production by methane decarbonisation: Carbonaceous catalysis'*. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 , 3320–3326, 2007.
- Villacampa, J.I., Royo, C., Romeo, E., Montoya, J.A., Del Angel, P. and Monzón, A. *'Catalytic decomposition of methane over Ni-Al₂O₃ coprecipitated catalysts. Reaction and regeneration studies'*. *Applied catalysis A: General* 252, 363–383, 2003.
- World Energy Technology Outlook. European Commission. EUR 2038. J.I. Villacampa et al. 2003. *Catalytic decomposition of methane over Ni-Al₂O₃ coprecipitated catalysts. Reaction and regeneration studies*. *Applied catalysis A: General* 252, 363–383, 2006.
- Weimer. A, Dahl. J, Tamburini. J, Lewandowski. A, et al. *Thermal Dissociation of Methane Using a Solar Coupled Aerosol Flow Reactor*. NREL USA, *Proceedings of the 2000 DOE Hydrogen Programme Review*, 2000.