

## Aplikasi Teknologi Plasma Untuk Memproduksi Hidrogen Pada Tekanan Atmosfer

Andi Erwin Eka Putra, Shinfuku Nomura<sup>1</sup>, Shinobu Mukasa<sup>1</sup>, Hiromichi Toyota<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin  
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar, 90245  
e-mail: erwinep@eng.unhas.ac.id, erwineka\_putra@yahoo.com

<sup>1</sup>Dept. Engineering for Production and Environment, Ehime Univ. Matsuyama, Ehime, Japan

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan suatu proses produksi hidrogen dari metana dan hidrokarbon dengan menggunakan teknologi plasma pada tekanan atmosfer. Plasma dibangkitkan dengan iradiasi gelombang elektromagnetik oleh *microwave* dan *radio frequency*. Metana yang di dekomposisi dalam air dan cyclopentane yang dicampur dengan air dan surfactant telah memproduksi produk gas yang kaya hidrogen dengan menggunakan 27.12 MHz radio frequency plasma dan 2.45 GHz MW plasma juga telah digunakan untuk menghasilkan hidrogen dari clathrate hydrates. Konten dari produksi gas ini diidentifikasi dengan gas chromatograph.

**Kata Kunci:** produksi hidrogen, *Steam methane reforming*, *high frequency plasma*, Plasma dalam cairan

### Pendahuluan

Saat ini, bahan bakar minyak adalah bahan bakar yang penting pada aktivitas industri seperti transportasi, pertanian, dan pembangkit listrik. Namun, akibat berkurangnya cadangan minyak menyebabkan harganya semakin meningkat. Bahan bakar gas menjadi alternatif energi pada pembangkit listrik dan otomotif. Oleh karena itu, metana yang merupakan konten utama dari gas alam telah menjadi komoditi utama dari pasar energi.

Walaupun pembakaran gas alam pada reaksi eksotermik yang tinggi adalah pembakaran yang paling bersih dari seluruh bahan bakar fosil dengan kontribusi sekitar 20% emisi karbon dioksida ke atmosfer, emisi metana sebagai *green house gas* adalah lebih efektif untuk berkontribusi pada pemanasan global yang tinggi dengan *Global Warming Potential* (GWP) sekitar 21 – 25 kali lebih dibanding  $\text{CO}_2$ . Oleh karena itu, teknologi baru dibutuhkan untuk meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar ini selain aspek ketersediaannya.

Produksi hidrogen adalah suatu topik penelitian yang penting untuk mendukung sumber energi masa depan yang ramah lingkungan untuk menggantikan minyak bumi dan gas alam. Hidrogen yang banyak digunakan

secara ekstensif dalam industri kimia dapat dioptimalkan sebagai bahan bakar gas. Umumnya, kebutuhan komersial hidrogen diproduksi melalui proses *steam-methane reforming* (SMR). Sayangnya, SMR ini memproduksi hidrogen membutuhkan uap yang banyak untuk proses reformasi pada tekanan dan suhu tinggi.

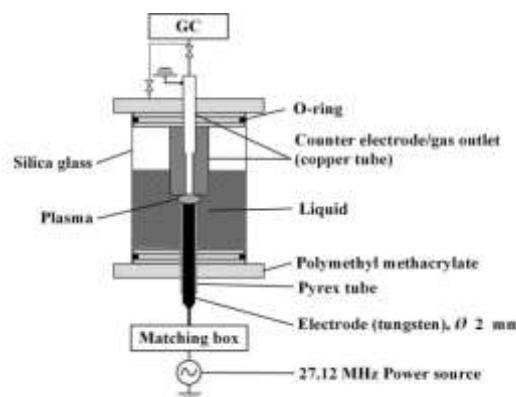
Akhir-akhir ini, penelitian terus dilakukan untuk tujuan tersebut, menggunakan reaksi kimia plasma, dengan fokus khusus pada kontrol laju reaksi dan pemakaian peralatan sederhana (1). Teknologi plasma ini mempunyai suhu lebih dari 1000 K dimana plasma ini mengandung radikal reaktif, ion, dan elektron energik yang tinggi. Plasma adalah gas yang terionisasi sebagian atau seluruhnya dan dibangkitkan oleh medan listrik yang kuat, medan magnet atau pemanasan. Molekul dari zat/bahan menjadi sangat energik oleh kenaikan suhu dan bertransformasi dalam empat keadaan material; solid, cair, gas dan terakhir plasma. Plasma dapat menghasilkan energi spesifik untuk menginisiasi reaksi kimia yang rumit dan tidak dapat dihasilkan oleh mekanisme kimia konvensional.

Sejak plasma dapat dibangkitkan dalam cairan yang dapat secara langsung mengurai cairannya itu sendiri, hidrogen dapat diproduksi dari limbah oli dan limbah minyak goreng tanpa menghasilkan emisi karbon dioksida sebagai produk sampingannya. Proses ini

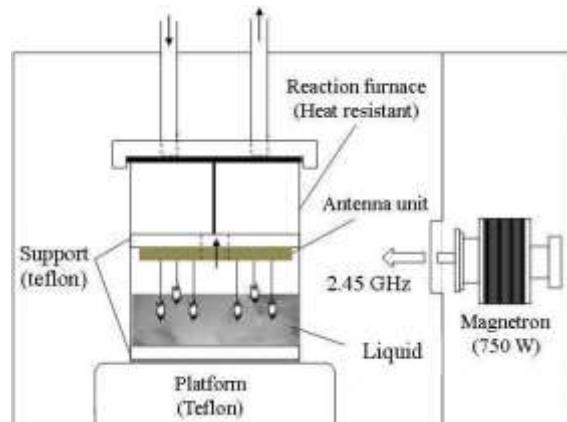
dilakukan dengan memecah limbah tersebut menjadi hidrogen dan solid karbon. Disisi lain, pembangkitan plasma dalam limbah oli dan *n-dodecane* dengan iradiasi frekuensi tinggi telah menghasilkan 70 – 80 % hidrogen pada tekanan atmosfer (Nomura et al. 2006, 2009). Hidrogen juga dapat diproduksi dari pembangkitan plasma dalam air dengan iradiasi frekuensi radio (27.12 MHz) (Mukasa et al. 2011).

Metode pembangkitan plasma dalam cairan mudah dibangkitkan dengan suhu lokal yang tinggi pada tekanan tinggi, dimana pembangkitan plasma umumnya terjadi di dalam *bubble* di sekitar ujung elektroda. Oleh karena itu, pada penelitian ini metode tersebut dipertimbangkan cocok untuk tujuan produksi hidrogen dari hidrokarbon dan sumber bahan bakar cair lainnya pada tekanan atmosfer.

*High frequency plasma* dalam cairan dibangkitkan dengan gelombang *microwave* atau *radio frequency* seperti diperlihatkan pada skema alat penelitian pada gambar 1. Sebelum plasma dibangkitkan dalam cairan, argon diinjeksikan ke dalam reaktor untuk menghilangkan udara.



a. 27.12 MHz Radio frequency plasma dalam cairan



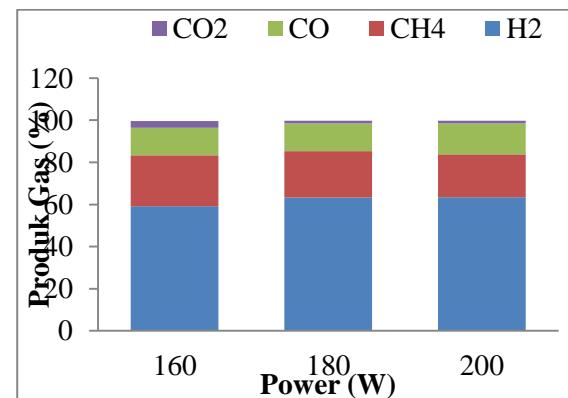
b. Microwave Oven yang dimodifikasi untuk membangkitkan 2.45 GHz MW Plasma

Gambar 1. High Frequency Plasma dalam cairan

## Produksi Hidrogen dengan *Radio Frequency Plasma*

Pipa gelas silika transparan digunakan sebagai reaktor dengan diameter dalam 55 mm, ketebalan 2 mm, dan tinggi 85 mm. Elektroda yang terdiri dari 2 mm tungsten batangan yang dibungkus dengan tabung silika yang diameternya 6 mm dan ketebalan 1.5 mm sebagai *dielectric substance*. Elektroda ini dimasukkan ke dalam reaktor dari bagian bawahnya dan dihubungkan dengan 27.12 MHz *RF power source*, seperti terlihat pada gambar 1.a.

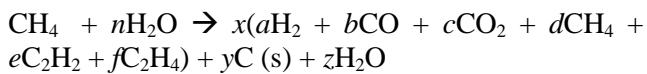
Konversi Metana menjadi hidrogen dilakukan dengan 27.12 MHz Radio Frequency Plasma, dimana plasma dibangkitkan di dalam air pada tekanan atmosfer kemudian 50 ml/menit metana diinjeksikan masuk ke dalam inti *bubble* yang berisi plasma melalui pipa tembaga yang juga sebagai *counter electrode*. Uap untuk kebutuhan reformasi uap-metana ini dihasilkan dari proses penguapan dari cairan air akibat pemanasan plasma ini. Sedangkan, proses produksi hidrogen dari cairan hidrokarbon (cyclopentane/air/surfactant) dilakukan dengan jalan dekomposisi cairan itu sendiri oleh plasma.



Gambar 2. Produk gas dari konversi 50 ml/menit metana

Gambar 2 memperlihatkan bahwa dekomposisi plasma dari metana dalam air terdapat metana yang tidak terkonversi cenderung konstan dengan variasi power input disekitar 22%. 0,45 mol metana dan 0,2 mol H<sub>2</sub>O, 0,46 mol metana dan 0,16 H<sub>2</sub>O, dan 0,44 mol metana dan 0,17 H<sub>2</sub>O dikonversi pada power 160 W, 180 W, dan 200 W, berturut-turut. Sedangkan gas produk utama yang dihasilkan adalah hidrogen (H<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), karbon monoksida (CO), dan produk samping yang dihasilkan terdiri dari karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), dan karbon (C) yang melekat pada dinding reaktor. Gas hasil reaksi diidentifikasi dengan *gas chromatograph*

(Shimadzu 8A) dengan *column temperature* 60 °C sampai 160 °C dan Helium sebagai *carrier gas*. Total reaksi dapat diekspresikan sebagai berikut:

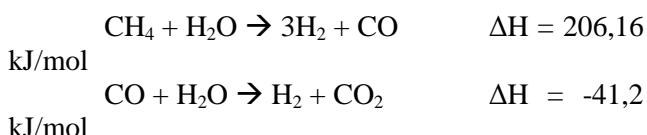


Dimana:

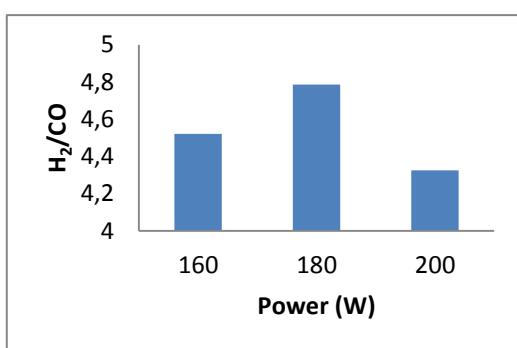
$$x = 2/(a - b - 2c + 2d + e + 2f)$$

$$y = (a - 3b - 4c - 3e - 2f)/(a - b - 2c + 2d + e + 2f) \quad z = n - 2$$

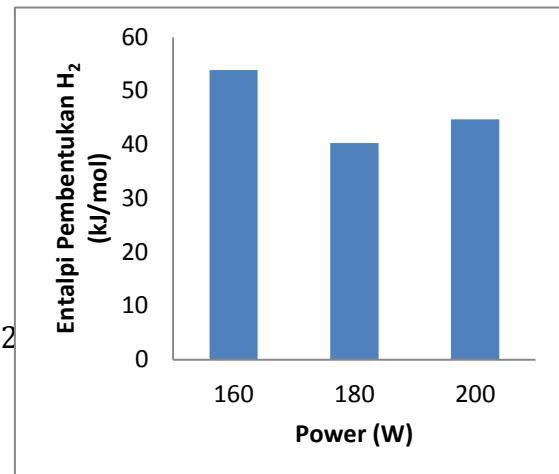
Sedangkan, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan karbon monoksida (CO) dihasilkan dari reaksi:



Dekomposisi metana dalam air pada tekanan atmosfer dengan 27,12 MHz RF plasma menghasilkan rasio mol H<sub>2</sub>/CO kurang dari 5 seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Sedangkan entalpi pembentukan hidrogen dari metode ini diperlihatkan pada gambar 4.

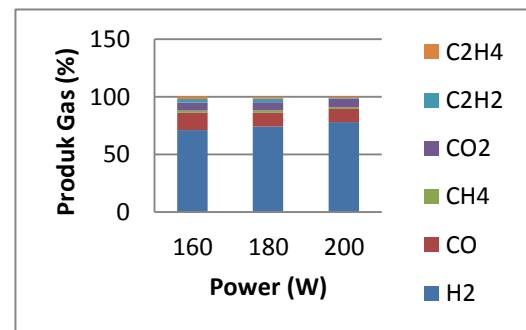


Gambar 3. Rasio mol H<sub>2</sub>/CO pada produk gas dari konversi 50 ml/menit metana

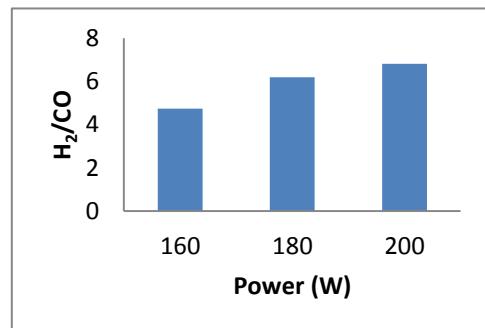


Gambar 4. Jumlah energi yang digunakan dari konversi 50 ml/menit metana

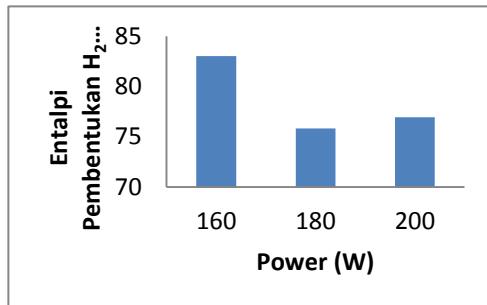
Hal yang sama pada *cyclopentane* yang dicampur dengan air dengan menambah 2% *surfactant* telah menghasilkan gas produk yang kaya dengan hidrogen dan menghasilkan produk sampingan yang lebih bervariasi seperti yang diperlihatkan pada gambar 5. Sedangkan gambar 6 memperlihatkan peningkatan rasio mol hidrogen terhadap karbon monoksida cenderung meningkat dengan bertambahnya input power. Demikian pula dengan jumlah energi yang dibutuhkan untuk pembentukan hidrogen dari campuran ini lebih tinggi dibandingkan dengan energi pembentukan hidrogen dari metana.



Gambar 5. Produk gas dari konversi campuran cyclopentane/air/surfactant

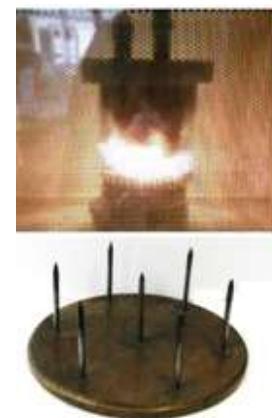


Gambar 6. Rasio mol H<sub>2</sub>/CO pada produk gas dari konversi campuran cyclopentane/air/surfactant



Gambar 7. Jumlah energi yang digunakan dari konversi campuran cyclopentane/air/surfactant

yang digunakan pada penelitian ini dan plasma yang dibangkitkan dalam MW oven diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pembangkitan plasma dengan antena yang ditempatkan dalam reaktor.

### Produksi Hidrogen dengan *Microwave Plasma*

*Microwave oven* digunakan sebagai sumber *microwave* (MW) untuk membangkitkan plasma dalam cairan. Cyclopentane ditempatkan dibagian bawah antena dalam reaktor (gambar 1.b). Kemudian, reaktor di iridiasikan dengan gelombang MW dari magnetron dan antena menerima gelombang tersebut dan plasma terbangkitkan pada ujung antena. Antena

Metode ini telah digunakan untuk menghasilkan hidrogen dari cyclopentane hydrate dan methane hydrate dengan produk gas diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Produk gas dari C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>.17H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O

Clathrate hydrates	Produk gas (%)							
	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>10(g)</sub>
Cyclopentane hydrate	65	12	8	3	1	2	2	1
Methane hydrate	63	10	0	21	1	5		

Modifikasi MW oven sebagai sumber gelombang MW untuk pembangkitan plasma yang digunakan pada penelitian ini membutuhkan power 1260 W dan 750 W dikonsumsi oleh magnetron untuk memancarkan gelombangnya.

### Kesimpulan

Penelitian untuk memproduksi hidrogen dengan *high frequency plasma* telah dilakukan dari berbagai sumber. 2.45 GHz MW plasma dan 27.12 MHz Radio Frequency plasma dapat mengkonversi  $\pm 80\%$

metana menjadi bahan bakar gas. Rasio H<sub>2</sub>/CO dan energi pembentukan hidrogen dari campuran cyclopentane/air/surfactant lebih tinggi dibanding dengan proses konversi metana dalam air. Selain itu, untuk pengembangan produksi hidrogen dengan alat yang sederhana dapat dilakukan dengan modifikasi MW oven.

## Daftar Pustaka

1. Nomura S, H. Toyota, M. Tawara, H. Yamashita, K. Matsumoto. 2006. Fuel gas production by microwave plasma in liquid. *Applied Physics Letter* 88(23):231502-1-3.
2. Nomura S, H. Toyota, S. Mukasa, H. Yamashita, T. Maehara, A. Kawashima. 2009. Production of hydrogen in a conventional microwave oven. *Journal of Applied Physics* 106:073306-1-4.
3. Mukasa S, S. Nomura, H. Toyota, T. Maehara, H. Yamashita. 2011. Internal conditions of a bubble containing radio-frequency plasma in water. *Plasma Sources Science and Technology* 20:034020.
4. Nomura S, S. Mukasa, H. Toyota, H. Miyake, H. Yamashita, T. Maehara, A. Kawashima, F Abe. 2011. Characteristics of in-liquid plasma in water under high pressure than atmospheric pressure. *Plasma Sources Science and Technology* 20:034012.
5. Shinfuku Nomura, Andi Erwin Eka Putra, ShinobuMukasa, Hiroshi Yamashita, and Hiromichi Toyota, Plasma Decomposition of Clathrate Hydrates by 2.45 GHz Microwave Irradiation at Atmospheric Pressure, *Applied Physics Express*, Vol. 4, No. 6, pp. 066201-1-066201-3 (May 2011)
6. Andi Erwin Eka Putra, Shinfuku Nomura, ShinobuMukasa, Hiromichi Toyota, Hydrogen Production by Reforming Clathrate Hydrate Using the In-liquid Plasma Method, 11<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Energy Technologies (SET-2012), September 2-5, 2012, Vancouver, Canada.
7. Andi Erwin Eka Putra, Shinfuku Nomura, ShinobuMukasa, Hiromichi Toyota, Hydrogen Production by Radio Frequency Plasma Stimulation in Methane Hydrate at Atmospheric Pressure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (2012) 16000 – 16005.
8. Shinfuku Nomura, Andi Erwin Eka Putra, Hiromichi Toyota, ShinobuMukasa, Hiroshi Yamashita, Fuel Gas Production by plasma in a micorwave oven at atmospheric pressure, The ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference (AJTEC 2011) (March 2011, Hawaii).