

PEMILIHAN TEKNOLOGI PRODUKSI HIDROGEN DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI NUKLIR

Siti Alimah, Erlan Dewita

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan Jakarta 12710
Telp/ Fax : (021)5204243 Email: Alimahsiti@yahoo.com

ABSTRAK

PEMILIHAN TEKNOLOGI PRODUKSI HIDROGEN DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI NUKLIR. *PLTN digunakan untuk pembangkit listrik maupun sebagai sumber panas untuk aplikasi non-listrik (kogenerasi). Reaktor Suhu Tinggi (RST) dengan suhu pendingin keluar reaktor 900~1000°C, merupakan jenis reaktor nuklir yang berpotensi untuk tujuan kogenerasi, seperti : produksi hidrogen dan proses industri kimia lain yang memerlukan panas tinggi. Terkait dengan Kebijakan Energi Nasional, bahwa di masa depan harus mengatur keseimbangan sumber daya alam terbarukan dan yang tidak terbarukan, dengan menjaga sebaik-baiknya kelestarian alam sampai batas maksimal untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, maka produksi gas hidrogen menggunakan energi dari PLTN merupakan pilihan yang tepat. Gas hidrogen merupakan energi baru yang ramah lingkungan dan sumber energi alternatif yang mempunyai prospek di masa mendatang. Pada kajian ini tiga proses produksi hidrogen menggunakan energi nuklir yaitu elektrolisis, steam reforming dan termokimia siklus sulfur-iodine telah dibandingkan. Parameter yang diperhitungkan meliputi : biaya produksi, biaya modal, biaya energi, status teknologi, ketidak tergantungan pada bahan bakar fosil, keramahan terhadap lingkungan, efisiensi dan ketidak tergantungan pada material tahan korosi. Hasil studi menunjukkan bahwa teknologi produksi steam reforming lebih unggul dibanding elektrolisis dan siklus sulfur-iodine, sehingga teknologi steam reforming lebih menjadi pilihan untuk produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir di Indonesia.*
Kata kunci: *produksi hidrogen, elektrolisis, steam reforming, sulfur-iodine, PLTN*

ABSTRACT

TECHNOLOGY SELECTION FOR HYDROGEN PRODUCTION USING NUCLEAR ENERGY. *The NPP can either be used to produce electricity, or as heat source for non-electric applications (cogeneration). High Temperature Reactor (HTR) with high outlet coolant temperature around 900~1000°C, is a reactor type potential for cogeneration purposes such as hydrogen production and other chemical industry processes that need high heat. Considering the national energy policy that a balanced arrangement of renewable and unrenewable natural resources has to be made to keep environmental conservation for the sake of society prosperity in the future, hydrogen gas production using nuclear heat is an appropriate choice. Hydrogen gas is a new energy which is environmentally friendly that it is a prospecting alternative energy source in the future. Within the study, a comparison of three processes of hydrogen gas production covering electrolysis, steam reforming and sulfur-iodine cycle, have been conducted. The parameters that considered are the production cost, capital cost and energy cost, technological status, the independence of fossil fuel, the environmental friendly aspect, as well as the efficiency and the independence of corrosion-resistance material. The study result showed that hydrogen gas production by steam reforming is a better process compared to electrolysis and sulfur-iodine process. Therefore, steam reforming process can be a good choice for hydrogen gas production using nuclear energy in Indonesia.*
Keywords: *hydrogen production, electrolysis, steam reforming, sulfur-iodine, NPP*

1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan energi di Indonesia sebagian besar masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi). Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, memiliki tiga ancaman serius, yaitu : menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), kenaikan harga akibat permintaan yang lebih besar dari produksi minyak dan polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil. Sebagai gambaran, cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri hingga 11 tahun kedepan^[1]. Disisi lain, isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas yang baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang ramah lingkungan.

Hidrogen merupakan bahan bakar yang banyak mendapatkan perhatian untuk dikembangkan, karena merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan bahan bakar fosil. Selain sebagai bahan bakar untuk transportasi, hidrogen dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi pupuk, pengilangan minyak dan industri lainnya. Dari sisi produksi, hidrogen merupakan energi sekunder yang dapat diproduksi dengan menggunakan berbagai sumber energi primer (bahan bakar fosil, energi nuklir). Sampai saat ini, produksi hidrogen masih mengandalkan pada penggunaan bahan bakar fosil (gas alam atau bahan bakar fosil lainnya) sebagai bahan bakunya, meskipun air juga telah digunakan sebagai bahan baku produksi hidrogen.

Konsep aplikasi PLTN untuk tujuan kogenerasi telah dikaji lebih dari 50 tahun. PLTN dapat digunakan untuk pembangkit listrik, maupun untuk aplikasi non-listrik, seperti untuk proses kimia yang memerlukan suhu tinggi, desalinasi air laut, atau gabungan dari keduanya (*cogeneration*). Reaktor Suhu Tinggi dengan suhu pendingin keluar reaktor (900~1000°C) merupakan jenis reaktor nuklir yang dapat digunakan untuk tujuan kogenerasi, salah satunya dapat diaplikasikan untuk produksi hidrogen. Seperti diketahui, gas hidrogen merupakan energi baru dan ramah lingkungan, serta merupakan sumber energi alternatif yang mempunyai prospek di masa mendatang.

Memperhatikan Kebijakan Energi Nasional di masa depan keseimbangan sumber daya alam yang terbarukan dan yang tidak terbarukan harus diatur dan sebaik-baiknya untuk kelestarian alam sampai batas maksimal dan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Terkait dengan Kebijakan Energi Nasional tersebut dan tujuan kogenerasi, maka produksi gas hidrogen dengan energi nuklir merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk mengatasi krisis energi. Gas hidrogen terdapat di alam dalam jumlah kecil dan produksinya menggunakan energi nuklir dipandang dapat memberikan sumbangan dalam mengatasi krisis energi/listrik.

Pada dasarnya, gas hidrogen dapat diproduksi dengan beberapa cara, diantaranya elektrolisis, *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine*. Elektrolisis air dan *steam reforming* dari metana merupakan teknologi yang sudah teruji dan sudah banyak digunakan. Sedangkan siklus *sulfur-iodine* merupakan proses termokimia yang sedang mendapatkan perhatian karena merupakan proses dengan efisiensi cukup tinggi. Diantara ketiga proses tersebut, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan ditinjau dari status teknologi, dampak lingkungan, efisiensi, dan perkiraan biaya produksi. Dalam studi ini akan dibahas perbandingan teknologi produksi hidrogen menggunakan energi nuklir, antara lain elektrolisis, *steam reforming* dan termokimia siklus S-I dengan tujuan untuk mendapatkan teknologi produksi hidrogen yang terbaik dan layak diterapkan di Indonesia. Hasil studi diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir dan dapat menjadi masukan/bahan pertimbangan dalam menentukan teknologi produksi hidrogen yang sesuai untuk diterapkan di Indonesia.

2. REAKTOR SUHU TINGGI DAN APLIKASINYA

Reaktor Suhu Tinggi (RST) adalah salah satu jenis reaktor daya tipe maju yang mempunyai sistem keselamatan pasif dan melekat (*inherent and passive safety*) yang sangat handal. Reaktor suhu tinggi berpendingin gas ini dikarakterisasi dengan penggunaan grafit sebagai moderator dan reflektor, gas helium sebagai pendingin *inert* fase tunggal, bahan bakar partikel berlapis dan teras berdensitas daya rendah. Penggunaan bahan teras yang bersifat tahan panas dikombinasi dengan pendingin helium menyebabkan suhu pendingin mencapai 950°C^[2], serta efisiensi termal yang tinggi merupakan beberapa keuntungan RST. Kemampuan menyediakan suhu yang tinggi menyebabkan RST mempunyai beberapa kemungkinan dalam pemanfaatannya, tidak hanya untuk pembangkit listrik, namun juga untuk keperluan industri lainnya dan disebut instalasi kogenerasi. Beberapa jenis RST adalah HTR (*High Temperature Reactor*) 10 MW di Cina, HTTR (*High Temperature Engineering Tested Reactor*) 30 MW dan VHTR (*Very High Temperature Reactor*) di Jepang, GT-MHR (*Gas Turbine Modular Helium Reactor*) di USA dan Rusia, PBMR (*Pebble Bed Modular Reactor*) di Afrika Selatan dan USA. Tabel 1 memperlihatkan pemanfaatan panas yang dihasilkan oleh RST dan suhu yang dibutuhkan pada berbagai proses industri.

Tabel 1. Kebutuhan suhu pada berbagai proses industri ^[3].

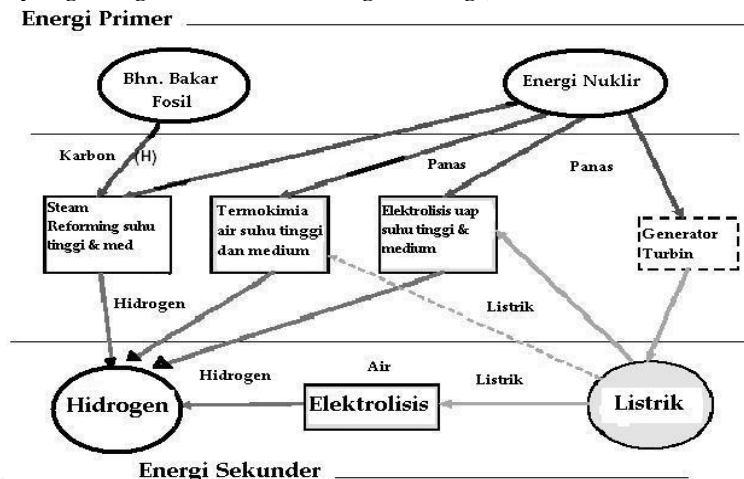
Proses Industri	Perkiraan Suhu (°C)
Pemanasan rumah dan bangunan	100-170
Desalinasi	100-130
Produksi vinil klorida	100-200
Sintesa urea	180-280
Steam proses	200-400
Produksi pulp dan kertas	200-400
Pengilangan minyak	200-600
Pengolahan minyak dari pasir minyak	300-600
Desulfurisasi minyak mentah	300-500
Pengilangan petroleum	450-550
Produksi hidrogen dari gas alam	400-800
Pembuatan baja dengan reduksi langsung	500-1000
Industri besi	600-1600
Produksi stirene dari etil benzena	600-800
Produksi etilena dari nafta atau etana	700-900
Produksi hidrogen dengan siklus S-I	600-1000
Pemrosesan batubara	400-1000
Gasifikasi batubara	800-1000

Pada prinsipnya, pengambilan panas pada RST dilakukan dengan dua macam sistem, yaitu sistem langsung dan tidak langsung^[4]. Pada sistem langsung, panas dari dalam reaktor yang dibawa gas He dikonversikan secara langsung ke bentuk energi lain dalam sistem turbin-generator pada siklus primer, misal untuk menggerakkan turbin generator berupa turbin gas atau turbin uap. Pada sistem tidak langsung, dibutuhkan sebuah penukar panas perantara (*Intermediate Heat Exchanger*) atau pembangkit uap (*Steam Generator*) untuk memindahkan panas dari siklus primer ke siklus sekunder. Kemudian di siklus sekunder, energi panas dikonversikan ke bentuk energi lain.

3. TEKNOLOGI PRODUKSI HIDROGEN DENGAN ENERGI NUKLIR

Hidrogen merupakan unsur yang banyak terdapat di alam, namun tidak dalam bentuk gas melainkan dalam bentuk senyawa, seperti dalam batubara, gas alam dan air. Produksi gas hidrogen dari senyawa tersebut diperlukan energi untuk memutuskan ikatan kimia. Energi nuklir merupakan energi yang sangat ideal untuk produksi hidrogen sebab energi tersebut tidak mengemisikan gas CO₂. Sejumlah besar hidrogen diperlukan dalam industri petrokimia (hidrodealkilasi, hidrosulfurisasi, *hydrocracking*) dan kimia (amoniak, asam klorida). Hidrogen juga digunakan sebagai bahan hidrogenasi, terutama dalam peningkatan kejenuhan dalam lemak tak jenuh, minyak nabati dan dalam produksi metanol. Saat ini, hidrogen juga digunakan sebagai *fuel-cell* untuk kendaraan.

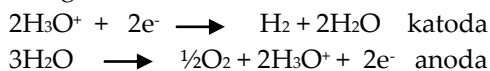
Teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, mempunyai beberapa keuntungan, yaitu meningkatkan efisiensi (pada proses elektrolisis) dan mengurangi polusi, jika dibanding produksi hidrogen secara konvensional. Beberapa proses produksi hidrogen yang sedang dikembangkan dengan memanfaatkan energi nuklir, yaitu elektrolisis, *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine*. Dalam setiap proses tersebut terdapat *input* (umpan dan energi) dan *output* (bahan kimia yang diinginkan dan kehilangan energi).



Gambar 1. Skema produksi hidrogen dengan energi nuklir^[5]

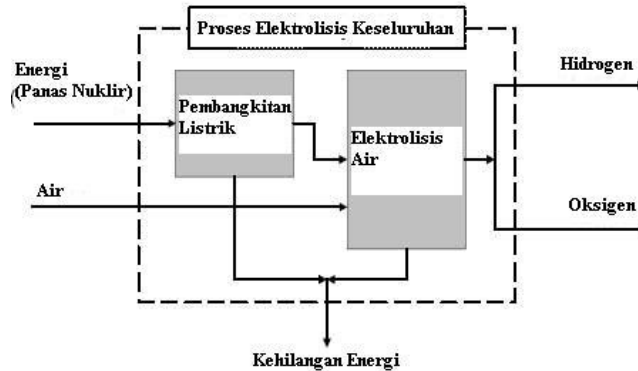
3.1. Elektrolisis

Elektrolisis adalah proses pemisahan molekul air menggunakan listrik dan merupakan metode yang paling umum untuk produksi hidrogen. Listrik dialirkan melalui suatu sel dengan dua elektroda yang mengandung larutan elektrolit KOH. Diagram alir proses elektrolisis dapat dilihat pada Gambar 2. Reaksi dasar dari proses elektrolisis adalah sebagai berikut :



Elektroda yang berupa katoda dan anoda ditempatkan dalam larutan KOH sehingga terjadi perpindahan elektron. Hidrogen akan terbentuk pada katoda dan oksigen akan terbentuk pada anoda. Dekomposisi air terjadi pada suhu 25°C dan tekanan atmosfer pada tegangan 1,23 Volts ^[7]. Elektrolisis menggunakan listrik, maka efisiensi termal keseluruhan dari proses meliputi efisiensi PLTN dan efisiensi elektrolisis itu sendiri.

Efisiensi proses elektrolisis pada umumnya sekitar 80%, tetapi efisiensi PLTN hanya sekitar 34%. Kisaran efisiensi termal yang memungkinkan untuk elektrolisis adalah 25-45%.



Gambar 2. Diagram alir proses elektrolisis^[6]

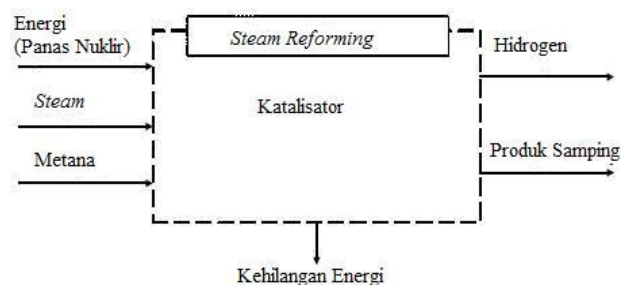
Saat ini sedang dikembangkan elektrolisis, untuk dioperasikan pada suhu tinggi (700-900°C), menggantikan beberapa inputan listrik dengan energi termal^[7]. Energi panas lebih murah dari pada energi listrik, maka biaya produksi H₂ dengan metode ini diharapkan dapat lebih murah dari pada elektrolisis konvensional. Namun dalam tahap awal pengembangan, teknologi ini memerlukan biaya modal sangat tinggi yaitu 1300\$/kW^[7]. Instalasi elektrolisis dengan suhu tinggi memerlukan lokasi yang berdekatan dengan PLTN, karena PLTN yang menyediakan energi panas. PLTN yang digunakan pada metode ini adalah tipe RST.

3.2. Steam Reforming

Steam Reforming merupakan proses dekomposisi termal yang secara umum digunakan dalam industri produksi hidrogen^[6]. Proses tersebut terjadi dengan mereaksikan gas alam (metana) dan *steam* pada suhu tinggi, serta mempunyai efisiensi termal sekitar 70%. Gas alam adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH₄), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai pendek dan ringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C₂H₆), propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀), yang komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2. Diagram alir proses *steam reforming* dapat dilihat pada Gambar 3.

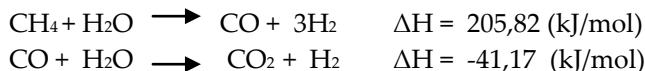
Tabel 2. Komposisi gas alam ^[8]

Komponen	Persen (%)
CH ₄	80-95
C ₂ H ₆	5-15
C ₃ H ₈ dan C ₄ H ₁₀	<5



Gambar 3. Diagram alir proses *steam reforming*^[6].

Pada proses ini ada dua reaksi yang terjadi, reaksi pertama adalah *reforming* yang merupakan reaksi endotermal dan menggunakan katalisator pada suhu tinggi. Reaksi *reforming* dilakukan dalam suatu *reformer* yang diisi dengan katalis nikel pada tekanan sekitar 30 atm. Reaksi kedua adalah reaksi eksotermal (*shift reaction*). Selanjutnya dilakukan proses pemisahan untuk memisahkan karbon dioksida dan pemurnian hidrogen. Entalpi dan langkah-langkah reaksi *steam reforming* adalah sebagai berikut :

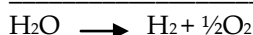
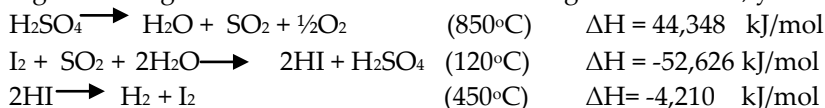


Panas yang diperlukan untuk reaksi *steam reforming* dapat diperoleh dengan memanfaatkan panas dari PLTN tipe RST berpendingin gas helium. Pada proses *steam reforming* yang menggunakan bahan bakar fosil, panas dipasok dengan pembakaran metana yang berlebih, akibatnya akan terjadi kehilangan sejumlah reaktan dan beberapa produk hidrogen. Pemanfaatan panas nuklir dapat menghindari kehilangan reaktan. Dalam proses *reforming* dengan panas yang dipasok oleh PLTN, panas dipasok dari *loop* sekunder reaktor nuklir dan ditransfer ke campuran metana/uap melalui suatu penukar panas intermediet.

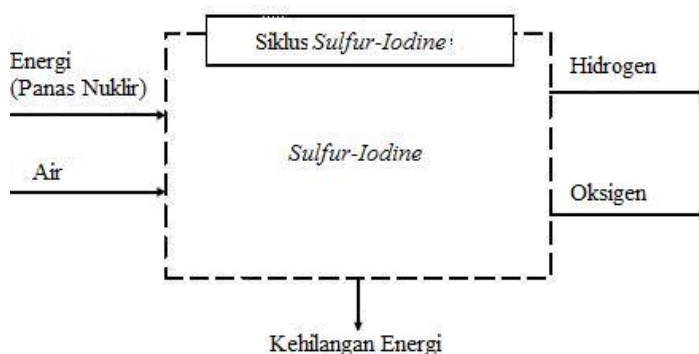
Kemurnian gas hasil *steam reforming*, saat ini telah dapat ditingkatkan. Gas CO_2 dihilangkan dengan *scrubber* alkali, selain itu juga dapat menggunakan larutan *amine*, dan akhirnya gas hidrogen yang dihasilkan didinginkan sampai suhu rendah dan dimurnikan.

3.3. Proses Termokimia Siklus Sulfur-Iodine

Siklus *sulfur-iodine* (S-I) merupakan proses produksi hidrogen secara termokimia^[6], yaitu pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen melalui reaksi kimia pada suhu tinggi. Proses tersebut, mempunyai kelebihan yaitu memproduksi hidrogen secara efisien dengan tidak mengemisikan gas CO_2 .^[6] Proses ini terdiri dari tiga reaksi kimia, yaitu :



Secara teoritis, reaktan yang perlu ditambahkan dalam proses termokimia siklus *sulfur-iodine* hanya air, dan diagram alir proses termokimia siklus *sulfur-iodine* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses siklus termokimia *sulfur-iodine*^[6]

Reaksi pertama merupakan dekomposisi asam sulfat, menghasilkan H_2O , SO_2 dan gas oksigen. Gas SO_2 yang terjadi didaur ulang untuk digunakan di reaksi ke dua. Reaksi ke

dua adalah reaksi antara I_2 , SO_2 dan H_2O , yang merupakan reaksi eksotermal dengan *iodine* cair yang berlebihan. Pada reaksi ini dihasilkan dua fase produk, yaitu fase yang lebih berat adalah fase HI, dan yang lebih ringan adalah fase H_2SO_4 yang kemudian dapat dipisahkan secara gravitasi. Reaksi ketiga, dekomposisi HI menggunakan distilasi. Semua reaktan, selain air diregenerasi dan didaur ulang untuk diumpankan ke reaksi ke dua. PLTN yang sedang dikembangkan untuk memproduksi hidrogen dengan siklus S-I adalah VHTR 50 MW thermal. Efisiensi termal dari proses ini adalah 50%^[7].

4. PEMBAHASAN

4.1. Perbandingan Proses Produksi Hidrogen

Pada umumnya semua proses produksi hidrogen berbasis pada pemisahan senyawa yang mengandung hidrogen. Dewasa ini, produksi hidrogen tersebut dilakukan dengan menggunakan dua metode utama, yaitu panas dan kimia. Proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas dari PLTN merupakan suatu cara untuk mengurangi ketergantungan pada beberapa sumber energi yang tidak terbarukan dan mengurangi emisi gas-gas yang membahayakan lingkungan, karena PLTN tidak melepaskan gas rumah kaca, seperti CO_2 dan zat berbahaya lainnya. Secara spesifik, ada tiga proses produksi hidrogen yang saat ini sangat potensial dikembangkan menggunakan energi nuklir, yaitu elektrolisis, *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine* (S-I), seperti yang diuraikan sebelumnya, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pada Tabel 3 diperlihatkan perbandingan tiga proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir, ditinjau dari efisiensi, perkiraan biaya produksi awal, biaya modal dan biaya energi. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa diantara ketiga proses produksi hidrogen, proses elektrolisis merupakan proses yang sangat sederhana (hanya memerlukan pasokan air dan listrik) dan bersih, namun sukar bersaing dengan dua proses yang lain karena efisiensinya rendah. Secara teknologi, proses ini telah teruji, dan terutama untuk produksi skala kecil. Tetapi tidak kompetitif untuk produksi skala besar, kecuali biaya listrik yang tersedia rendah. Kerugian utama dari proses elektrolisis adalah rendahnya efisiensi termal dibanding proses *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine*. Namun akhir-akhir ini sedang dikembangkan proses elektrolisis suhu tinggi (*High-Temperature Electrolysis* (HTE)) yang merupakan proses pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen pada suhu 700-900°C. Pada HTE, energi panas dari reaktor nuklir menggantikan energi listrik. Penggabungan proses elektrolisis dengan panas PLTN akan meningkatkan efisiensi proses, karena PLTN yang beroperasi dengan suhu tinggi (RST) mempunyai efisiensi termal lebih tinggi (48-50%). Pada elektrolisis yang menggunakan listrik, instalasi dapat diletakkan jauh dari PLTN, sehingga lebih aman jika ditinjau dari masalah keselamatan yang terkait dengan radioaktif.

Tabel 3. Perbandingan proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir^[6].

Proses	Elektrolisis	<i>Steam reforming</i>	Termokimia siklus <i>Sulfur-Iodine</i>
Efisiensi	25-45%	70%	50%
Perkiraan biaya produksi awal	1,83-2,73 US\$/kg	0,80 US\$/kg	1,22 US\$/kg
Biaya modal	30,97 US\$/GJ pada produksi tahunan.	11,44 US\$/GJ pada produksi tahunan.	19,96 US\$/GJ pada produksi tahunan.
Biaya energi	15 -23 US\$/GJ	7 US\$/GJ	10 US\$/GJ

Ditinjau dari perkiraan biaya produksi hidrogen untuk masing-masing proses, terlihat bahwa *steam reforming* adalah metode produksi hidrogen yang paling murah. Termokimia siklus S-I menduduki peringkat kedua, dan elektrolisis merupakan opsi yang paling mahal.

Sedang ditinjau dari aspek resikonya, elektrolisis yang menggunakan listrik mempunyai resiko yang paling rendah dalam implementasi maupun keselamatan. *Steam reforming* dan termokimia siklus S-I masing-masing mempunyai resiko teknis yang melekat karena lokasi instalasi produksi hidrogen berdekatan dengan instalasi PLTN. Pada proses *steam reforming* diperlukan bahan bakar fosil, yaitu gas alam, sehingga memproduksi gas CO₂ yang meningkatkan efek rumah kaca. Namun gas CO₂ dapat dihilangkan dengan *scrubber* alkali atau menggunakan larutan *amine*.

Keuntungan utama dari termokimia siklus S-I adalah tidak mengemisikan gas-gas yang berbahaya, sehingga merupakan proses yang ramah lingkungan, serta reaktan dalam siklus S-I dapat didaur ulang secara efisien. Proses ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dibanding elektrolisis dan tanpa menggunakan bahan bakar fosil seperti yang digunakan dalam *steam reforming*. Namun proses ini masih dalam tahap penelitian dasar. Meskipun proses ini merupakan metode produksi hidrogen yang menarik dimasa depan, namun kelemahan dari proses ini yaitu menggunakan bahan kimia yang korosif seperti larutan asam sulfat dan asam hidriodida pada suhu tinggi, karena itu perlu dilakukan seleksi material dengan ketahanan korosi yang cukup tinggi. Beberapa material yang dianjurkan adalah paduan tantalum, paduan niobium, logam mulia dan logam dengan kandungan silikonnya tinggi.

Steam reforming dari metana adalah proses dekomposisi termal yang menjanjikan dengan efisiensinya yang paling tinggi bila dibandingkan dengan elektrolisis dan siklus S-I. Pada proses *steam reforming*, penggunaan panas dari PLTN akan mengurangi tingkat polusi jika dibanding dengan penggunaan reformer yang menggunakan bahan bakar fosil. Jadi, pada implementasi dengan PLTN, dampak lingkungan dari masing-masing opsi adalah minimal. Penggunaan energi nuklir pada produksi hidrogen mempunyai beberapa keuntungan, yaitu :

1. Energi yang tersedia akan berlimpah.
2. PLTN merupakan teknologi yang ramah lingkungan, sehingga tidak ada polusi ke lingkungan.
3. Teknologi PLTN telah dikembangkan sampai suhu sangat tinggi, yaitu dengan desain reaktor maju.

Pemanfaatan energi nuklir untuk produksi hidrogen ini akan menambah industri produksi hidrogen di masa yang akan datang. Teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir masih dalam pengembangan. Kelangsungan energi nuklir untuk produksi hidrogen tergantung pada kesesuaian antara karakteristik sistem H₂ dan sistem energi nuklir^[9]. Energi nuklir untuk produksi H₂ akan ekonomis jika permintaan pasar H₂ sesuai skala produksi hidrogen dengan energi nuklir. Kelangsungan produksi H₂ dengan energi nuklir tergantung pada metode produksi H₂ yang diusulkan dan jenis PLTN yang akan digunakan. Masing-masing metode yang diusulkan mempunyai efisiensi produksi yang berbeda-beda. Efisiensi produksi dapat didefinisikan sebagai kandungan energi H₂ yang dihasilkan dibagi dengan energi yang dibutuhkan untuk memproduksi H₂. Efisiensi elektrolisis relatif tinggi yaitu sekitar 80%, namun faktor ini dikombinasi dengan efisiensi konversi listrik yaitu sekitar 34% untuk LWR (reaktor air ringan) dan sekitar 50% untuk ALWR (reaktor air ringan dengan sistem *advance*), sehingga efisiensi keseluruhan sekitar 25-45%.

4.2. Pembobotan Untuk Pemilihan Teknologi Produksi Hidrogen

Untuk menentukan teknologi produksi hidrogen dengan energi nuklir yang tepat, maka pembuatan nilai bobot terhadap ketiga produksi hidrogen telah dilakukan dan hasil

dapat dilihat pada Tabel 4. Pembuatan nilai bobot ini berdasar pada parameter-parameter Tabel 3. Teknologi yang dipilih nantinya adalah yang memiliki total nilai bobot tertinggi.

Tabel 4. Pembobotan pemilihan teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir

No	Parameter	Elektrolisis	<i>Steam Reforming</i>	<i>Sulfur-Iodine</i>
1.	Penghematan biaya produksi	1	3	2
2.	Penghematan biaya modal	1	3	2
3.	Penghematan biaya energi	1	3	2
4.	Status teknologi	3	3	1
5.	Ketidak tergantungan pada bahan bakar fosil	3	1	3
6.	Keramahan terhadap lingkungan	3	1	3
7.	Efisiensi	1	3	2
8.	Ketidak tergantungan pada material tahan korosi	3	3	1
	Total nilai bobot	16	20	16

Keterangan :

Nilai bobot 1 : rendah, 2 : sedang, 3 : tinggi.

Pada status teknologi dengan nilai bobot 1 (rendah) merupakan riset dasar, sedangkan nilai bobot 2 (sedang) merupakan pengembangan dan nilai bobot 3 (tinggi) adalah teknologi teruji.

Hasil pembobotan pada Tabel 4, terlihat bahwa teknologi *steam reforming* adalah lebih unggul dibanding dengan yang lain, oleh karena itu teknologi ini lebih menjadi pilihan untuk produksi hidrogen dengan energi nuklir.

5. KESIMPULAN

Tiga teknologi produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi nuklir, yaitu elektrolisis, *steam reforming* dan termokimia siklus *sulfur-iodine*, masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian. Hasil studi menggunakan pembobotan nilai menyimpulkan bahwa teknologi *steam reforming* adalah lebih unggul dibanding dengan yang lain ditinjau dari biaya produksi, biaya modal, biaya energi, status teknologi, keramahan terhadap lingkungan, efisiensi dan material yang digunakan, sehingga teknologi ini lebih menjadi pilihan untuk produksi hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANONIM. Cadangan. <http://www.kompas.com/read/xml/2008/12/13/19410631/cadangan>. Diakses tanggal 31 Desember 2008.
- [2] AS NATIO LASMAN, ANTON M., "RTT Sebagai Instalasi Panas Proses", Prosiding Seminar ke 4, RTT dan Teknologi Nuklir, Jakarta, 1999.
- [3] DEBU MAJUMDAR, " Desalination and Other Non-Electric Applications of nuclear Energy", Workshop on Nuclear Reaction Data and Nuclear Reactors : Physics, Design and Safety Trieste, 25 February-28 March 2002.
- [4] ARNOLD Y. SUTRISNANTO, " Kogenerasi HTR : Sumber Energi Suatu Kawasan Industri", Prosiding Seminar dan Lokakarya Ke 3, Teknologi dan Aplikasi RTT, Jakarta, 1996.

- [5] ANONIM. Nuclear Energy for Transportation: Electricity, Hydrogen, and Liquid Fuels. [http ://www.schillerinstitute.org/conf-iclc/2007/landbridge_conf_hori.html](http://www.schillerinstitute.org/conf-iclc/2007/landbridge_conf_hori.html). Diakses tanggal 23 Desember 2008
- [6] LEANNE M. CROSBIE, "Hydrogen Production by Nuclear Heat", MPR Associated, Kyoto Japan, Sep. 15-19, 2003.
- [7] KATHLEEN MCHUGH, "Hydrogen Production Methods", Prepared for MPR Associated, Inc, February 2005.
- [8] ANONIM. Gas Bumi. http://id.wikipedia.org/wiki/Gas_bumi. Diakses tanggal 22 Desember 2008.
- [9] C.W. FORSBERG, "Why Hydrogen Production from Nuclear Power?", American Institute of Chemical Engineers, March 4, 2002.