

PENENTUAN KAPASITAS PRODUKSI HIDROGEN DARI PERENKAHAN AIR BERDASARKAN DISTRIBUSI KALOR RGTT-KOGENERASI

Nurul Huda
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

PENENTUAN KAPASITAS PRODUKSI HIDROGEN DARI PERENKAHAN AIR BERDASARKAN DISTRIBUSI KALOR RGTT-KOGENERASI. Hidrogen adalah molekul penting untuk energi dan pangan. Penggunaan hidrogen untuk energi dapat mengatasi sekaligus dua masalah, yaitu susutnya cadangan bahan bakar minyak dan pemanasan global. Di bidang pangan, hidrogen dibutuhkan sebagai bahan baku pembuatan amonia untuk pupuk nitrogen. Senyawa yang mengandung hidrogen dengan kelimpahan tinggi dan murah adalah air. Sumber energi primer diperlukan untuk merengkah molekul air dan menghasilkan hidrogen. Sumber energi potensial untuk tujuan tersebut adalah nuklir. Melalui sistem kogenerasi, reaktor nuklir gen-IV (generasi IV) merupakan sumber kalor strategis untuk produksi hidrogen dari air karena sifat gen-IV yang berkelanjutan dan mampu menghasilkan kalor temperatur tinggi dengan sistem keselamatan melekat yang andal. Tujuan makalah ini adalah menentukan kapasitas produksi hidrogen dari perengkahan air berdasarkan distribusi kalor RGTT (Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi) Kogenerasi. Dua teknik termokimia perengkahan air, yaitu siklus-SI (Sulfur-Iodium) dan siklus-I (Iodium) disimulasikan dengan Aspen HYSYS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kalor 200 MW dari RGTT200K yang teralokasikan untuk produksi hidrogen adalah 59 MW. Daya kalor tersebut setara dengan laju produksi hidrogen 683 kg/jam (siklus-SI) atau 1.054 kg/jam (siklus-I). Siklus-SI dan siklus-I berada pada tahap pengembangan skala laboratorium dan ditujukan untuk produksi hidrogen dari air dengan energi nuklir tanpa pasokan gas alam.

Kata Kunci : hidrogen, energi, pangan, reaktor nuklir, kogenerasi

ABSTRACT

DETERMINING OF HYDROGEN PRODUCTION CAPACITY FROM WATER MOLECULES SPLITTING BASED ON HTGR-KOGENERATION HEAT DISTRIBUTION. Hydrogen is an important molecule for energy and food . The use of hydrogen for energy can solve two problems at once, i.e. petroleum reserves shortening and global warming . In the food sector , hydrogen is needed as raw materials for the manufacture of ammonia nitrogen fertilizers . Hydrogen-containing compound with high abundance and low price is water. Primary energy source is required for water molecules splitting to produce hydrogen. Potential energy source for such purposes is nuclear. Through a cogeneration system, gen-IV (generation IV) nuclear reactor is a strategic heat source for hydrogen production from water because of its sustainability and ability to produce high temperature heat with inherent and reliable safety systems. The purpose of this paper is to determine the capacity of hydrogen production through water molecules splitting based on heat distribution from HTGR (High Temperature Gas-cooled Reactor)-Cogeneration. Two techniques of thermo chemical water splitting, i.e. SI-cycle (Sulphure-Iodine) and I-cycle (Iodine) were simulated with Aspen HYSYS. The simulation results show that 59 MW of 200 MW heat supplied from RGTT200K is allocated for hydrogen production. This amount of heat is equivalent to 683 kg/hour of hydrogen production rate (SI-cycle) and 1,054 kg / hr (I-cycle). SI-cycle and I-cycle are at the laboratory scale development stage and are intended for production of hydrogen from water with nuclear energy without supply of natural gas.

Keywords : hydrogen, energy, food, nuclear reactor, cogeneration

PENDAHULUAN

Hidrogen adalah unsur kimia yang penting untuk energi dan pangan. Untuk energi, hidrogen ditujukan terutama sebagai bahan

bakar alat transportasi. Saat ini konsumsi energi didominasi oleh bahan bakar fosil dengan rasio pemakaian bahan bakar fosil dan non fosil adalah 80 berbanding 20⁽¹⁾. Untuk pangan,

hidrogen bersama nitrogen merupakan bahan baku pembuatan amonia dan pupuk. Separa produksi hidrogen saat ini digunakan untuk pembuatan ammonia⁽¹⁾.

Hidrogen adalah unsur dengan kelimpahan terbanyak ketiga di permukaan bumi, namun hidrogen tidak terdapat bebas sebagai unsur murni melainkan dalam bentuk senyawa, terutama dalam bentuk air dan senyawa organik⁽¹⁾. Dengan demikian, teknik produksi hidrogen pada dasarnya adalah pemisahan hidrogen dari senyawanya.

Teknik produksi hidrogen yang sudah umum saat ini adalah SMR (*Steam Methane Reforming*) yang bahan bakunya adalah air dan gas alam, namun harga gas alam yang mahal dan pasokannya yang menurun menuntut ditemukannya teknik baru produksi hidrogen yang bahan bakunya hanya air saja. Cara baru yang saat ini dikembangkan di berbagai negara adalah perengkahan air dengan energi nuklir melalui siklus-SI (Sulfur-Iodium)⁽²⁾.

Sejak tahun 1980 penelitian terhadap siklus-SI di JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*; saat ini bernama *Japan Atomic Energy Agency*, JAEA) terfokus pada tiga hal, yaitu pengembangan sistem dengan siklus tertutup, pengembangan proses untuk meningkatkan efisiensi dan pengembangan material untuk konstruksi⁽³⁾.

Penelitian di JAEA dengan fasilitas eksperimen berbahan gelas dan resin fluorin menunjukkan keberhasilan operasi siklus-SI tertutup untuk produksi hidrogen secara kontinyu dengan laju produksi 32 L per jam

selama 20 jam⁽²⁾. Reaksi Bunsen dijalankan pada temperatur sekitar 70°C, sedangkan reaksi perengkahan H₂SO₄ dan HI dijalankan masing-masing pada temperatur sekitar 850°C dan 500°C⁽²⁾.

Di INET (*Institute of Nuclear and New Energy Technology*) China, penelitian proses produksi hidrogen dengan energi nuklir melalui siklus-SI telah dilakukan intensif sejak tahun 2005. INET telah membangun fasilitas terintegrasi skala laboratorium untuk siklus-SI yang diberi nama SI-10 pada tahun 2007. Fasilitas ini mampu menghasilkan hidrogen dengan laju produksi 10 NL/jam. SI-10 di INET dipasang secara kogenerasi dengan reaktor nuklir HTR-10 (*High Temperature Reactor - 10*) yang telah selesai dibangun dan telah berhasil mencapai kritikalitas. Selain untuk pembangkitan listrik, aplikasi penting HTR-10 memang ditujukan untuk produksi hydrogen⁽⁴⁾.

Pada makalah ini dibahas kapasitas produksi hidrogen dengan merengkah air berdasarkan distribusi kalor pada sistem RGTT-Kogenerasi (Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi). Teknik produksi hidrogen dibatasi pada sistem termokimia dan tidak elektrokimia karena teknik elektrokimia membutuhkan listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan lainnya.

TEORI

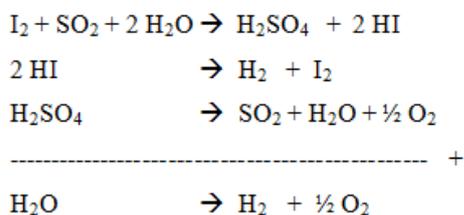
Hidrogen adalah komoditas penting yang digunakan dalam industri pupuk nitrogen, pengolahan minyak, dan juga sebagai bahan bakar. Konsumsi hidrogen dunia terus meningkat dan mencapai 70 juta ton per tahun dengan pertumbuhan sekitar 7%⁽⁵⁾. Lebih dari

90% kebutuhan hidrogen saat ini dipasok oleh hidrogen yang dibuat dari bahan fosil baik berupa gas alam, hidrokarbon cair, maupun batubara. Proses yang digunakan adalah SMR atau oksidasi parsial gas alam⁽⁵⁾.

Untuk energi, hidrogen bersifat terbarukan. Teknik-teknik konversi energi saat ini menunjukkan bahwa semua sumber energi dapat dikonversi menjadi hidrogen. Nuklir adalah sumber energi primer potensial yang dapat dikonversi menjadi hidrogen karena reaktor nuklir mampu menghasilkan kalor melimpah yang selain dapat menghasilkan listrik juga dapat dimanfaatkan untuk produksi hidrogen melalui sistem reaktor nuklir kogenerasi⁽⁶⁾.

Siklus SI

Siklus-SI adalah teknik perengkahan air untuk menghasilkan hidrogen yang diusulkan pertama kali oleh *General Atomic*. Reaksi kimia pada siklus-SI adalah reaksi Bunsen, reaksi perengkahan HI, dan reaksi perengkahan H₂SO₄⁽²⁾. Reaksi keseluruhan siklus-SI yang jumlah totalnya merupakan reaksi perengkahan air adalah sebagai berikut:

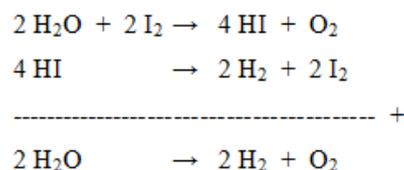


Selain hidrogen dan oksigen, seluruh produk reengkahan H₂SO₄ dan HI digunakan kembali sebagai reaktan pada reaksi Bunsen. Hasil akhir siklus-SI adalah reaksi perengkahan molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen. Bagan siklus-SI ditunjukkan pada Gambar 1 dan efisiensi

pemanfaatan kalor yang dipengaruhi oleh temperatur pada siklus-SI ditunjukkan pada Gambar 2^(7,8).

Siklus I

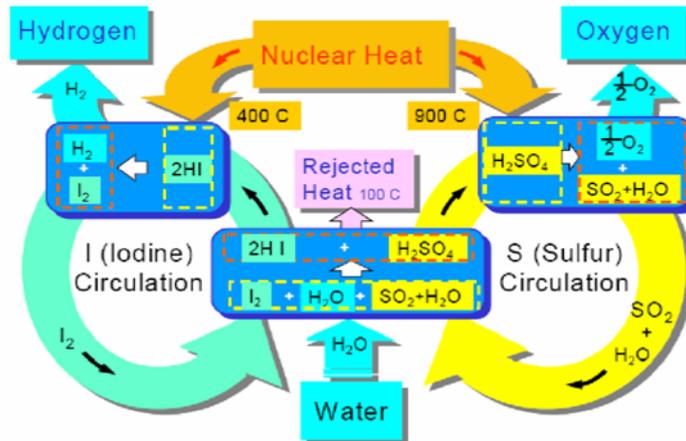
Siklus-I (Siklus-Iodium) merupakan bentuk penyederhanaan dari Siklus-SI dan hanya melibatkan *loop* iodium saja. Siklus-I jauh lebih sederhana dan merupakan intisari Siklus-SI karena tidak memerlukan *loop*-S. Reaksi perengkahan air siklus-I untuk produksi hidrogen tersebut berlangsung dua tahap, yaitu reaksi reformasi uap air-iodium dan reaksi perengkahan HI sebagai berikut⁽⁹⁾:



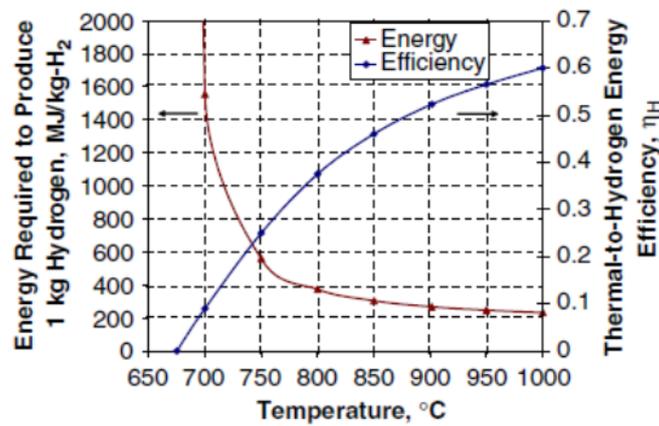
METODOLOGI

Makalah ini mencakup dua hal, yaitu penghitungan distribusi daya RGTT200K dan pemanfaatan kalor *loop* sekunder untuk produksi hidrogen melalui reaksi kimia perengkahan air siklus-SI dan siklus-I. Rancangan sistem kogenerasi RGTT200K dimodelkan dalam tiga *loop* sebagaimana pada Gambar 3.

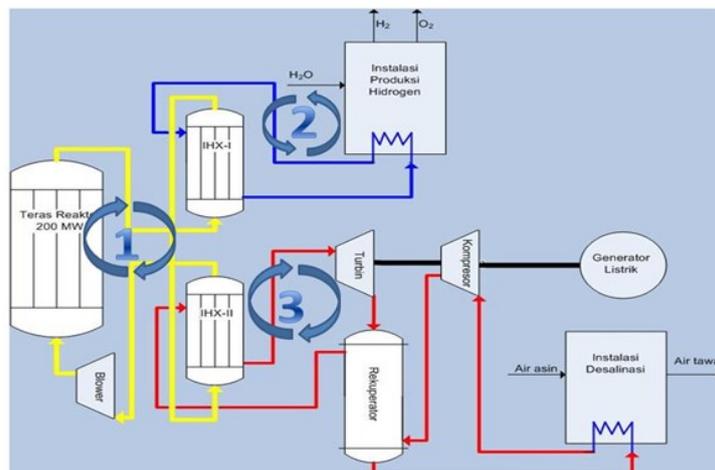
Pemodelan dilakukan dengan membuat gambar menggunakan Microsoft Visio 2003 kemudian disimulasikan dengan Aspen HYSYS. Perangkat lunak Aspen HYSYSTM sebenarnya dirancang untuk menyimulasikan proses di industri pengolahan minyak dan gas. Karena data fisiko-kimia bahan yang digunakan dalam proses perengkahan air siklus-SI juga tercakup dalam Aspen HYSYS, maka perangkat lunak ini dapat juga menyimulasikan siklus-SI.



Gambar 1. Diagram Siklus Sulfur-Iodium (Siklus-SI) ⁽⁷⁾.



Gambar 2. Efisiensi termal dan kebutuhan energi kalor untuk produksi hydrogen ⁽⁸⁾.



Gambar 3. Distribusi daya RGTT200K melalui loop primer, sekunder, dan tersier.

Simulasi dilakukan dengan mengacu pada nilai variabel-variabel komponen utama pada rancangan GTHTR300 (*Gas Turbine High*

Temperature Reactor 300) yang dikembangkan oleh JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*).

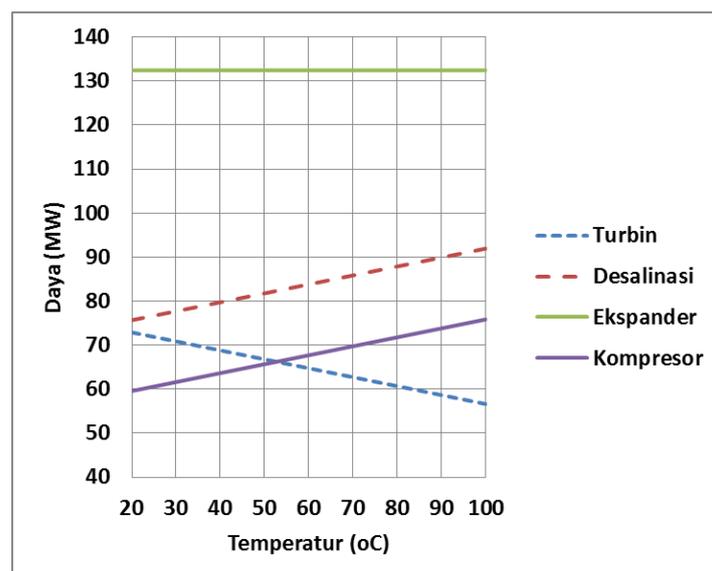
HASIL DAN PEMBAHASAN

Teras RGTT200K dirancang untuk menghasilkan keluaran kalor pada media helium sebesar 200 MW pada temperatur 950°C dan tekanan 50 bar. Temperatur masukan ke dalam teras adalah 611,1° C. Bagian ini bersifat sudah tetap sehingga modifikasi apapun dalam perancangan akan tetap menggunakan spesifikasi teras yang sama^(10,11).

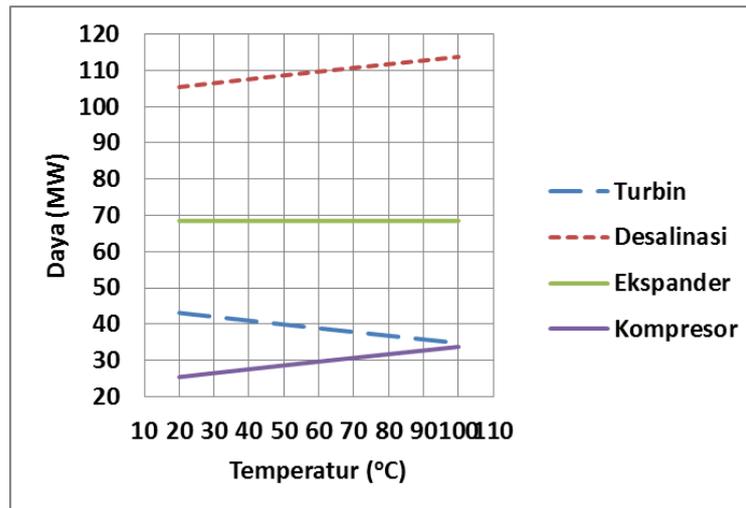
Dengan mengacu pada spesifikasi komponen utama GTHTR300 JAEA, serta dengan mematok temperatur reservoir dingin sebesar 3°C di atas temperatur kamar, maka kalor sebesar 200 MW dari RGTT200K akan teralokasikan untuk produksi hidrogen sebesar 59 MW, pembangkitan listrik 64 MW, dan untuk desalinasi 77 MW. Distribusi kalor tersebut sebagai fungsi temperatur pada reservoir dingin ditunjukkan pada Gambar 4. Pola distribusi kalor ini terjadi jika digunakan gas helium untuk semua loop primer, sekunder, dan tersier.

Media untuk *loop* primer sudah tetap, yaitu helium yang dipilih berdasarkan pertimbangan reaksi nuklir di teras RGTT200K. Pilihan media untuk *loop* sekunder dan tersier bersifat lebih fleksibel. Pada *loop* sekunder yang hanya berisi proses perpindahan kalor tanpa ada proses ekspansi dan kompresi, dapat dipilih media yang dapat menyimpan kalor lebih banyak melalui vibrasi dan regangan molekuler, misalnya karbondioksida. Dengan demikian kehilangan kalor melalui dinding pipa sepanjang sirkulasi dalam *loop* dapat diperkecil.

Pada *loop* tersier yang di dalamnya ada proses ekspansi dan kompresi dipilih media yang menghasilkan kerja ekspander lebih besar pada saat proses ekspansi yaitu gas helium. Jika digunakan gas nitrogen, meskipun lebih mudah dan lebih murah, namun nitrogen menghasilkan kerja ekspander yang lebih rendah dari helium, sehingga listrik yang dihasilkan juga lebih sedikit.



Gambar 4. Pengaruh temperatur reservoir dingin terhadap distribusi kalor RGTT200K



Gambar 5. Hasil simulasi distribusi daya di *loop* tersier jika digunakan Media $N_2:CO_2$ dengan perbandingan 1:1.

Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil simulasi distribusi daya di *loop* tersier jika digunakan campuran media $N_2:CO_2$ dengan perbandingan 1:1. Gambar tersebut menunjukkan bahwa jika digunakan media campuran $N_2:CO_2$ maka akan lebih banyak kalor yang terbuang meskipun kalor tersebut dimanfaatkan untuk desalinasi.

Pada RGTT-Kogenerasi, variasi media pengangkut kalor di *loop* sekunder dan tersier akan mempengaruhi distribusi daya untuk pembangkitan listrik dan desalinasi, sedangkan alokasi daya di *loop* primer untuk menjalankan proses produksi hidrogen akan tetap. Alokasi pasokan kalor pada berbagai variasi daya RGTT untuk produksi hidrogen serta kapasitas produksi yang dapat dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 1.

Kebutuhan kalor siklus-SI dihitung berdasarkan kebutuhan kalor perengkahan H_2SO_4 . Sebelum direngkai, H_2SO_4 pada $100^\circ C$ produk reaksi Bunsen dipanaskan lebih dahulu hingga $900^\circ C$ kemudian diumpankan ke reaktor perengkai. Kalor total untuk reaksi perengkai ini adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan ditambah kalor untuk reaksi perengkai itu sendiri.

Pasokan kalor dalam siklus-SI yang digunakan untuk perengkai H_2SO_4 adalah 75%. Jika tersedia 59 MW untuk siklus-SI, maka perengkai H_2SO_4 akan mengkonsumsi sebesar 44 MW. Daya kalor tersebut dapat merengkai H_2SO_4 sejumlah 33.500 kg/jam yang setara dengan produksi gas oksigen 5.465 kg/jam dan setara gas hidrogen 683 kg/jam.

Tabel 1. Kapasitas produksi hidrogen sesuai dengan jumlah pasokan kalor dari RGTT-Kogenerasi.

Daya RGTT	Daya produksi hidrogen	Kapasitas produksi hidrogen	
		Siklus-SI	Siklus-I
200 MW	59,01 MW	683 kg/jam	1054 kg/jam
30 MW	8,85 MW	102 kg/jam	158 kg/jam
10 MW	2,95 MW	34 kg/jam	52 kg/jam

Kebutuhan kalor siklus-I dihitung berdasarkan nilai efisiensi termik 60%⁽⁷⁾. Dengan nilai efisiensi tersebut, kalor sebesar 59 MW yang dipasok oleh *loop* sekunder RGTT200K dapat menghasilkan hidrogen dengan kapasitas produksi 1.054 kg/jam.

KESIMPULAN

Untuk menghemat gas alam dan menuju teknologi hijau dengan emisi nol, saat ini sedang dikembangkan teknik produksi hidrogen termokimia siklus-SI dan siklus-I yang memanfaatkan pasokan kalor temperatur tinggi dari RGTT-Kogenerasi. RGTT200K yang berdaya termik 200 MW memiliki alokasi daya untuk produksi hidrogen sebesar 59 MW dan dapat menghasilkan hidrogen sebesar 683 kg/jam (siklus-SI) atau 1.054 kg/jam (siklus-I).

DAFTAR PUSTAKA

1. Elder, R. and Allen, R., *Nuclear Heat for Hydrogen Production: Coupling a Very High / High Temperature Reactor to a Hydrogen Production Plant*, Progress in Nuclear Energy, 51, p. 500-525, 2009.
2. Kubo, S., et. all., *R&D Status on Thermochemical IS Process for Hydrogen Production at JAEA*, World Hydrogen Energy Conference, Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association, Energy Procedia, 29, p. 308-317, 2012.
3. Wu, X. and Onuki, K., *Thermochemical Water Splitting for Hydrogen Production Utilizing Nuclear Heat from an HTGR*, Tsinghua Science and Technology, Vol. 10, No. 2, p. 270-276, 2005.
4. Zhang, P., et. All., *Overview of Nuclear Hydrogen Production Research through Iodine Sulphur Process at INET*, International Journal of Hydrogen Energy, 35, p. 2883-2887, 2010.
5. Li, H., et. All., *Development of Direct Resistive Method for SO₃ Decomposition in The S-I Cycle for Hydrogen Production*, Journal of Applied Energy, 93, p. 59-64, 2012.
6. Kementerian Riset dan Teknologi, *Agenda Riset Nasional 2010 - 2014*, Lampiran II Keputusan Menteri Riset dan Teknologi Nomor : 193/M/Kp/IV/2010.
7. Chukwu, C., : *Process Analysis and Aspen Plus Simulation of Nuclear-Based Hydrogen Production with a Copper-Chlorine Cycle*, Thesis of Master of Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2008.
8. Yildiz, B. dan Kazimi, M.S., *Efficiency of Hydrogen Production System Using Alternative Nuclear Energy Technologies*, International Journal of Hydrogen Energy, 31, p. 77-92, 2006.
9. Huda, N., *Rancangan Konseptual Proses Perengkahan Air Siklus Sulfur-Iodium untuk Produksi Hidrogen pada Sistem Reaktor Nuklir Kogenerasi*, Tesis Magister Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, 2013 .

10. Purwadi, M.D., *Desain Konseptual Sistem RGTT 200 MWt Siklus Tak Langsung*, Prosiding Seminar Nasional TKPFN Ke-17, 1 Oktober 2011, Yogyakarta.
11. Purwadi, M.D. , *Analisis dan Optimasi Desain Sistem Reaktor Gas Temperatur Tinggi RGTT200K dan RGTT200KT*, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Vol. 14, No. 1, hal. 1-14, 2012.