

KONSEP RANCANGAN SISTEM PEMURNIAN GAS PENDINGIN PRIMER PADA *HIGH TEMPERATURE REACTOR (HTR)*

PIPING SUPRIATNA

*Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN
Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310, Banten
Telp, 021.7560912, Faks. 7560913*

Abstrak

KONSEP RANCANGAN SISTEM PEMURNIAN GAS PENDINGIN PRIMER PADA *HIGH TEMPERATURE REACTOR (HTR)*. Peningkatan konsumsi energi dunia harus diimbangi oleh penambahan dan pengembangan sumber energi baru yang bersifat ramah lingkungan, praktis dan ekonomis. Dari berbagai aspek penilaian teknologi, ternyata PLTN jauh lebih praktis, lebih ekonomis dan lebih ramah lingkungan, dibandingkan dengan teknologi pembangkit tenaga listrik lainnya. Perkembangan Teknologi PLTN mulai dari Generasi-I tahun 1950-an, Generasi-II, Generasi-III yang sedang berjalan saat ini dan Generasi-IV yang akan diimplementasikan mulai tahun 2025. Konsep penggunaan teknologi PLTN saat ini tidak hanya terbatas pada pemanfaatan fungsinya sebagai pembangkit tenaga listrik, tapi juga berkembang dalam pemanfaatan untuk aplikasi lainnya yang lebih berguna dengan istilah reaktor kogenerasi. Reaktor ini umumnya dari jenis High Temperature Reactor (HTR), dengan nilai tambah memiliki kemampuan untuk produksi air bersih/desalinasi, penggunaan panas proses untuk industri, pencairan batubara, produksi hidrogen, Enhanced Oil Recovery (EOR), dll. Reaktor kogenerasi (HTR) menghasilkan output panas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PLTN konvensional, dan memerlukan Heat Exchanger khusus untuk pendingin berupa gas helium (He). Dalam mempertahankan efisiensi pertukaran panas dengan baik perlu dijaga karakteristik dari gas Helium sebagai pendingin primer, terutama menjaga kemurniannya dari pengotornya (impurity). Dalam penelitian ini dilakukan kajian rancangan sistem pemurnian gas pendingin primer HTR, dengan metode diambil sebagian volume gas He, kemudian dipisahkan dari pengotornya, yang selanjutnya dikembalikan ke dalam siklus pendingin primer. Rancangan sistem pengujian dilakukan secara simulator fisik dengan memanfaatkan panas dari Heater sebagai pengganti teras reaktor. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsep rancangan sistem pemurnian gas pendingin primer ini memungkinkan untuk diimplementasikan pada reaktor HTR, dalam rangka meningkatkan kinerja reaktor tersebut.

Kata kunci : Energi, PLTN, HTR, Kogenerasi

Abstract

Design concept of Primary Coolant Gas Purification System of High Temperature Reactor (HTR). Increasing of electrical energy world consumption must be balanced by increased and developed of green energy resources. Technological assessment from many aspects, energy power plant is more green, practical and more economic than conventional energy power plant. The technological progress of NPP Generation-I on 1950's, Generation-II, Generation-III recently on going, and Generation-IV which will be implemented on next year 2025, concept of nuclear power technology implementation not only for generate electrical energy, but also for other application which called cogeneration reactor. Commonly the type of this reactor is High Temperature Reactor (HTR), which have other capabilities like Hydrogen production, desalination, Enhanced Oil Recovery (EOR), etc. The cogeneration reactor (HTR) produce thermal output higher than commonly Nuclear Power Plant, and need special Heat Exchanger with helium gas as coolant. In order to preserve heat transfer with high efficiency, constant purity of the gas must be maintained as well as possible, especially contamination from its impurities. In this report has been done study for design concept of HTR primary coolant gas purification system, including methodology by way of sampling HE gas from Primary Coolant and purification. The examination has been designed in physical simulator by using heater as reactor core. The result of study show that the Design concept of Primary Coolant Gas Purification System is enable to be implemented on High Temperature Reactor (HTR), in order performance of the reactor increased.

Keywords : Energy, NPP, HTR, cogeneration

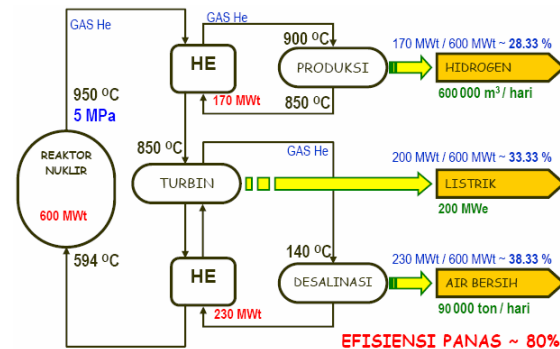
PENDAHULUAN

Energi listrik bagi umat manusia saat ini merupakan kebutuhan utama dalam menjalankan semua aspek kegiatan hidupnya, berbagai jenis pembangkit tenaga listrik diciptakan oleh para ahli untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, berbagai sumber energi dimanfaatkan mulai dari tenaga air, tenaga gas bumi, bahan bakar batu bara, bahan bakar minyak sampai sumber energi nuklir. Ternyata berbagai jenis teknologi pembangkit tenaga listrik ini menimbulkan berbagai masalah baru secara global, terakumulasinya gas yang menimbulkan efek rumah kaca, pemanasan global dunia, perubahan iklim yang drastis, makin terbatasnya persediaan energi terbarukan, dan semakin parahnyanya kerusakan lingkungan akibat polusi dari penggunaan energi yang tidak terkendali.

Hal ini mendorong para ahli energi untuk membuat terobosan baru dalam penciptaan sumber energi yang bersifat ramah lingkungan, terbarukan, *portable*, efektif dan efisien, di antaranya adalah *fuel-cell* yang memanfaatkan gas hidrogen sebagai bahan bakar dan pembuatan reaktor Kogenerasi yang dirancang memiliki tingkat efisiensi pemanfaatan *output thermal* dari reaktor sebesar 100%. Perlu diketahui bahwa PLTN generasi sebelumnya (Generasi I, II, III dan III+) tingkat efisiensi pemanfaatan *output thermal* hanya mencapai efisiensi 33,33%, dan tidak didesain untuk memanfaatkan *output thermal* sisa untuk keperluan lainnya (aplikasi reaktor), melainkan *output thermal* sisa ini dibuang ke lingkungan. Hal ini jelas akan memberikan kontribusi terhadap pemanasan global dunia^[1].

Konsep teknologi reaktor nuklir kogenerasi dengan memanfaatkan panas yang dikeluarkan oleh reaktor ini dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik (33,33%), produksi gas hidrogen (28,33%) dan desalinasi (38,33%). Dengan demikian seluruh energi panas yang dikeluarkan oleh reaktor dapat dimanfaatkan semuanya, tanpa ada yang terbuang ke lingkungan. Negara Jepang telah berhasil menguasai teknologi reaktor kogenerasi ini, namun dalam hal efisiensi pemanfaatan panas yang dihasilkan oleh reaktor kogenerasi belum bisa mencapai 100%. Efisiensi pemanfaatan panas dari reaktor kogenerasi oleh negara

Jepang baru mencapai 80%. Kunci keberhasilan penerapan teknologi ini adalah bagaimana dapat mempertahankan efisiensi transfer panas secara sempurna, yang dalam hal ini pendinginnya adalah gas helium. Kemurnian gas helium sebagai pendingin untuk transfer panas pada reaktor kogenerasi memegang peranan penting untuk mencapai efisiensi 100%^[2].



Gambar 1. Konsep Dasar Reaktor Kogenerasi dengan Fungsi dan Aplikasinya

Gas helium sangat tepat dijadikan sebagai fluida pendingin untuk transfer panas pada reaktor dengan suhu sangat tinggi (untuk HTGR, VHTR dan jenis *gascool reactor* lainnya sampai sekitar 950°C), mengingat karakteristik dari gas helium sebagai gas ideal / gas inert, tidak mengalami perubahan sifat fisik maupun kimia pada suhu relatif sangat tinggi, tidak bereaksi dengan gas / zat lainnya, efektif untuk keperluan heat transfer dan mudah dimampatkan sampai di atas 5 MPa atau lebih. Karakteristik gas helium bisa bertahan seperti ini jika kemurniannya (*purity*) bisa dijaga dengan baik. Namun demikian unsur-unsur gas pengotor bisa muncul dari akibat kebocoran orde mikro pada sistem *shield* antar sambungan pipa pendingin, sehingga gas pengotor (*impurity gas*) memungkinkan masuk ke dalam sistem pendingin. Tidak mustahil jika pelumas dari bearing dengan sistem penyekatan yang tidak sempurna, pada suhu sangat tinggi akan menjadi gas kontaminan yang bisa merusak karakteristik dari gas helium. Setiap material yang mengalami kontak langsung dengan gas helium dengan suhu sekitar 950 °C, cepat atau lambat akan mengalami kerusakan fisik akibat *temperature stress* sehingga secara fisik menjadi lebih rapuh. Benda rapuh ini akan menghasilkan debu yang mengotori gas helium.

Beragam-dampak yang ditimbulkan oleh gas pengotor pada sistem

pendingin helium ini. Gas N_2 dan O_2 yang terperangkap dalam sistem pendingin helium dengan suhu sangat tinggi akan membentuk gas NO_x . Gas pengotor ini jelas akan menurunkan efisiensi *heat transfer* dari sistem pendingin helium. Gas O_2 yang terperangkap masuk kedalam bejana reaktor, ketika mengenai balok-balok grafit yang dijadikan moderator, pada suhu sangat tinggi akan terjadi reaksi pembentukan gas CO_x , dan hal ini akan menimbulkan kerapuhan pada permukaan balok grafit, bahkan jika gas O_2 yang mengenai balok grafit ini menghunjam tajam akan menimbulkan keretakan pada balok grafit. Apapun bentuk kerusakan material pada sistem pendingin ini akan merupakan pengotor yang bisa menurunkan unjuk kerja dari sistem pendingin gas helium secara keseluruhan. Berdasarkan kondisi seperti itu maka pemeliharaan dalam bentuk pemurnian gas helium sebagai pendingin pada *gascooled reactor* adalah mutlak diperlukan tanpa harus menghentikan proses yang sedang berjalan^[3].

SIGNIFIKANSI PENELITIAN

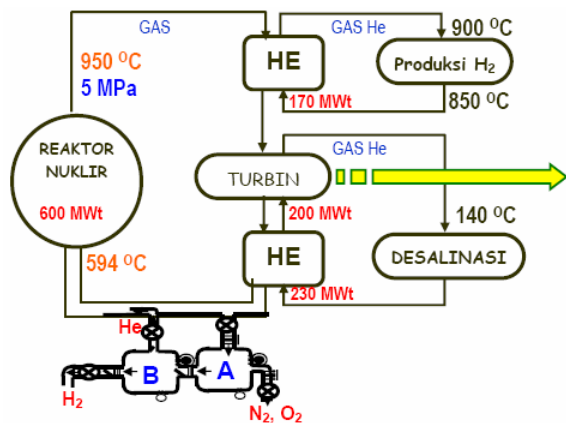
Persyaratan reaktor kogenerasi sama halnya dengan reaktor nuklir generasi-IV, yaitu dituntut untuk memenuhi kriteria :

1. *Sustainability* yang menyangkut Resources input, wastes output dan nonproliferation. Keberlanjutan eksistensi sistem PLTN supaya tetap bisa beroperasi secara normal dalam jangka panjang, sedikit limbah radioaktif dan berumur pendek, sehingga sistem PLTN yang diterapkan ini ramah terhadap lingkungan. Daur ulang limbah dilakukan langsung di dalam sistem PLTN, sehingga limbah akhir yang dibuang tidak bisa didaur-ulang lagi sebagai bahan bakar nuklir.
2. *Safety & reliability* yang menyangkut *excellence*, *core damage* dan *emergency response*. Keamanan dan keandalan dalam pengoperasian PLTN supaya berjalan secara sempurna (*error free*), dengan menerapkan peraturan yang ketat untuk menghindari terjadinya kegagalan akibat *human error*, dan penerapan teknologi *expert system* untuk menghindari terjadinya kegagalan akibat *design error*. Perbaikan *design* teras reaktor untuk menekan probabilitas kerusakan teras pada

saat reaktor beroperasi. Dengan menerapkan teknologi *expert system*, penanganan keadaan darurat dilakukan secara otomatis, tanpa perlu adanya sistem respon darurat secara eksternal (*alert system*).

3. *Economics* yang menyangkut *life cycle cost* dan *risk to capital*. Biaya operasional dan biaya perawatan secara ekonomi harus lebih kompetitif, dan resiko finansial harus lebih kecil jika dibandingkan dengan teknologi pembangkit listrik lainnya^[1].

Khusus untuk reaktor Kogenerasi rancangannya dibuat sedemikian rupa agar *thermal output* dari reaktor ini dapat dimanfaatkan secara maksimal, atau level efisiensi penggunaan *thermal output* dari reaktor ini bisa mencapai 100% (lihat Gambar 1). Namun dalam prakteknya yang telah dilaksanakan di negara Jepang, karena adanya ketidak-sempurnaan pada berbagai komponen tertentu dari reaktor ini, efisiensi pemanfaatan *thermal output* reaktor kogenerasi baru bisa mencapai 80%. Banyak kendala yang menyebabkan susahya pencapaian 100% efisiensi pemanfaatan *thermal output* reaktor kogenerasi, diantaranya adalah kemurnian (*purity*) dari gas helium yang digunakan sebagai gas pendingin untuk reaktor kogenerasi, kebocoran orde mikro pada sistem *shield* antar sambungan pipa pendingin yang dapat meningkatkan kadar *impurity* dari gas helium, pelapukan/korosi pada dinding pipa pendingin akibat suhu tinggi dan *impurity* dari gas O_2 . Untuk mengatasi kendala di atas mutlak diperlukan pemeliharaan dalam hal kemurnian gas helium yang digunakan sebagai pendingin, yang mana pemurnian gas helium ini dilakukan tanpa harus menghentikan proses operasi reaktor yang sedang berjalan. Pemurnian pendingin gas helium dari reaktor kogenerasi ini akan efektif jika dilakukan pada bagian *Cold-Leg* dari reaktor kogenerasi (lihat Gambar 2)^[4].



Gambar 2. Rancangan Alokasi Sistem Pemurnian Gas He Pada Reaktor Kogenerasi

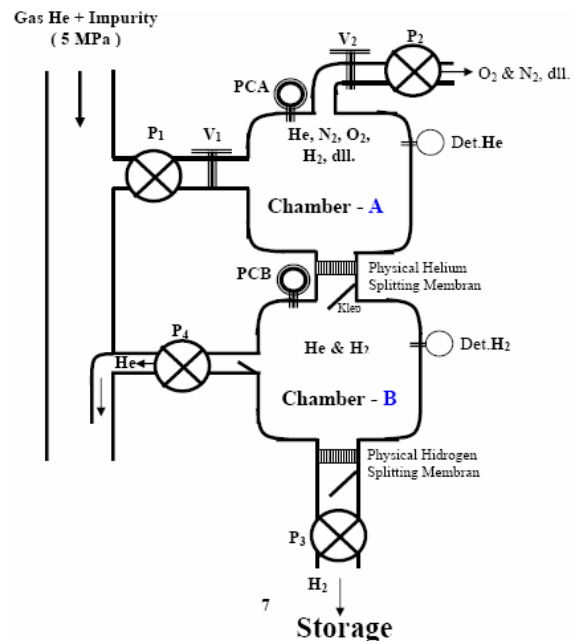
METODOLOGI

Semua sumber pembangkit energi yang efisiensinya rata-rata sekitar 30%, panas selebihnya akan dibuang ke lingkungan dan akan memberikan kontribusi terhadap pemanasan global di muka bumi. Pengalaman menunjukkan bahwa berdasarkan penilaian dari berbagai aspek teknologi, PLTN jauh lebih praktis, lebih ekonomis dan lebih ramah lingkungan, dibandingkan dengan teknologi pembangkit tenaga listrik lainnya. Namun perlu diketahui bahwa PLTN generasi sebelumnya (Generasi I, II, III dan III+) tingkat efisiensi pemanfaatan *output thermal* hanya mencapai efisiensi maksimal sampai 34%, dan tidak didesain untuk memanfaatkan *output thermal* sisa untuk keperluan lainnya (aplikasi reaktor), sehingga *output thermal* sisa ini dibuang begitu saja ke lingkungan.

Untuk *gascooled reactor* dengan pendingin gas helium, pemurnian gas helium dilakukan pada saat reaktor tersebut sedang dalam keadaan beroperasi, dimana suhu dari gas helium sebagai pendingin sekitar 950°C dan tekanannya sebesar 5 MPa. Namun demikian proses pengambilan sampel untuk pemurnian gas helium dilakukan pada bagian *Cold-Leg* dari *primary loop*, yang memiliki suhu sekitar 594°C dan tekanannya sebesar 5 Mpa (lihat Gambar 3). Sampel gas helium diambil dengan jalan dipompakan pada suatu *chamber* berukuran sekitar 1 m³. *Chamber* tersebut (*Chamber-A*) juga sudah dilengkapi dengan instrumen kontrol berupa kontrol tekanan (dengan sistem *transducer*) dan kontrol

kuantitas gas helium (detektor helium) di dalam *chamber* (lihat Gambar 3).

Melalui *Physical Helium Splitting Membran* sampel gas helium disalurkan ke dalam *chamber-B*, tetapi hanya gas helium dan partikel gas yang lebih kecil dari gas helium saja (gas hidrogen) yang dapat melewati membran tersebut. Pada *chamber-B* juga sudah dilengkapi dengan instrumen kontrol tekanan (*transducer*) dan kontrol kuantitas gas hidrogen (detektor hidrogen). Dengan demikian pada *chamber-A* dapat diketahui tekanan dari sampel gas helium berikut kadar heliumnya, dan pada *chamber-B* dapat diketahui tekanan dari campuran gas helium dan gas hidrogen berikut kadar hidrogennya.



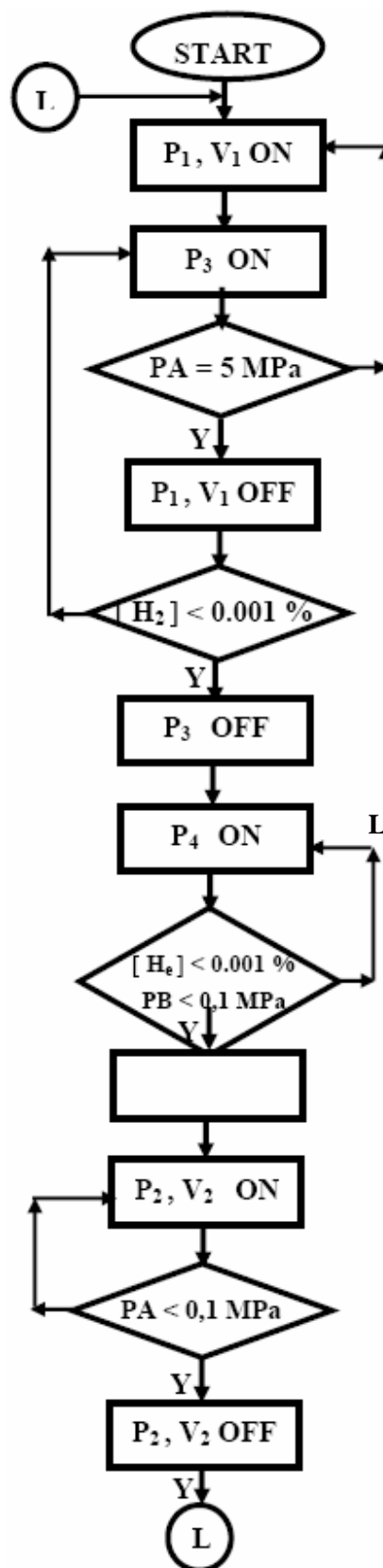
Gambar 3. Sistem Pemurnian Gas Helium .

Adapun proses pelaksanaan pemurnian sampel gas helium sampai menjadi gas helium murni yang dikembalikan ke dalam loop pendingin primer, bagan siklusnya dapat dilihat pada Gambar 3. Siklus proses pemurnian sampel gas helium dimulai dengan membuka valve-1 (V_1), menjalankan Pompa-1 (P_1) dan Pompa-3 (P_3). Pompa-1 akan mengisap sampel gas helium dengan *impurity*-nya yang berasal dari bagian pendingin primer aliran gas helium yang suhunya mencapai 594°C. Melalui Pompa-3 sampel gas helium ini akan dilewatkan terus hingga melewati *Physical Helium Splitting Membran* (M1) dan *Physical Hidrogen Splitting Membran* (M2). Hanya gas helium dan partikel lebih kecil (gas hidrogen sebagai *impurity*)

yang bisa melewati membran M1, sedangkan untuk membran M2 hanya gas hidrogen yang mampu untuk melewatinya. Ketika tekanan pada *chamber A* mencapai 5,0 MPa, Pompa-1 (P_1) dan valve-1 (V_1) dimatikan (OFF) dan ketika konsentrasi H_2 pada *chamber B* mencapai 0.001% Pompa-3 (P_3) dimatikan (OFF).

Selanjutnya Pompa-4 (P_4) dijalankan (ON) sampai konsentrasi He pada *chamber A* mencapai 0.001% dan tekanan pada *chamber B* mencapai 0.1 MPa. Ketika kondisi tersebut telah dicapai, maka Pompa-4 (P_4) dimatikan (OFF), kemudian Pompa-2 (P_2) dan valve-2 (V_2) dijalankan (ON) sampai tekanan pada *chamber A* mencapai 0.1 MPa. Tahap akhir dari siklus pemurnian gas He adalah ketika tekanan pada *chamber A* mencapai 0.1 MPa, maka selanjutnya Pompa-2 (P_2) dan valve-2 (V_2) dimatikan (OFF), kemudian kembali ke siklus semula, yaitu membuka valve-1 (V_1), menjalankan Pompa-1 (P_1) dan Pompa-3 (P_3), dan seterusnya.

Proses kerja sistem pemurnian gas helium di atas semuanya dilakukan secara otomatis melalui pengendalian oleh *micro controller*. Untuk lebih jelasnya proses otomatisasi sistem pemurnian gas pendingin primer Reaktor HTR ini dapat dilihat bagan alirnya (*flowchart*) pada Gambar 4.

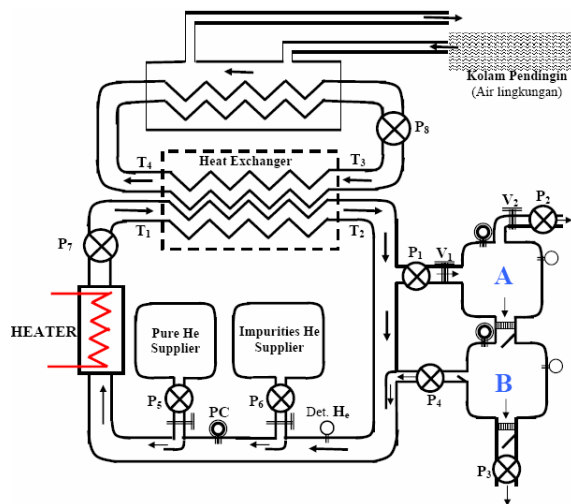


Gambar 4. Proses Otomasi Sistem Pemurnian Gas Pendingin Primer Reaktor

PEMBAHASAN

Uji Coba Sistem Pemurnian Pendingin Gas He.

Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa jenis reaktor dari Generasi-IV akan mulai dioperasikan tahun 2025, sehingga secara fisik jenis reaktor tersebut saat ini belum ada.^[4]



Gambar 5. *Physical Simulator He Gascool Primary-Loop* Dengan Sistem Pemurniannya.

Namun demikian untuk melakukan eksperimen sistem pemurnian pendingin gas He tersebut dapat dilakukan dalam skala lab, menggunakan Simulator fisik *He gascool primary-loop* dengan sumber panas dari *Heater* dan dilengkapi dengan *Pure He Supplier* dan *Impurities He Supplier* (udara/N₂, O₂, dll.), seperti terlihat pada Gambar 5.

Khusus untuk bagian Simulator *He gascool primary-loop*, Pompa-5 (P₅) akan dijalankan men-supply gas helium murni ketika tekanan pada simulator *primary-loop* turun sampai lebih kecil dari 5 Mpa. Pompa-6 (P₆) dijalankan untuk memvariasikan kadar *impurities* dalam *He gascool primary-loop*, yang akan mempengaruhi efisiensi *Heat Transfer* dari *Heat Exchanger*, sedangkan Pompa-7 (P₇) akan tetap berjalan selama proses berlangsung, yang fungsinya untuk mensirkulasikan gas Helium pada simulator *He gascool primary-loop*. Pompa-8 (P₈) digunakan untuk mensirkulasikan fluida pendingin pada sistem pendingin skunder. Pada sistem skunder dilengkapi dengan sistem pendingin dari kolam pendingin (air lingkungan), yang fungsinya

untuk menurunkan panas yang ditransfer dari *Heat Exchanger*.

Dengan diketahuinya parameter *Heat Transfer* pada sistem Simulator *He gascool primary-loop* dengan sistem pemurniannya, seperti kadar *Impurities* pada *He gascool primary-loop*, debit (pompa) fluida dan jenis fluida, temperatur tekanan *inlet* dan *outlet* pada sistem *Heat Exchanger*, baik *loop*-primer maupun *loop*-skunder (T₁, T₂, T₃ dan T₄), maka dapat ditentukan hubungan antara kadar *Impurities* pada *He gascool primary-loop* dengan efisiensi *Heat Transfer* dari sistem Simulator *He gascool primary-loop*. Semakin tinggi tingkat kemurnian gas He sebagai pendingin pada *primary-loop*, akan semakin tinggi pula tingkat efisiensi *Heat Transfer* dari Simulator-*loop* tersebut. Dengan mengatur variasi kadar *Impurities* pada *He gascool primary-loop*, akan diperoleh hubungan antara kadar *Impurities* dengan tingkat efisiensi *Heat Transfer* dari Simulator-*loop*.

KESIMPULAN

Untuk mempertahankan tingkat efisiensi reaktor kogenerasi/HTR, perlu dijaga tingkat kemurnian gas He sebagai pendingin, tanpa mengganggu proses operasi dari reaktor tersebut. Rancangan sistem pemurnian gas Helium untuk reaktor kogenerasi/HTR direncanakan dapat dioperasikan secara otomatis dengan menggunakan sistem kendali *microcontroller*, yang diharapkan mampu dioperasikan tanpa mengganggu jalannya proses operasi reaktor. Dalam konsep rancangan sistem pemurnian gas He pada reaktor jenis HTR, proses uji coba kinerja sistem dilakukan dengan menggunakan simulator fisik untuk uji *He gascool* dengan sumber panas dari *Heater* (Gambar 5). Sistem ini dilengkapi dengan *Pure He Supplier* untuk *supply* gas He murni dan *Impurities He Supplier* untuk mengatur tingkat ketidakmurnian gas helium sebagai pendingin. Demikian juga detektor helium dipasang/digunakan untuk mengetahui kadar kemurniannya, *Heat Exchanger* untuk menentukan tingkat efisiensi *Heat Transfer*, serta perangkat fasilitas lainnya yang diperlukan.

Konsep rancangan awal dari sistem pemurnian gas He tidak sampai pada

pembuatannya, mengingat penelitian ini perlu pendanaan yang cukup besar dan reaktor kogenerasi/HTR saat ini belum beroperasi, sehingga hasil kajian ini lebih bersifat kualitatif. Berdasarkan hasil kajian di atas menunjukkan bahwa konsep rancangan sistem pemurnian gas helium sebagai pendingin primer ini memungkinkan untuk diimplementasikan langsung di lapangan pada reaktor HTR yang akan mulai dioperasikan pada tahun 2025, dalam rangka meningkatkan kinerja reaktor tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonymous, "Generation IV Roadmap: R&D Scope Report for Gas-Cooled Reactor Systems," GIF-004-00, Generation IV International Forum (2002), <http://gif.inel.gov/roadmap/>.
2. M. Dhandhang P., Materi presentasi : *Litbang Reaktor Nuklir Kogenerasi*, Bidang Pengembangan Reaktor, PPTKR-BATAN, 18 Juli 2007.
3. J. M. Corum and T. E. McGreevy, "R&D Plan for Development of High-Temperature Structural Design Technology for Generation IV Reactor Systems," ORNL/TM-2004/249, September 2004, (Draft).
4. T. E. McGreevy, D. L. Marriott, and P. Carter, "High-Temperature Design Methods Development Advances for 617: Status and Plans," ORNL/TM-2005/515, July 2005 (Draft).
5. Baughn, J. W., and S. Shimizu, 1989. *Heat transfer measurements from a surface with uniform heat flux and an impinging jet*. J. Heat Transfer, 111, pp. 1096-1098.

