

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS REKUPERATOR UNTUK REAKTOR GAS TEMPERATUR TINGGI

Oleh
Piping Supriatna
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS REKUPERATOR UNTUK REAKTOR GAS TEMPERATUR TINGGI. Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi (RGTT) merupakan salah satu jenis reaktor Generasi IV yang didesain dengan konsep kogenerasi untuk pembangkit listrik dan produksi hidrogen. RGTT berpendingin helium dengan temperatur outlet kurang lebih 950 °C dan bertekanan 5,1 MPa. Komponen konversi energi yang utama dalam sistem kogenerasi RGTT adalah *Intermediate Heat Exchanger* (IHX), yang mana melalui IHX energi termal dipindahkan dari sistem reaktor ke sistem kogenerasi untuk pembangkitan listrik dan proses produksi hidrogen. Keberhasilan desain RGTT selain ditentukan oleh unjuk kerja IHX juga ditentukan oleh pemanfaatan panas sisa dari sistem kogenerasi melalui penukar panas rekuperator. Kinerja rekuperator dipengaruhi oleh parameter keefektifan, efisiensi, dan konfigurasi rekuperator dalam sistem kogenerasi RGTT. Pemodelan perhitungan penukar panas rekuperator dilakukan dengan membandingkan model perhitungan melalui parameter kinerja rekuperator dalam tiga konfigurasi, yaitu konfigurasi dengan siklus pembangkitan listrik dengan *Secondary Heat Exchanger* (SHX), konfigurasi sistem pembangkitan listrik tanpa SHX, dan konfigurasi sistem pembangkitan listrik secara langsung dari reaktor tanpa sistem kogenerasi. Dari pemodelan perhitungan diperoleh konfigurasi siklus pembangkitan listrik dengan SHX yang menghasilkan kinerja rekuperator paling efektif, dengan efektivitas pertukaran panas 89,43 %.

Kata kunci: RGTT, rekuperator, IHX, SHX

ABSTRACT

CALCULATION ON EFFECTIVITY OF RECUPERATOR FOR HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR. High Temperature Gas cooled Reactor (HTGR) is one of Generation IV reactors which is conceptually designed using cogeneration for electric generation and hydrogen production. HTGR use helium gas as coolant with operating pressure around 5.1 MPa and and outlet temperature about 950 °C. The main energy conversion component in VHTR cogeneration is intermediate heat exchanger (IHX). Thermal energy passes the IHX from the reactor system to the cogeneration system for electric generation and for hydrogen production. The success of HTGR design is beside affected by performance of IHX, also determined by effectivity, efficiency and configuration of recuperator in HTGR configuration system. Assessment modeling of recuperator heat exchanger to be done through comparison of direct cycle with secondary heat exchanger (SHX), direct cycle without SHX, and direct cycle without cogeneration system. Assessment modeling gave for direct cycle with SHX as the best performance with 89,43 % recuperator effectivity.

Keywords: HTGR, recuperator, IHX, SHX

PENDAHULUAN

Konsep penerapan teknologi PLTN saat ini tidak hanya terbatas pada pemanfaatannya sebagai pembangkit tenaga listrik, tapi juga dikembangkan untuk aplikasi lainnya yang diistilahkan sebagai reaktor kogenerasi, yang umumnya merupakan jenis Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi (RGTT), yang memiliki kemampuan untuk produksi hidrogen, desalinasi, dll. Reaktor jenis RGTT menghasilkan *output* panas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis reaktor lainnya, dan memerlukan *Heat Exchanger* khusus untuk pendinginnya berupa gas helium (He)^[1].

Teknologi RGTT bertujuan memanfaatkan panas yang dihasilkan untuk membangkitkan

tenaga listrik (33,33%), produksi gas hidrogen 28,33% dan desalinasi 38,33%^[2], sehingga seluruh energi panas dari reaktor dapat dimanfaatkan tanpa ada yang terbuang ke lingkungan, yang dapat menimbulkan dampak *global warming*. Untuk tujuan pemanfaatan panas dari reaktor kogenerasi sepenuhnya tidaklah mudah, banyak faktor yang ikut menentukan keberhasilan pemanfaatan energi panas dari reaktor ini, diantaranya adalah jenis gas yang digunakan sebagai pendingin, pemanfaatan jenis kogenerasi reaktor, konfigurasi sistem reaktor, efektivitas penukar panas yang digunakan, dan lain-lain.

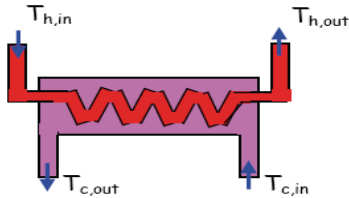
Sistem penukar panas yang banyak berperan dalam meningkatkan efisiensi total dari reaktor kogenerasi ini adalah rekuperator. Rekuperator sebagai penukar panas pada sistem reaktor

kogenerasi memiliki fungsi ganda, yaitu berfungsi untuk menurunkan temperatur gas pendingin yang keluar dari turbin, yang kemudian akhirnya diteruskan ke kompresor agar bisa dikompresikan. Fungsi lain dari rekuperator ini adalah untuk menaikkan temperatur gas pendingin sebelum dimasukkan kembali ke dalam teras reaktor.

Mengingat pentingnya fungsi rekuperator dalam sistem reaktor kogenerasi, maka dalam makalah ini dibahas efektivitas rekuperator melalui pemodelan perhitungan penerkar panas rekuperator dengan membandingkan model per-hitungan melalui parameter kinerja rekuperator dalam tiga konfigurasi, yaitu konfigurasi siklus pembangkitan listrik dengan *Secondary Heat Exchanger* (SHX), konfigurasi sistem pembangkitan listrik tanpa SHX, dan konfigurasi sistem pembangkitan listrik secara langsung dari reaktor tanpa sistem kogenerasi.

TEORI

Perhitungan efektivitas rekuperator dalam hal ini lebih banyak menggunakan metode perpindahan panas. Prinsip perpindahan panas yang paling sederhana dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gambar penerkar panas

Efektivitas penerkar panas didefinisikan sebagai berikut^[3]:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad \text{dan} \quad Q = Q_h = Q_c \quad (1)$$

dengan

Q : kalor yang dipindahkan

Q_h : kalor yang dikeluarkan oleh fluida panas

Q_c : kalor yang diterima oleh fluida dingin

$$Q_h = C_h \cdot (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2)$$

$$Q_c = C_c \cdot (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (3)$$

$$Q_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (4)$$

C_{\min} diambil dari nilai C_h atau C_c yang lebih kecil. Dengan demikian efektivitas penerkar panas dapat dituliskan menjadi :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{C_h \cdot (T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{\min} \cdot (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (5)$$

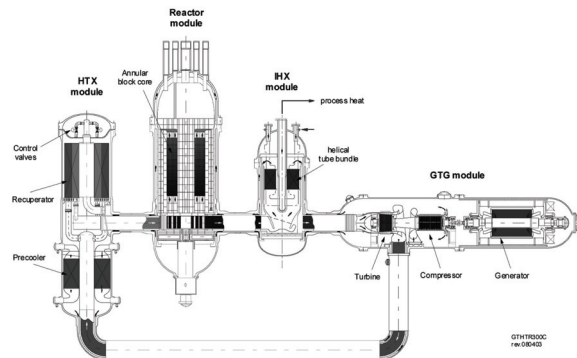
Jika fluida bagian panas dan fluida bagian dingin sama (dalam hal ini adalah gas helium), maka $C_h = C_c = C_{\min}$, maka persamaan (5) menjadi :

$$\varepsilon = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (6)$$

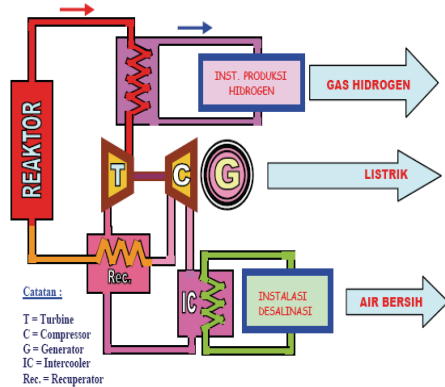
Untuk mengetahui efektivitas dari rekuperator, maka perhitungan efektivitas penerkar panas rekuperator dilakukan dengan membandingkan perhitungan melalui parameter kinerja rekuperator dalam tiga model konfigurasi, yaitu konfigurasi siklus pembangkitan listrik dengan *Secondary Heat Exchanger* (SHX) sebagai *intercooler*, konfigurasi sistem pembangkitan listrik tanpa SHX, dan konfigurasi sistem pembangkitan listrik secara langsung dari reaktor tanpa sistem kogenerasi.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan meliputi studi literatur teknologi reaktor generasi ke-4 (GEN-IV) khususnya Reaktor berpendingin Gas Temperatur Tinggi (RGTT), yang mana reaktor jenis ini sangat cocok dimanfaatkan sebagai reaktor kogenerasi. Dari berbagai jenis RGTT, yang paling sederhana dan mudah dalam pengembangan berikutnya adalah jenis RGTT modular, yaitu GTMHR300C seperti yang terlihat pada Gambar 1. Gambar 2 menunjukkan diagram sederhana dari reaktor kogenerasi jenis GTMHR300C. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan (1) sampai dengan (6).



Gambar 1. Reaktor kogenerasi GTMHR300C^[4]



Gambar 2. Diagram reaktor untuk kogenerasi

HASIL DAN DISKUSI

Perhitungan efektivitas dari rekuperator dilakukan berdasarkan parameter desain reaktor GTMHR-300C, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter reaktor GTMHR-300C^[5]

Reactor thermal power	600 MWt/module
IS process heat rate	170MWt/module
Reactor core coolant	Helium gas
γ for helium gas	1,667
Core coolant flow	322 kg/s
Core inlet temperature	650 °C
Core outlet temperature	1000 °C
Core coolant pressure	5.1MPa
Average fuel burnup	120GWd/ton
Refueling interval	18 months
Electricity production	202 MWe
H2 production	1.9~2.4 ton/hr (21,000~27,000 Nm3/hr)

Selanjutnya pada sistem rekuperator ini dengan menggabungkan persamaan-persamaan (1), (2) dan (3) bisa ditentukan nilai $(T_{h,out})$ sama dengan 277°C. Dengan demikian melalui persamaan (6) nilai efektivitas rekuperator dapat ditentukan yaitu :

$$\varepsilon = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{700 - 277}{700 - 227} = \frac{423}{473} = 0,8943$$

Seperti telah diketahui bahwa fungsi dari rekuperator adalah untuk menurunkan temperatur gas pendingin helium sebelum dimasukkan kedalam kompresor, dan menaikkan temperatur gas pendingin helium sebelum dimasukkan kembali ke dalam teras reaktor. Efektivitas dari rekuperator ditunjukkan oleh efektivitas dalam melakukan pemindahan panas dari bagian panas ke bagian

dingin dari rekuperator. Efektivitas rekuperator adalah rasio perbandingan jumlah kalor yang dipindahkan (Q) terhadap jumlah kalor yang mungkin untuk dapat dipindahkan (Q_{max}). Efektivitas rekuperator sangat tergantung pada konfigurasi dari sistem reaktor, karena hal ini akan mempengaruhi temperatur *inlet* dan *outlet* rekuperator, baik untuk sisi panas maupun sisi dingin. Makin banyak bagian sistem reaktor yang memanfaatkan panas dari reaktor, semakin tinggi tingkat efektivitas rekuperator yang digunakan.

Pemodelan perhitungan efektivitas rekuperator yang dilakukan disini adalah dengan membandingkan model perhitungan melalui parameter kinerja rekuperator dalam tiga konfigurasi. Pertama adalah model konfigurasi dengan siklus pembangkitan listrik dengan SHX, dimana SHX disini dalam bentuk *intercooler* dengan sisa panas yang ada dimanfaatkan untuk proses desalinasi, sebelum pendingin gas helium ini dikembalikan ke dalam teras reaktor. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai efektivitas rekuperator 89,43 %. Kedua adalah model konfigurasi dengan siklus pembangkitan listrik tanpa SHX, dimana fluida pendingin yang keluar dari rekuperator ($T_{h,out}$), langsung menuju kompresor. Dari hasil perhitungan ini diperoleh nilai efektivitas rekuperator 85,25 %. Ketiga adalah model konfigurasi dengan siklus pembangkitan listrik langsung dari reaktor tanpa sistem kogenerasi. Fluida pendingin yang keluar dari reaktor langsung menuju turbin. Dari hasil perhitungan ini diperoleh nilai efektivitas rekuperator 80,24 %.

Dari ketiga jenis pemodelan perhitungan efektivitas rekuperator, diperoleh konfigurasi siklus pembangkitan listrik dengan SHX yang menghasilkan kinerja rekuperator paling efektif, dengan efektivitas pertukaran panas 89,43 %. Ketika bagian pengambil panas reaktor (komponen kogenerasi) dikurangi, dalam hal ini bagian SHX untuk desalinasi hal ini akan mengurangi nilai efektivitas rekuperator hingga menjadi 85,25 %. Selain itu pengurangan komponen pengambil panas reaktor mengakibatkan panas yang tidak terserap akan diteruskan ke dalam teras reaktor. Hal ini akan mempengaruhi *Balance of Plant* (BOP) dari reaktor, sehingga untuk menghindari terus meningkatnya temperatur teras reaktor, maka reaktor harus menurunkan dayanya.

Demikian juga jika komponen kogenerasi instalasi produksi hidrogen dihilangkan, hal ini akan menurunkan nilai efektivitas rekuperator hingga menjadi 89,43 %. Untuk menghindari terjadinya peningkatan temperatur teras reaktor yang berlebihan akibat menurunnya penyerapan panas oleh sistem di luar teras reaktor, selain dengan cara menurunkan daya reaktor bisa juga dengan cara meningkatkan kapasitas produksi listrik dari

generatornya, namun hal ini tidak bisa menjamin stabilitas BOP tanpa adanya sistem pendingin dalam bentuk *intercooler*. Jadi untuk menjaga stabilitas BOP dari reaktor, tetap memerlukan adanya komponen SHX agar kestabilan operasional reaktor tetap terjaga.

Pemanfaatan panas reaktor secara maksimal (mendekati 100 %) akan memberikan nilai efektivitas rekuperator maksimal, dan sebaliknya jika pemanfaatan panas reaktor tidak maksimal akan memberikan nilai efektivitas rekuperator yang tidak maksimal pula. Model konfigurasi pembangkitan listrik dengan SHX dalam bentuk *intercooler* dan sisa panas yang ada dimanfaatkan untuk proses desalinasi, memberikan nilai efektivitas rekuperator 89,43 %. Perubahan konfigurasi sistem reaktor kogenerasi akan mengubah atau menurunkan nilai efektivitas rekuperator, yang mana selanjutnya akan merubah stabilitas BOP dari reaktor tersebut. Hal ini perlu ditindak lanjuti dengan pengaturan daya reaktor, atau mengubah kapasitas produksi atau pembangkitan dari komponen kogenerasi.

KESIMPULAN

Untuk mempertahankan tingkat efisiensi thermal suatu reaktor kogenerasi, perlu dijaga stabilitas BOP nya agar unjuk kerja operasi reaktor tetap terpelihara. Untuk itu perlu dijaga atau dipelihara efektivitas rekuperator agar proses perpindahan panas dalam sistem reaktor tetap efektif dan efisien, sehingga efisiensi thermal reaktor secara keseluruhan tetap tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ABRAMS, B., “*A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum*”, (http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen_iv_roadmap.pdf), 2002.
2. PURWADI, MD., “*Litbang Reaktor Nuklir Kogenerasi*”, Materi Presentasi di Bidang Pengembangan Reaktor, PPTKR-BATAN, 18 Juli 2007.
3. YONGKANG, S., “*Heat Transfer*”, School of Mechanical Engineering.
4. CORUM, JM., MCGREEVY, TE., “*R&D Plan for Development of High Temperature Structural Design Technology for Generation IV Reactor Systems*,” ORNL/TM-2004/249, September 2004.
5. MCGREEVY, TE., MARRIOTT, DL., CARTER, P., “*High Temperature Design Methods Development Advances for 617: Status and Plans*” ORNL/TM-2005/515, July 2005.