

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS IHX DALAM SISTEM KOGENERASI RGTT

Ign. Djoko Irianto

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email: igndjoko@batan.go.id

ABSTRAK

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS IHX DALAM SISTEM KOGENERASI RGTT. *Very High Temperature Reactor (VHTR)* adalah reaktor Generasi IV jenis reaktor gas temperatur tinggi (RGTT) yang dirancang secara konseptual menerapkan konfigurasi kogenerasi untuk pembangkit listrik dan produksi hidrogen. VHTR berpendingin helium dengan temperatur *outlet* kurang lebih 950°C dan bertekanan 5,0 MPa. Komponen konversi energi yang utama dalam sistem kogenerasi reaktor VHTR adalah *Intermediate Heat Exchanger (IHX)*. Melalui IHX, energi termal dipindahkan dari sistem reaktor ke sistem kogenerasi untuk pembangkitan listrik dan proses produksi hidrogen atau untuk aplikasi lain. Keberhasilan rancangan reaktor VHTR ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah unjuk-kerja rancangan IHX. Untuk mendukung rancangan IHX secara konseptual, berbagai faktor yang mempengaruhi unjuk-kerja IHX terutama IHX untuk temperatur tinggi harus diteliti, dihitung dan dianalisis. Faktor penting dari beberapa faktor yang mempengaruhi unjuk-kerja IHX adalah efektifitas IHX. Dalam penelitian ini telah dilakukan perhitungan efektifitas rancangan konseptual IHX yang mengacu pada rancangan IHX GTHTR300C dan perpindahan panas IHX total untuk sistem kogenerasi pada beberapa temperatur inlet. Efektifitas IHX dan perpindahan panas total dihitung dan dianalisis menggunakan metode ϵ -NTU (*Number of Transfer Unit*). Dengan asumsi menggunakan fluida pendingin yang sama pada sisi panas dan sisi dingin IHX yaitu helium dengan varian temperatur inlet dan outlet, dapat diperoleh efektifitas optimal sebesar 0,95. Hal ini dapat disimpulkan bahwa secara konseptual rancangan IHX ini cukup efektif untuk digunakan dalam RGTT kogenerasi yang berbasis pada VHTR.

Kata kunci: Reaktor gas temperatur tinggi (RGTT), kogenerasi, IHX, efektivitas, metode number of transfer units (method NTU)

ABSTRACT

ANALYSIS FOR INTERMEDIATE HEAT EXCHANGER (IHX) EFFECTIVENESS CALCULATION IN THE COGENERATION SYSTEM OF HIGH TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR (HTGR).

Very High Temperature Reactor (VHTR) is a high temperature gas-cooled reactor (HTGR) which belongs to the Generation IV reactors which is conceptually designed using cogeneration configuration for electric generation and for hydrogen production. VHTR employs a helium-coolant with operating pressure 5,0 MPa and 950°C outlet temperature. 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 or another application. The success of VHTR design is affected by many factors, one of which is the performance of IHX. To support the conceptual design, many factors which affect the IHX performance particularly high temperature IHX have to be examined, calculated and analyzed. Many factors which affect the IHX performance is namely effectiveness, total heat transfer, etc. In this research, the effectiveness of the conceptually designed of IHX which refer to IHX in GTHTR300C and the total heat transfer of IHX for the cogeneration systems have been calculated using variant of inlet temperature. Total IHX heat transfer and the effectiveness are calculated using ϵ -NTU (*Number of Transfer Unit*) method. With assumption of a helium-coolant used in the both side of IHX, the optimal effectiveness IHX is 0.95. Conceptually, it can be concluded that this IHX is effective to be used in the HTGR cogeneration based on VHTR.

Keywords: High temperature gas-cooled reactor (HTGR), cogeneration, IHX, effectiveness, efektivitas, metode number of transfer units (NTU method)

PENDAHULUAN

Konsumsi energi sektor transportasi yang sangat bergantung pada minyak bumi serta masih tingginya permintaan listrik industri dan rumah

tangga yang dipasok dari minyak bumi menyebabkan kelangkaan minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya dalam beberapa dekade mendatang. Kondisi ini mendorong berkembang-pesatnya penelitian dan pengembangan sumber-

sumber energi baru dan terbarukan, terutama paket teknologi energi yang efisien serta ramah lingkungan. Untuk mengurangi ketergantungan dan sekaligus memperpanjang umur cadangan energi bahan bakar fosil yang ada, pemerintah menggalakkan penelitian dan pengembangan yang bertujuan menggali berbagai sumber daya energi terbarukan serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber energi yang ada, termasuk opsi pemanfaatan energi nuklir.

Untuk menunjang opsi pemanfaatan energi nuklir, penelitian dan pengembangan di bidang energi diarahkan pada bidang teknologi reaktor dengan penerapan konsep sistem kogenerasi untuk pembangkit listrik dan produksi hidrogen atau aplikasi industri lainnya. Penelitian dan pengembangan teknologi reaktor juga memperhatikan faktor keselamatan, keamanan, keandalan dan keekonomian, serta kebutuhan masyarakat setempat.

Kecenderungan kegiatan penelitian dan pengembangan teknologi reaktor di dunia saat ini adalah pengembangan sistem energi berbasis reaktor Generasi IV yang dimotori oleh GIF (*Generation IV International Forum*). GIF telah melakukan kajian terhadap hampir 100 tipe reaktor dengan kriteria pokok: kesinambungan (*sustainability*), keekonomian (*economics*), keselamatan dan keandalan (*safety and reliability*) serta resistansi proliferasi dan proteksi fisik (*proliferation resistance and physical protection*)^[1,2]. Dari hasil kajian tersebut diperoleh enam kandidat konsep reaktor Generasi IV, yaitu GFR (*Gas-cooled Fast Reactor*), LFR (*Lead-cooled Fast Reactor*), MSR (*Molten Salt Reactor*), SFR (*Sodium-cooled Fast Reactor*), SCWR (*Super Critical Water-cooled Reactor*) dan VHTR (*Very High Temperature Reactor*)^[1,2]. Keenam konsep rancangan sistem reaktor Generasi IV tersebut senantiasa menjadi perhatian dan dikembangkan di berbagai negara.

Ada empat konsep rancangan sistem reaktor Generasi IV yang secara konseptual menerapkan sistem kogenerasi untuk keperluan pembangkit listrik dan untuk keperluan instalasi produksi gas hidrogen atau aplikasi industri lainnya^[1,2,3]. Keempat rancangan sistem reaktor Generasi IV tersebut adalah: GFR, LFR, MSR, dan VHTR. Dengan mempertimbangkan temperatur *outlet* dari sistem reaktor, dan efisiensi termal untuk proses produksi gas hidrogen, maka yang paling cocok dengan konsep kogenerasi untuk pembangkit listrik dan produksi gas hidrogen adalah konsep sistem reaktor VHTR.

VHTR adalah jenis reaktor berpendingin gas bertemperatur tinggi (RGTT). VHTR dirancang berpendingin helium dengan temperatur *outlet* reaktor kurang lebih 950°C dan bertekanan 5,0 MPa^[1,2,3]. Keberhasilan konsep kogenerasi sistem

reaktor VHTR sangat dipengaruhi oleh unjuk kerja rancangan “penukar panas tengah” (*Intermediate Heat Exchanger = IHX*). IHX memegang peran sangat penting dalam sistem reaktor kogenerasi karena melalui IHX panas dari sistem reaktor dipindahkan ke sistem sekunder untuk produksi gas hidrogen atau untuk aplikasi industri lainnya. Mengacu pada konsep sistem reaktor *Gas Turbine High Temperature Reactor 300-Cogeneration (GTHTR300C)*^[4,5], IHX dipasang secara seri dengan turbin gas dalam siklus langsung. IHX berperan memindahkan sejumlah energi termal dari sistem primer ke sistem sekunder untuk proses produksi gas hidrogen. Dalam berbagai konsep rancangan, ada dua konsep konfigurasi sistem kogenerasi berkaitan dengan posisi turbin dan IHX, yaitu: siklus langsung dan siklus tak langsung. Dalam siklus langsung, IHX dipasang secara seri dengan turbin seperti pada reaktor GTHTR300C. Sedangkan dalam siklus tak langsung, melalui IHX energi termal dipindahkan dari sistem reaktor ke sistem kogenerasi untuk pembangkit listrik dan untuk proses produksi gas hidrogen ataupun untuk aplikasi lainnya.

Dalam rangka menunjang program BATAN untuk menyusun rancangan konseptual reaktor tipe RGTT kogenerasi, berbagai analisis dan perhitungan sistem reaktor diarahkan untuk memperoleh besaran parameter rancangan. Salah satu parameter penting dalam rancangan konseptual sistem kogenerasi RGTT adalah parameter unjuk kerja IHX. Beberapa parameter unjuk kerja rancangan IHX yang dominan antara lain: efektivitas IHX dan efisiensi IHX. Dalam penelitian ini dihitung nilai efektivitas IHX dalam rancangan konseptual RGTT kogenerasi. Nilai efektivitas IHX dihitung menggunakan metode pendekatan efektivitas-NTU (ϵ -*Number of Transfer Unit*).

Dua metode pendekatan yang banyak digunakan dalam analisis maupun perancangan penukar panas (*heat exchanger*) adalah metode pendekatan LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) dan metode pendekatan efektivitas-NTU. Metode pendekatan LMTD diperlukan untuk menghitung laju perpindahan panas IHX jika temperatur *inlet* dan *outlet* kedua sisi IHX diketahui atau dapat dihitung dengan cara iterasi. Metode pendekatan efektivitas-NTU (ϵ -NTU) digunakan untuk menghitung efektivitas IHX jika temperatur *inlet* dan laju alir pada IHX dapat dihitung. Sedangkan efisiensi IHX dapat dihitung secara sendiri maupun dalam konfigurasi sistem kogenerasi secara keseluruhan.

Dalam makalah ini diuraikan hasil perhitungan efektivitas IHX dalam satu sistem kogenerasi RGTT menggunakan metode ϵ -NTU. Sistem kogenerasi RGTT dipertimbangkan untuk pembangkit listrik dan untuk proses produksi gas

hidrogen. Perhitungan efektivitas IHX dilakukan pada IHX yang dipasang baik dalam konfigurasi langsung maupun konfigurasi tak langsung. Sedangkan proses produksi gas hidrogen yang dipertimbangkan dalam perhitungan ini adalah proses daur sulfur-iodin.

METODE PERHITUNGAN EFEKTIVITAS IHX

Parameter efektivitas IHX menggambarkan besarnya laju perpindahan panas aktual dibagi dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada IHX. Laju perpindahan panas aktual pada IHX adalah besarnya panas yang dipindahkan dari sisi panas ke sisi dingin IHX. Dengan mempertimbangkan konsep konservasi massa dan konservasi energi, besarnya laju perpindahan panas aktual pada IHX dapat dihitung dengan rumusan sbb.^[6,7,8]:

$$q = U A \frac{\Delta T_{out} - \Delta T_{in}}{\ln \frac{\Delta T_{out}}{\Delta T_{in}}} \dots\dots\dots (1)$$

$$= U A \Delta T_{LMTD}$$

dengan

- q = laju perpindahan panas aktual pada IHX
- U = koefisien perpindahan panas keseluruhan (*overall heat transfer coefficient*)
- A = luas permukaan perpindahan panas
- ΔT_{LMTD} = LMTD

Nilai LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) adalah nilai yang berkaitan dengan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin IHX. Dengan asumsi bahwa aliran pendingin mengalir dalam kondisi tunak (*steady state*), tidak ada kehilangan panas secara keseluruhan, tidak ada perubahan fase pendingin, maka nilai LMTD dapat dihitung menggunakan persamaan sbb.^[6,7,8]:

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln \left(\frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}} \right)} \dots (2)$$

dengan

- $T_{h,in}$ = temperatur *inlet* pada sisi panas
- $T_{h,out}$ = temperatur *outlet* pada sisi panas
- $T_{c,in}$ = temperatur *inlet* pada sisi dingin
- $T_{c,out}$ = temperatur *outlet* pada sisi dingin

Secara umum nilai efektivitas (ϵ) IHX dapat didefinisikan sebagai perbandingan laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada IHX. Sehingga nilai efektivitas IHX dapat dihitung menggunakan persamaan^[6,7,8] berikut:

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}} \dots\dots\dots (3)$$

dengan

- q = laju perpindahan panas aktual
- q_{max} = laju perpindahan panas maksimum yang mungkin

Untuk menghitung efektivitas penukar panas tengah (IHX), perlu dihitung terlebih dahulu besaran laju perpindahan panas aktual (q) dan besaran laju perpindahan panas maksimum yang mungkin secara hipotetis (q_{max}) pada IHX. Nilai besaran q_{max} menunjukkan besarnya panas maksimum yang dapat ditransfer atau dipindahkan di antara kedua fluida pendingin. Nilai q_{max} pada IHX dapat dicapai apabila panjang IHX tak hingga. Pada IHX yang panjangnya tak hingga, akan dicapai beda temperatur fluida pendingin maksimum sebesar $T_{h,i} - T_{c,i}$ (Perbedaan antara temperatur inlet pada sisi panas dan temperatur inlet pada sisi dingin). Selain itu, nilai q_{max} juga dipengaruhi oleh nilai laju alir massa pendingin dikalikan dengan panas spesifik yang minimum. Nilai perkalian laju alir massa pendingin dengan panas spesifik sering disebut sebagai laju kapasitasansi panas (C_h dan C_c)^[6,7,8]. Nilai C_h dan C_c masing-masing menunjukkan nilai laju kapasitasansi panas untuk fluida panas dan fluida dingin. Nilai terkecil diantara nilai C_h dan nilai C_c disebut laju kapasitasansi panas minimum (C_{min}). Alasan pemilihan laju kapasitasansi panas minimum adalah untuk mencakup perpindahan panas maksimum yang mungkin di antara kedua fluida kerja. Dengan demikian nilai laju perpindahan panas maksimum (q_{max}) dapat dihitung dengan persamaan sbb.^[6,7,8]:

$$q_{max} = C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \dots\dots\dots (4)$$

Sementara itu nilai laju perpindahan panas aktual pada IHX dapat dihitung dengan persamaan sbb.^[6,7,8]:

$$q = C_h (T_{h,in} - T_{h,out})$$

$$= C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \dots\dots\dots (5)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (4) dan (5) ke dalam persamaan (3), maka dapat diperoleh persamaan untuk menghitung nilai efektivitas IHX sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{C_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})}$$

$$= \frac{C_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})} \dots\dots\dots (6)$$

dimana

$$C_h = (\dot{m} c_p)_h \text{ dan}$$

$$C_c = (\dot{m} c_p)_c \dots\dots\dots (7)$$

Secara keseluruhan, nilai efektivitas IHX sangat dipengaruhi oleh laju alir fluida pendingin, temperatur *inlet* dan temperatur *outlet* pada sisi panas dan sisi dingin sistem IHX. Efektivitas IHX adalah besaran tak berdimensi yang nilainya antara 0 dan 1. Jika diketahui nilai efektivitas untuk penukar panas tertentu dengan kondisi aliran *inlet*, maka dapat dihitung jumlah panas yang dapat ditransfer atau dipindahkan di antara kedua fluida pendingin pada IHX.

Nilai efektivitas IHX juga dapat dihitung menggunakan nilai perbandingan laju kapasitasansi panas (C_r) dan nilai NTU. Nilai NTU bergantung pada parameter rancangan IHX yang meliputi perkalian antara koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dan luas permukaan perpindahan panas (A) dibagi dengan parameter kondisi operasi (C_{min}). Nilai U dan A sangat dipengaruhi oleh geometri sistem IHX. Parameter C_r dan NTU dapat dinyatakan sebagai berikut^[6,7,8]:

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (C_r < 1) \dots\dots\dots (8)$$

dan

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \dots\dots\dots (9)$$

dimana

U : koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan
A : luas perpindahan panas.

Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dapat dihitung menggunakan persamaan sbb.^[6,7,8]:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{hot}} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_{cold}} \dots\dots\dots (10)$$

dengan

h = koefisien perpindahan panas konveksi masing-masing fluida pendingin pada sisi panas dan sisi dingin.

Δx = ketebalan dinding pipa

k = konduktivitas termal pada material

Kombinasi persamaan (6), (7), dan (8) maka dapat diperoleh persamaan untuk memperoleh nilai efektivitas IHX yang sering disebut sebagai metode ϵ -NTU. Untuk IHX dengan aliran paralel,

maka efektivitas IHX dapat dihitung dengan persamaan sbb.^[6,7,8]:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+C_r)]}{1 + C_r} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk IHX dengan aliran berlawanan (*counterflow*), maka efektivitas IHX dapat dihitung dengan persamaan sbb.^[6,7,8]:

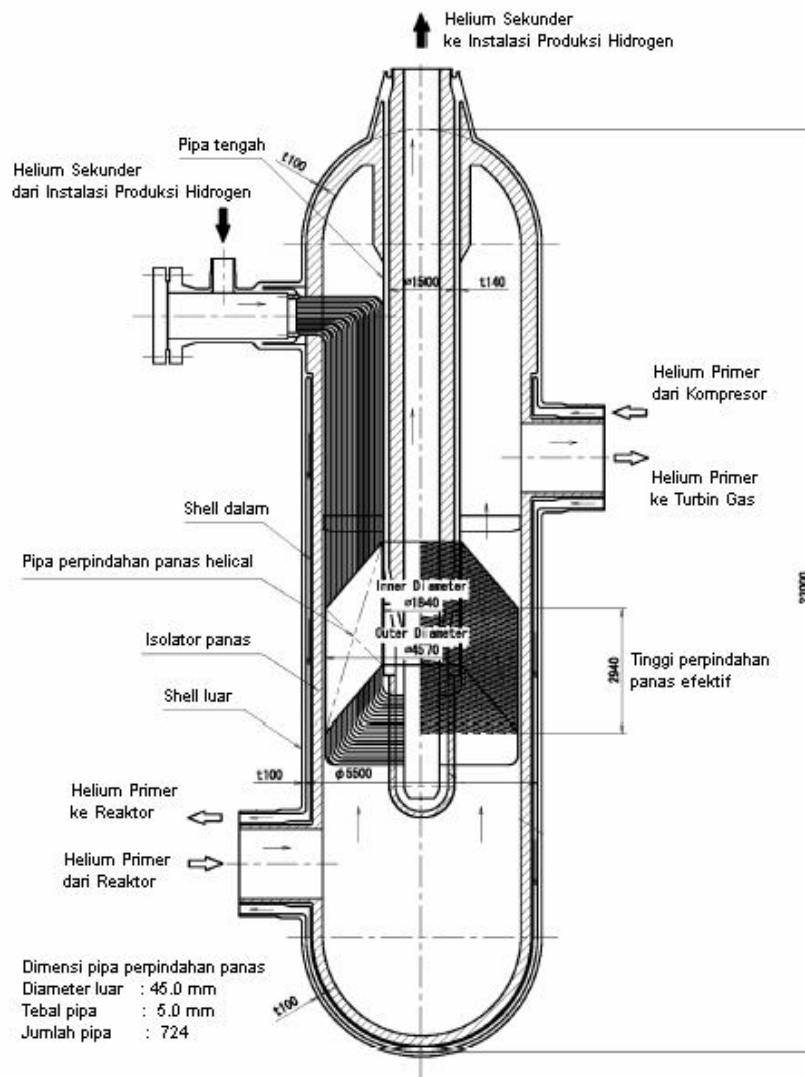
$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1-C_r)]} \dots\dots\dots (12)$$

Metode ϵ -NTU juga sering digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas dalam penukar panas bila tidak cukup informasi untuk menghitung LMTD. Dalam analisis sistem penukar panas, temperatur *inlet* dan *outlet* dapat ditentukan menggunakan metode LMTD, tetapi bila informasi ini tidak cukup metode NTU dapat digunakan.

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS IHX DAN PEMBAHASAN

Dalam rancangan konseptual reaktor tipe RGTT kogenerasi ini adalah reaktor yang berdaya termal 200 MWt. Rancangan konseptual sistem reaktor tipe RGTT kogenerasi ini, selain untuk pembangkit listrik juga diarahkan untuk digunakan sebagai sumber energi dalam instalasi produksi gas hidrogen. Untuk keperluan produksi gas hidrogen ditetapkan daya termal sebesar 60 MWt. Sistem reaktor dalam rancangan konseptual ini mengacu pada sistem reaktor VHTR sedangkan IHX yang digunakan mengacu pada rancangan konseptual IHX sistem reaktor GTHTR300C^[6] seperti pada Gambar 1.

Rancangan konseptual IHX ini adalah IHX tipe *helical tube and shell*. Material pendingin yang digunakan adalah gas helium baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder. Sedangkan material yang digunakan untuk komponen perpindahan panas (material sistem pemipaan) adalah hastelloy XR. Luas perpindahan panasnya yang meliputi seluruh pipa dalam *shell* adalah 1448 m². Jumlah keseluruhan pipa dalam *shell* adalah 724 dengan diameter luar pipa 45 mm dan ketebalan pipa 5 mm. Laju alir fluida pendingin (gas helium) pada sisi *shell* adalah 324,2 kg/s dan laju alir fluida pendingin (gas helium) pada sisi *tube* adalah 80,3 kg/s.



Gambar 1. IHX konseptual yang dihitung mengacu pada IHX GTHTR300C^[4]

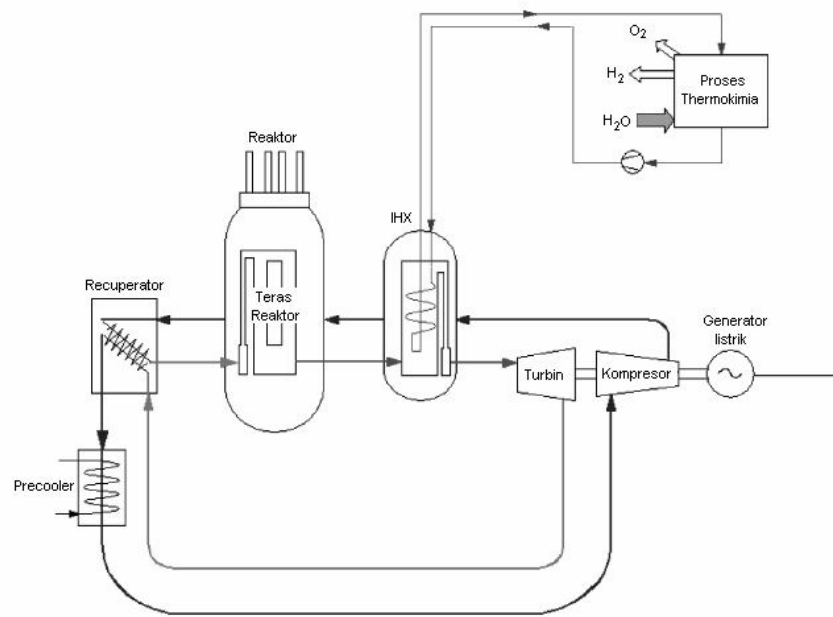
Konfigurasi sistem konversi energi disusun seperti pada Gambar 2. Gas helium sebagai fluida pendingin keluar dari sistem reaktor dengan temperatur 950°C mengalir masuk ke bagian *shell* pada IHX dan keluar dari IHX dengan temperatur 850°C. Gas helium dengan temperatur 850°C digunakan untuk menggerakkan turbin gas dan diteruskan ke recuperator, precoolers dan kompresor.

Mengacu pada konsep reaktor tipe VHTR^[3] temperatur outlet reaktor adalah 950°C. Daya termal rancangan konseptual RGTT kogenerasi adalah 200 MWt, daya rancangan IHX adalah 60 MWt, sehingga daya yang diperlukan untuk menggerakkan turbin gas adalah 140 MW. Dari total daya termal reaktor, sekitar 60 MWt digunakan untuk keperluan produksi gas hidrogen yang dipasang pada sisi sekunder dari IHX. Panas reaktor ditransfer melalui IHX ke loop sekunder

untuk diteruskan ke instalasi produksi gas hidrogen yang menggunakan metode proses termokimia.

Tabel 1. Parameter rancangan sistem reaktor VHTR^[1,2,3]

Parameter Reaktor	Nilai
Daya reaktor	600 MWt
Temperatur <i>outlet</i> reaktor	~ 1000 °C
Temperatur <i>inlet</i> reaktor	640 °C
Laju alir massa helium	320 kg/s



Gambar 2. Skema desain konseptual sistem kogenerasi untuk pembangkit listrik dan produksi hidrogen.

Kapasitas panas spesifik untuk helium pada tekanan tetap (c_p) adalah $5.1932 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ ^[12]. Dengan menggunakan persamaan (7), maka nilai laju kapasitas panas C_h dan C_c masing-masing dapat dihitung sebesar $1,6836 \text{ J/(K s)}$ dan $0,417 \text{ J/(K s)}$. Karena nilai C_{min} dan C_{max} masing-masing dipilih dari nilai C_h dan C_c yang terendah dan yang tertinggi maka nilai C_{min} , C_{max} , dan C_r masing-masing dapat diperoleh sebesar $0,417 \text{ J/(K s)}$, $1,6836 \text{ J/(K s)}$, dan $0,2477$.

Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dipengaruhi oleh material pendingin (koefisien perpindahan panas konveksi helium), material pipa (konduktivitas panas pipa) dan geometri pipa. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi helium (h) dan nilai konduktivitas panas pipa hastelloy (k) masing-masing sebesar^[12] $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ dan $8,655 \text{ W/mK}$. Dengan menggunakan persamaan (10) diperoleh nilai U sebesar $1,0494 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sedangkan luas perpindahan panas (A) sangat dipengaruhi oleh geometri IHX. Mengacu pada rancangan GTHT300C^[4,5], nilai A adalah 1448 m^2 . Dari kedua parameter tersebut, dengan menggunakan persamaan (9), nilai NTU pada IHX dapat dihitung sebesar $3,6437$. Berdasarkan nilai NTU ini dan rancangan konseptual IHX yang alirannya dirancang berlawanan antara fluida panas dan fluida dingin, nilai efektivitas IHX dapat dihitung dengan menggunakan metode ϵ - NTU seperti pada persamaan (12). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai efektivitas IHX pada rancangan konseptual RGTT

kogenerasi yang diperoleh adalah $0,9507$ tertuang pada Tabel 3.

Tabel 2. Parameter IHX pada GTHT300C^[4,5]

Parameter acuan IHX	Nilai
Daya	170 MWt
LMTD	154 °C
Luasan perpindahan panas	1448 m ²
Aliran sisi shell	
Laju alir	324,2 kg/s
Temperatur inlet	950 °C
Temperatur outlet	850 °C
Tekanan inlet	5,0 Mpa
Aliran sisi tube	
Laju alir	80,3 kg/s
Temperatur inlet	500 °C
Temperatur outlet	900 °C
Tekanan inlet	5,1 Mpa
Tube (pipa)	
Diameter luar pipa	45 mm
Tebal pipa	5 mm
Jumlah pipa dalam shell	724
Panjang pipa efektif	14 mm

Tabel 3. Perhitungan efektivitas IHX

Parameter	Nilai
C_h	1,6836 J/(K s)
C_c	0,417 J/(K s)
C_{max}	1,6836 J/(K s)
C_{min}	0,417 J/(K s)
C_r	0,2477
U	1,0494 W/m ² K
NTU	3,6437
LMTD	154 °C
Efektivitas IHX	0,9507

Dengan cara hitung balik menggunakan persamaan (6), (5) dan (2), nilai LMTD dan laju perpindahan panas aktual maupun tingginya temperatur *inlet* maupun *outlet* pada sisi panas maupun sisi dingin dapat dihitung. Secara konseptual dengan menggunakan VHTR sebagai sumber termal yang karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 1, dan rancangan konseptual IHX yang karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 2 maka akan diperoleh nilai efektivitas IHX sebesar 0,9507.

IHX memegang peran sangat penting dalam sistem kogenerasi RGTT dengan konfigurasi seperti yang tertuang dalam Gambar 2. Sejumlah energi panas dari sistem reaktor dipindahkan ke sistem sekunder untuk proses produksi gas hidrogen. Dengan efektivitas IHX yang tinggi dapat diartikan bahwa sedikit panas terbuang.

KESIMPULAN

Rancangan konseptual IHX dalam sistem kogenerasi RGTT 200 MWt dibuat dengan mengacu pada IHX GTHTR300C yang dikopel pada sistem reaktor VHTR. Hasil perhitungan efektivitas IHX diperoleh sebesar 0,9507. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan konstruksi IHX yang mengacu pada IHX GTHTR300C, dengan penyesuaian daya termal reaktor sebesar 200 MWt dan daya perpindahan panas IHX sebesar 60 MWt, nilai efektivitasnya masih cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. "A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems", Issued by the U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, December 2002.
2. DAVID J. DIAMOND, "Generation IV Nuclear Energy Systems", Presented at the University of Tennessee, April 30, 2003.

3. JEAN-CLAUDE GAUTHIER, "Antares: The HTR/VHTR Project at Framatome ANP", 2nd International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Beijing, China, September 22-24, 2004
4. KAZUHIKO KUNITOMI, et al., "JAEA'S VHTR For Hydrogen And Electricity Cogeneration : GTHTR300C", Nuclear Engineering and Technology, Vol.39 No.1., February 2007.
5. KAZUHIKO KUNITOMI, et al., "GTHTR300C For Hydrogen Cogeneration", 2nd International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Beijing, China, September 22-24, 2004.
6. DANIEL R. LEWIN, "Lecture Seven: Heat Exchanger Design", Department of Chemical Engineering Technion, Haifa, Israel, 2004.
7. E. A. HARVEGO, Evaluation Of Next Generation Nuclear Power Plant (NGNP) Intermediate Heat Exchanger (IHX) Operating Conditions, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, April 2006.
8. AKIRA SHIMIZU, et al., "Recent Research and Development of Intermediate Heat Exchanger for VHTR Plant", Nagasaki Shipyard & Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries, LTD.
9. DANE WILSON, "Advanced Materials for DOE's Gen IV Reactor Program: Heat Exchangers", High Temperature Heat Exchanger Meeting, The University of Nevada, Las Vegas, October 24, 2003.
10. B. THONON and E. BREUIL, "Compact heat exchangers technologies for the HTRs recuperator application", white paper, FRAMATOME, Lyon, France.
11. J. K. WRIGHT, "Next Generation Nuclear Plant Intermediate Heat Exchanger Materials Research and Development Plan", Idaho National Laboratory, Idaho Falls, April 2008.
12. http://www.engineeringtoolbox.com/helium-d_1418.html

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Faktor apa saja yang mempengaruhi unjuk kerja IHX ?
(Gatot Wurdianto, PTKMR-BATAN)
2. Apa bedanya metode pendekatan LMTD dan metode pendekatan ϵ -NTU ?
(Suparman, PPEN-BATAN)

Jawaban :

1. Faktor yang mempengaruhi unjuk kerja IHX adalah efektivitas dan efisiensi. Efektivitas IHX dipengaruhi oleh laju alir pendingin, temperature inlet dan outlet IHX, luas perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Sedangkan efisiensi IHX dipengaruhi oleh beban kerja turbin, kompresor dan sirkulator serta daya termal reactor dan daya yang dipakai pada system kogenerasi
2. Metode pendekatan LMTD diperlukan untuk menghitung laju perpindahan panas IHX jika temperature inlet dan outlet kedua sisi IHX diketahui atau dapat dihitung dengan cara iterasi. Metode pendekatan efektivitas ε -NTU digunakan untuk menghitung efektivitas IHX jika temperatur inlet dan laju alir pada IHX dapat dihitung.