

STUDI EFEK INJEKSI GAS TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS SUATU CAIRAN

Maman Mulyaman
Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

Abstrak

STUDI EFEK INJEKSI GAS TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS SUATU CAIRAN. Penukaran panas pada FBR tipe loop terdiri dari sistem sodium primer, sistem sodium sekunder, dan sistem uap tersier. Adanya sistem sodium sekunder menyebabkan biaya untuk membangun FBR jauh lebih mahal dari pada reaktor air ringan (LWR). Untuk mengatasi masalah ini, dibuat sebuah konsep maju untuk FBR tipe loop di mana sistem sodium sekunder dihilangkan. Dalam konsep maju ini, sistem sodium primer dan sistem uap air tersier disusun dalam sebuah tangki yang berisi medium perantara yang diinjeksi gelembung gas. Langkah awal untuk menguji kelayakan konsep tersebut telah dilakukan dengan mengadakan percobaan perpindahan panas pada air yang diinjeksi oleh gas Nitrogen (N_2) sebagai medium perantara perpindahan panas. Batang pemanas listrik dengan diameter 12 mm dan panjang aktif 220 mm sebagai sistem sodium primer. Sistem pendingin yang berupa pipa helikal koil berdiameter 12 mm dengan ketebalan 1 mm mengelilingi batang pemanas listrik sebagai sistem tersier. Hasil percobaan menyatakan bahwa : injeksi gelembung gas ke air dapat menaikkan koefisien perpindahan panas, sehingga konsep ini layak diterapkan untuk medium perantara perpindahan panas.

Abstract

STUDIES OF GAS INJECTION EFFECTS ON HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF LIQUID. Heat exchanger of loop type FBR consists of primary sodium system, secondary sodium system, and tertiary steam system. The existence of secondary sodium system, causes that the capital cost of FBR is very high than that of light water reactor (LWR). To overcome this problem, an advanced concept for loop type FBRs was proposed where the loop of the secondary sodium system is dispensed with. In this advanced concepts, primary sodium system and tertiary steam system arrayed in the tank with intermediate medium which gas bubble injectin in it. The first step experiment, concerning those concepts have been done by Nitrogen (N_2) gas injection to the water as intermediate heat transfer medium. Electrical heater rod with 12 mm diameter and 220 mm active long as primary sodium system. Coolant system of helical coil with 12 mm in diameter and 1 mm in thickness coiled around heater rod as tertiary water system. The experiment results that : The bubble gas injection in the water could increase heat transfer coefficients, so this concept is acceptable to be used at liquid metals as intermediate medium heat transfers.

PENDAHULUAN

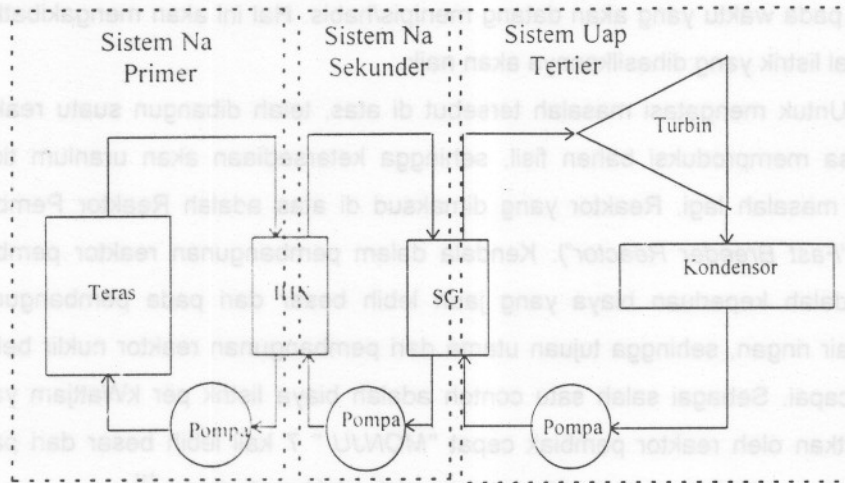
Tujuan utama pembangunan suatu PLTN adalah menghasilkan listrik dengan harga jual yang murah tanpa melupakan faktor keselamatan. Sebagai mana diketahui bahwa uranium sebagai bahan bakar reaktor, persediannya terbatas,

maka tidak menutup kemungkinan bahwa cadangan uranium yang tersedia secara alamiah pada waktu yang akan datang menipis/habis. Hal ini akan mengakibatkan harga jual listrik yang dihasilkannya akan naik.

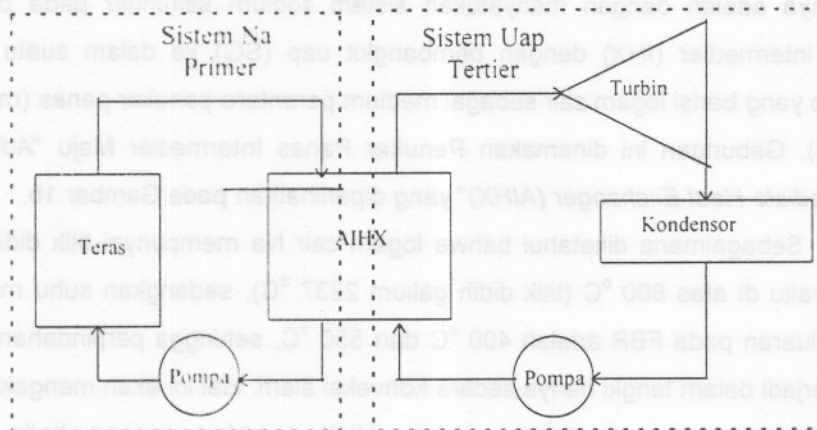
Untuk mengatasi masalah tersebut di atas, telah dibangun suatu reaktor yang bisa memproduksi bahan fisil, sehingga ketersediaan akan uranium tidak menjadi masalah lagi. Reaktor yang dimaksud di atas adalah Reaktor Pembiak Cepat ("*Fast Breeder Reactor*"). Kendala dalam pembangunan reaktor pembiak cepat adalah keperluan biaya yang jauh lebih besar dari pada pembangunan reaktor air ringan, sehingga tujuan utama dari pembangunan reaktor nuklir belum bisa tercapai. Sebagai salah satu contoh adalah biaya listrik per kWattjam yang dibangkitkan oleh reaktor pembiak cepat "*MONJU*" 7 kali lebih besar dari pada biaya listrik per kWattjam yang dibangkitkan oleh reaktor air ringan ^[1].

Untuk menekan besarnya biaya tersebut di atas tanpa melupakan faktor keselamatan dalam pembangunan reaktor pembiak cepat tipe loop, salah satu di antaranya adalah dengan menyatukan sistem sodium sekunder pada penukar panas intermedier (*IHX*) dengan pembangkit uap (*SG*) ke dalam suatu tangki tertutup yang berisi logam cair sebagai medium perantara penukar panas (misalnya Galium). Gabungan ini dinamakan Penukar Panas Intermedier Maju "*Advanced Intermediate Heat Exchanger (AIHX)*" yang diperlihatkan pada Gambar 1b.

Sebagaimana diketahui bahwa logam cair Na mempunyai titik didih yang tinggi yaitu di atas 800 °C (titik didih galium 2237 °C), sedangkan suhu masukan dan keluaran pada FBR adalah 400 °C dan 550 °C, sehingga perpindahan panas yang terjadi dalam tangki hanya secara konveksi alam. Hal ini akan mengakibatkan perpindahan panas di dalam sistem AIHX tersebut kurang baik. Untuk mengusahakan agar perpindahan panas yang terjadi adalah secara konveksi paksa, dilakukan penginjeksian gas ke medium perantara secara kontinyu ^[2]. Hipotesa yang ingin dibuktikan adalah bahwa logam cair yang diinjeksi gas akan mempunyai sifat perpindahan panas yang baik.



Gambar 1a. Diagram sistem pertukaran panas konvensional pada reaktor pembiak cepat tipe loop



Gambar 1b. Diagram sistem pertukaran panas dengan pertukaran panas intermedier lanjutan pada reaktor pembiak cepat.

Untuk mempelajari kelayakan dari konsep tersebut di atas, dilakukan percobaan awal tentang pengaruh injeksi gas N_2 pada medium perantara terhadap koefisien perpindahan panas. Dalam hal ini medium perantara yang digunakan air sebagai pengganti logam. Parameter yang diukur adalah perubahan suhu *test-section* pada posisi-posisi tertentu yang disebabkan oleh perubahan daya dan kecepatan aliran injeksi gas N_2 .

METODE PERCOBAAN

Dalam percobaan ini dipilih air yang diinjeksi oleh gas N_2 sebagai simulasi dari medium perantara penukar panas, batang pemanas listrik sebagai simulasi dari sodium sistem primer, dan pipa pendingin yang berbentuk helikal koil sebagai simulasi dari sistem uap.

Pengamatan yang dilakukan pada percobaan adalah perubahan-perubahan suhu yang diakibatkan oleh perubahan kecepatan injeksi gas dan atau perubahan pembangkitan daya panas. Percobaan dilakukan dengan dua cara, yaitu :

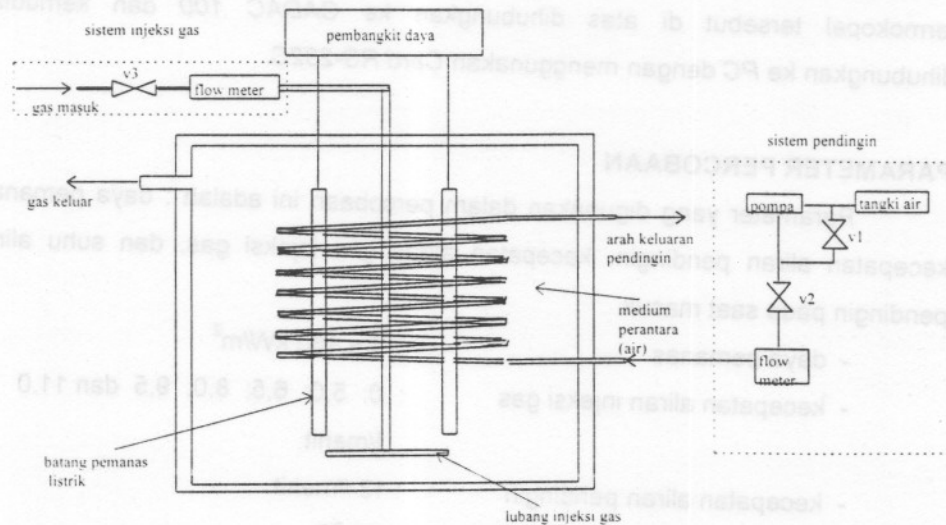
- Variasi kecepatan aliran injeksi gas pada pembangkitan panas konstan
- Variasi pembangkitan panas pada kecepatan aliran injeksi gas konstan.

Perubahan pembangkitan panas maupun perubahan kecepatan aliran injeksi gas dimulai dari nilai terendah dan dinaikkan sedikit-sedikit, sehingga diharapkan perubahan suhu yang terjadi mulai dari titik terendah.

DISKRIPSI ALAT

Alat percobaan ini dirancang dalam rangka studi penelitian penulis di Universitas Osaka Jepang. Adapun komponen utama dari alat percobaan (seperti : tangki, batang pemanas listrik, pipa pendingin) dibuat oleh *Okazaki Industry* sedangkan komponen lainnya dibuat oleh *Swagelock*.

Alat percobaan terdiri dari penukar panas *intermedier* lanjutan (AIHX) sebagai "test section", sistem pendingin, dan sistem injeksi gas (Gambar 2a).



Gambar 2a. Diagram alat percobaan

AIHX sebagai komponen utama dari alat percobaan, terdiri dari silinder luar, batang pemanas listrik, pipa pendingin yang berbentuk helikal koil, dan pipa penginjeksi gas. Silinder luar dibuat dari baja tahan karat dengan radius luar 155,2 mm dengan ketebalan 5 mm. Batang pemanas listrik dibuat dari baja tahan karat berdiameter 12 mm dengan panjang aktif pembangkit panas 220 mm berjumlah 12 batang dan tiap-tiap batang dapat membangkitkan panas 2,5 kW. Pipa pendingin berbentuk helikal koil dibuat dari baja tahan karat berdiameter 12 mm. Koil mempunyai putaran sebanyak 8,5 putaran berdiameter 284 mm dan jarak antara putaran 25 mm. Pipa penginjeksi gas juga dibuat dari baja tahan karat berdiameter 3,175 mm berbentuk lingkaran dengan diameter 88 mm mempunyai 12 lubang dengan diameter lubang 0,8 mm.

Air pendingin mengalir dari tangki penyimpanan air melalui pompa kemudian melingkari batang pemanas listrik. Kecepatan aliran pendingin diatur dengan katup serta diukur dengan rotameter.

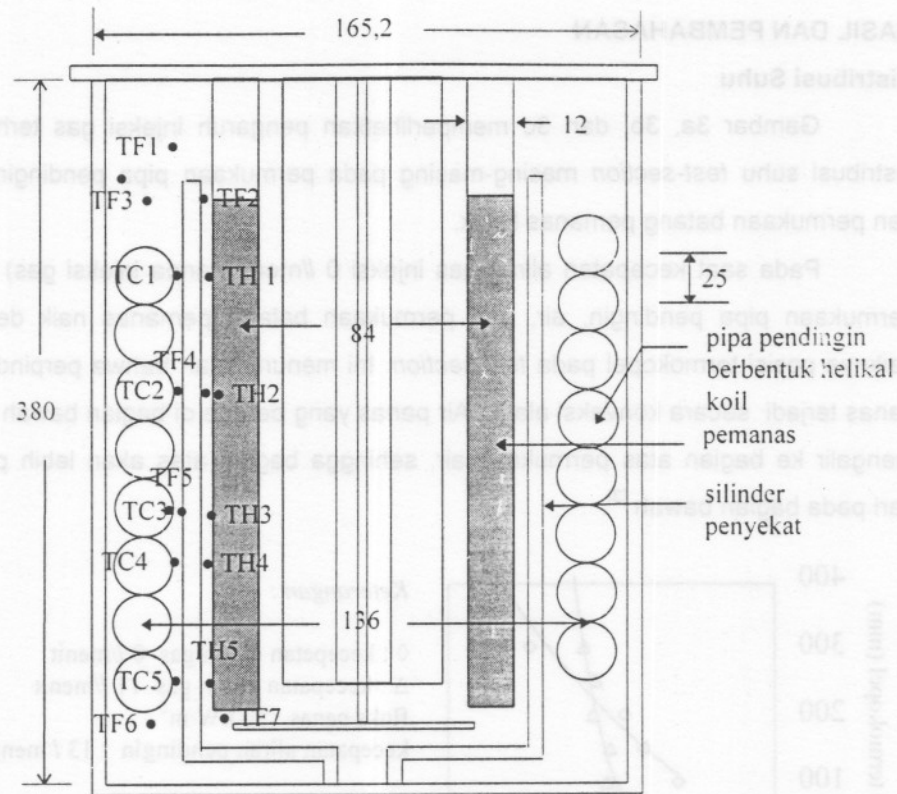
Pengukuran Suhu

Perubahan suhu pada permukaan batang pemanas listrik, permukaan pipa pendingin dan medium perantara diukur dengan menggunakan termokopel *Chromel-Alumel* berdiameter 0,5 mm. Pengukuran dilakukan pada posisi-posisi yang berbeda dengan urutan dari atas ke bawah yaitu $T_{H1} \sim T_{H5}$ untuk posisi permukaan batang pemanas listrik, $T_{C1} \sim T_{C5}$ untuk posisi permukaan pipa pendingin dan $T_{F1} \sim T_{F7}$ untuk posisi medium perantara (Gambar 2b). Semua termokopel tersebut di atas dihubungkan ke *CADAC 100* dan kemudian dihubungkan ke *PC* dengan menggunakan *Card RS-232C*.

PARAMETER PERCOBAAN

Parameter yang digunakan dalam percobaan ini adalah : daya pemanas, kecepatan aliran pendingin, kecepatan aliran gas injeksi gas, dan suhu aliran pendingin pada saat masuk.

- daya pemanas : 4 ~ 150 kW/m²
- kecepatan aliran injeksi gas : 0; 5,0; 6,5; 8,0; 9,5 dan 11,0
l/menit
- kecepatan aliran pendingin : 13 l/menit
- suhu pendingin pada saat masuk : 28 °C



Gambar 2b. Test-section secara detail

TATA KERJA PERCOBAAN

Langkah-langkah percobaan dilakukan secara berurutan sebagai berikut :

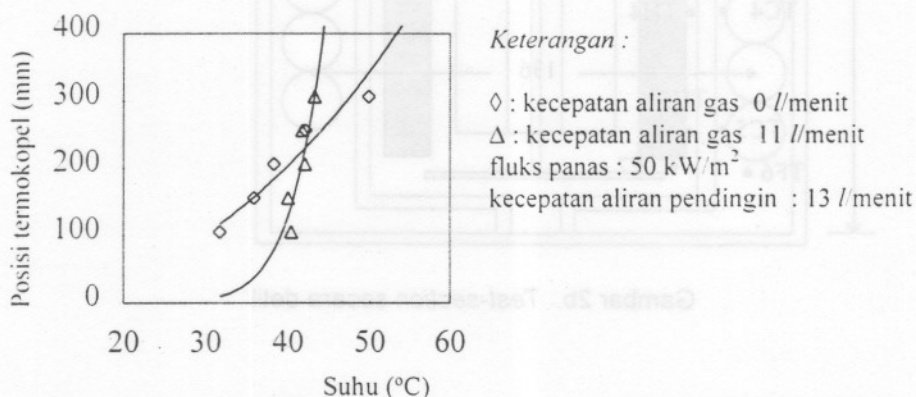
1. Menentukan kecepatan aliran pendingin 13 //menit
2. Menentukan kecepatan injeksi gas
3. Menghidupkan pembangkit panas pada daya tertentu dan membiarkan beberapa saat sampai panas pada medium perantara merata.
4. Menyimpan data suhu pada titik-titik tertentu yang telah ditetapkan pada komputer.
5. Mengulangi langkah 3 dan 4 dengan menaikkan daya pembangkit panas sampai daya tertentu
6. Mengulangi langkah 2 sampai 5 dengan menaikkan kecepatan aliran injeksi gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

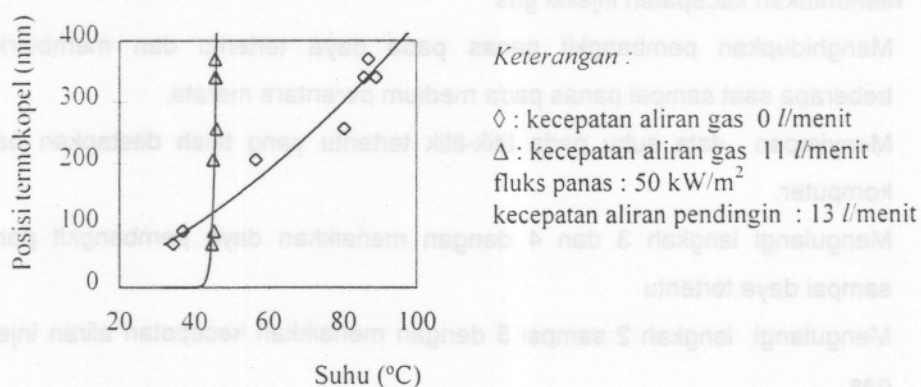
Distribusi Suhu

Gambar 3a, 3b, dan 3c memperlihatkan pengaruh injeksi gas terhadap distribusi suhu *test-section* masing-masing pada permukaan pipa pendingin, air, dan permukaan batang pemanas listrik.

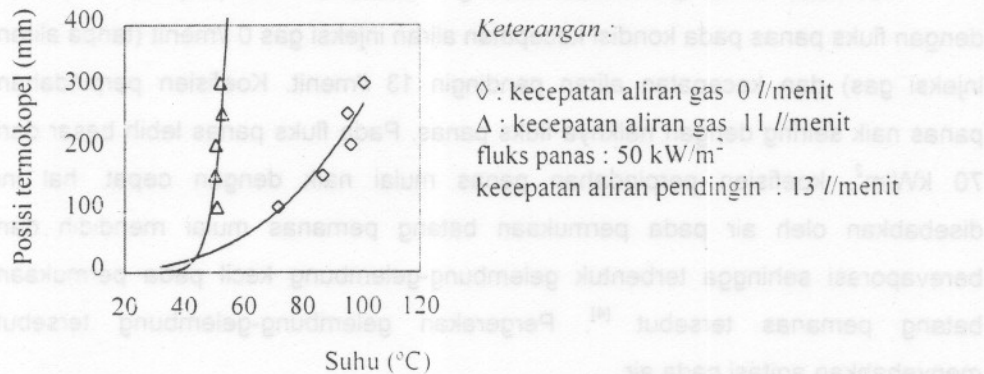
Pada saat kecepatan aliran gas injeksi 0 //menit (tanpa injeksi gas) suhu permukaan pipa pendingin, air, dan permukaan batang pemanas naik dengan naiknya posisi termokopel pada *test-section*. Ini menunjukkan bahwa perpindahan panas terjadi secara konveksi alam. Air panas yang berada di bagian bawah akan mengalir ke bagian atas permukaan air, sehingga bagian atas akan lebih panas dari pada bagian bawah^[3].



Gambar 3a. Grafik distribusi suhu "*test-section*" pada permukaan pipa pendingin



Gambar 3b. Grafik distribusi suhu "*test-section*" pada air



Gambar 3c. Grafik distribusi suhu "test-section" pada permukaan batang pemanas listrik

Pada saat kecepatan aliran injeksi gas 11 l/menit, kenaikan suhu pada permukaan batang pemanas listrik, air, dan permukaan pipa pendingin jauh lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan suhu tanpa aliran injeksi gas. Hal ini disebabkan oleh adanya pengadukan pada air oleh gas yang diinjeksikan tersebut. Kenaikan aliran gas injeksi akan mengakibatkan pengadukan pada air semakin kuat, sehingga perbedaan suhu antara permukaan batang pemanas dengan permukaan pipa pendingin semakin kecil.

Variasi Koefisien Perpindahan Panas

Pada percobaan ini panas mengalir dari permukaan batang pemanas listrik ke air kemudian ke pendingin, sehingga persamaan koefisien perpindahan panas (h_{HC}) dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_{HC} = \frac{q}{T_{Hn} - T_{Cn}}$$

dimana :

q adalah daya panas yang dibangkitkan oleh batang pemanas listrik

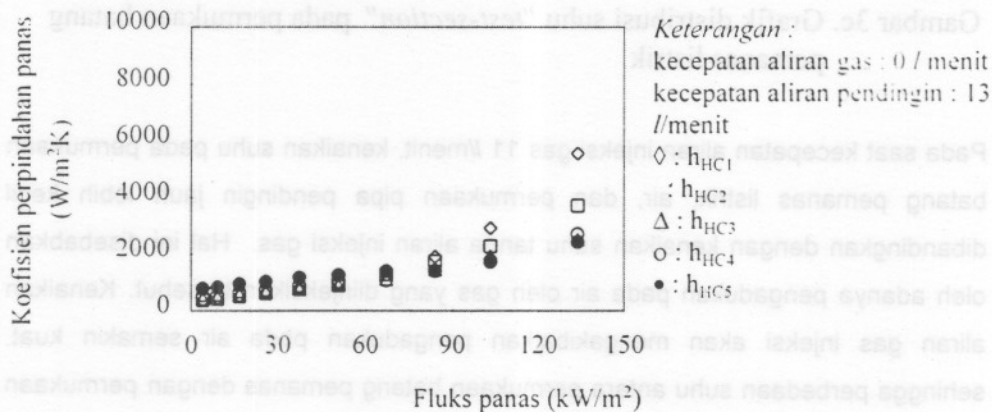
T_{Hn} adalah suhu permukaan pemanas pada posisi n

T_{Cn} adalah suhu permukaan pipa pendingin pada posisi n

n adalah posisi termokopel

Percobaan dilakukan dengan memberikan variasi harga q dan yang diamati perubahan suhu untuk kondisi tanpa aliran injeksi gas dan dengan aliran injeksi gas. Hasil yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 4a, 4b, dan 4c..

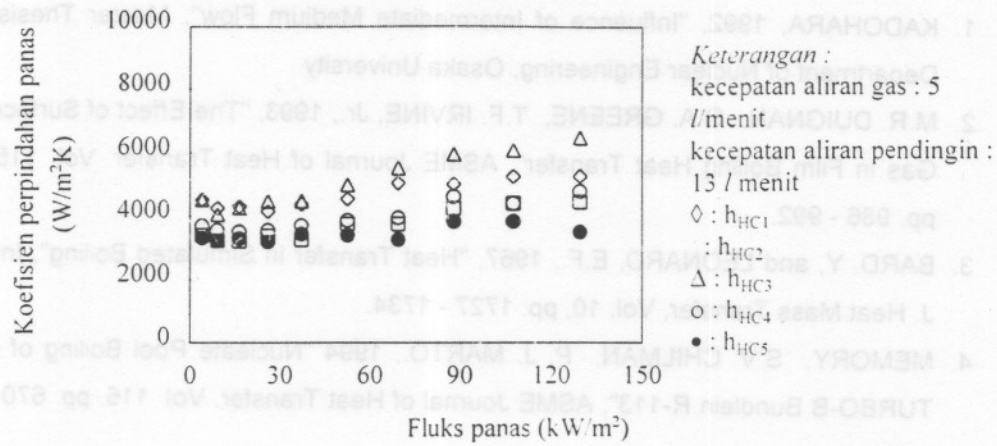
Gambar 4a memperlihatkan hubungan antara koefisien perpindahan panas dengan fluks panas pada kondisi kecepatan aliran injeksi gas 0 //menit (tanpa aliran injeksi gas) dan kecepatan aliran pendingin 13 //menit. Koefisien perpindahan panas naik seiring dengan naiknya fluks panas. Pada fluks panas lebih besar dari 70 kW/m², koefisien perpindahan panas mulai naik dengan cepat hal ini disebabkan oleh air pada permukaan batang pemanas mulai mendidih dan berevaporasi sehingga terbentuk gelembung-gelembung kecil pada permukaan batang pemanas tersebut [4]. Pergerakan gelembung-gelembung tersebut menyebabkan agitasi pada air.



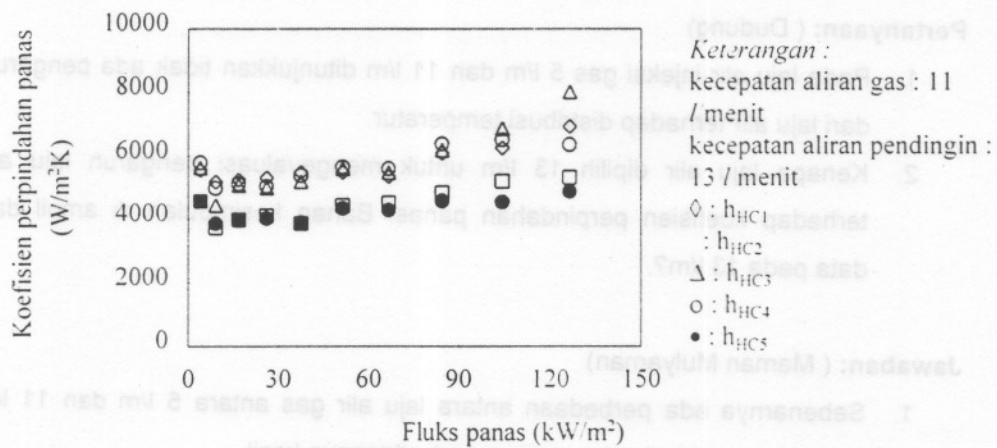
Gambar 4a. Koefisien perpindahan panas terhadap fluks panas pada kondisi tanpa injeksi gas.

Gambar 4b dan 4c memperlihatkan hubungan antara koefisien perpindahan panas sebagai fungsi fluks panas untuk kecepatan aliran injeksi gas masing-masing 5 //menit dan 11 //menit. Dari perbandingan kedua gambar tersebut di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pada fluks panas rendah, naiknya kecepatan injeksi gas menyebabkan naiknya koefisien perpindahan panas. Hal ini disebabkan konduktivitas termal air relatif kecil, maka cepatnya perpindahan panas sebagian bergantung pada gerakan partikel air.
- Pada waktu kecepatan aliran injeksi gas kecil, perpindahan panas kurang dibantu oleh pencampuran partikel-partikel dalam air tersebut. Sebaliknya bila kecepatan aliran injeksi gas besar, pencampuran air yang lebih panas dengan air yang lebih dingin sangat membantu dalam perpindahan panas.



Gambar 4b. Koefisien perpindahan panas terhadap fluks panas pada kondisi kecepatan aliran injeksi gas 5 l/menit



Gambar 4c. Koefisien perpindahan panas terhadap fluks panas pada kondisi kecepatan aliran injeksi gas 11 l/menit

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Perbedaan panas antara pemanas dengan pendingin akan turun bila kecepatan aliran injeksi gas pada medium perantara naik.
2. Pada waktu fluks panas medium perantara rendah, pengaruh injeksi gas pada koefisien perpindahan panas sangat dominan, tetapi pada waktu fluks panas medium perantara tinggi, pengaruh injeksi gas kurang dominan.

DAFTAR PUSTAKA

1. KADOHARA, 1992, "Influence of Intermediate Medium Flow". Master Thesis, Department of Nuclear Engineering, Osaka University
2. M.R. DUIGNAN, G.A. GREENE, T.F. IRVINE, Jr., 1993, "The Effect of Surface Gas in Film Boiling Heat Transfer", ASME Journal of Heat Transfer. Vol. 115, pp. 986 - 992.
3. BARD, Y, and LEONARD, E.F., 1967, "Heat Transfer in Simulated Boiling", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 10, pp. 1727 - 1734.
4. MEMORY, S.V. CHILMAN, P. J. MARTO., 1994 "Nucleate Pool Boiling of a TURBO-B Bundlein R-113", ASME Journal of Heat Transfer. Vol. 116. pp. 670 - 678

DISKUSI

Pertanyaan: (Dudung)

1. Pada laju alir injeksi gas 5 l/m dan 11 l/m ditunjukkan tidak ada pengaruh dari laju alir terhadap distribusi temperatur.
2. Kenapa laju alir dipilih 13 l/m untuk mengevaluasi pengaruh laju alir terhadap koefisien perpindahan panas. Bahan kesimpulan di ambil dari data pada 13 l/m?

Jawaban: (Maman Mulyaman)

1. Sebenarnya ada perbedaan antara laju alir gas antara 5 l/m dan 11 l/m terhadap distribusi suhu, namun perbedaannya kecil.
2. Pengaruh laju alir pendingin terhadap perpindahan panas, telah dilakukan sebelum percobaan ini dilakukan, dan memang besar kecilnya laju alir pendingin berpengaruh terhadap perpindahan panas. Akan tetapi dalam percobaan ini tujuan utamanya adalah untuk mengetahui efek injeksi gas pada medium perantara terhadap karakteristik perpindahan panas.

Pertanyaan: (Amir Djuhara)

1. Percobaan membuat konveksi paksa tersebut a). apakah sudah dikaji dan diterapkan pada yang sebenarnya (tugas bapak) ? b). Kalau sudah berapa besar pengaruh terhadap unjuk kerja?. c). Kemudian kenapa sistem sodium sekunder NRS dihilangkan, tidakkah mengurangi syarat keamanan dalam pengoperasian yang diharapkan ? mohon penjelasan.

2. Bagaimana upaya menanggulangi pendinginan pada sistem primer?.

Jawaban: (Maman Mulyaman)

1. a) Percobaan ini baru percobaan awal jadi belum dikaji dan diterapkan pada kondisi sebenarnya.
b) Karena belum dikaji dan diterapkan pada yang sebenarnya maka besarnya pengaruh terhadap unjuk kerja belum bisa ditentukan.
c) Penghilangan sistem sodium sekunder, bertujuan tidak lain untuk menurunkan/menekan biaya dalam pembangunan FBR.
2. Kalau ditinjau dari segi keamanan, hal ini cukup aman, apalagi kalau medium perantara pemindah panas bukan dari sodium, tapi logam cair jenis lainnya, sehingga seandainya terjadi kebocoran dari sistem uap air pada tangki AIHX tersebut tidak langsung kontak dengan sodium.
3. Dalam percobaan ini tidak menanggulangi sistem pendingin primer, tetapi menghilangkan sistem sodium sekunder, yaitu dengan cara menyatukan IHX dan SG ke dalam suatu tangki.

Pertanyaan: (Utaja)

1. Bagaimana kalau injeksi gas diganti dengan pompa ?
2. Apakah fenomena lain pada peristiwa kenaikan koefisien perpindahan panas terhadap daya?

Jawaban: (Maman Mulyaman)

1. Seandainya injeksi gas diganti dengan pompa itu memungkinkan tetapi memerlukan daya pompa yang besar. Dan yang perlu diingat seandainya medium perantara menggunakan sodium, akan berbahaya jika bercampur dengan udara.
2. Ada yaitu bila zat cair sebagai medium perantara sudah mendidih ini akan menaikkan koefisien perpindahan panas. Hal ini dicapai sampai mencapai panas kritis. Setelah panas kritis dicapai, koefisien perpindahan panas akan mengecil/turun.