

STUDI EKSPERIMENTAL ASPEK TERMOHIDROLIK BERKAS EMPAT PIPA SUSUNAN SEBARIS PADA FASILITAS NILO 1

K. Kamajaya, Mahasiswa Jurusan Ilmu dan Rekayasa Nuklir
Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung
Aryadi Suwono, Lab. Termodinamika, PAU - Ilmu Rekayasa ITB.

Abstrak

Lingkup studi eksperimental dalam makalah ini mencakup aspek termohidrolik berkas empat pipa susunan sebaris pada fasilitas NILO 1. Aspek termohidrolik dalam reaktor nuklir memegang peranan yang sangat penting, karena berkaitan dengan keselamatan reaktor. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan secara eksperimen aspek termohidrolik sub-buluh dengan mempergunakan tabung pipa uji yang terdiri dari empat pemanas. Sub-buluh pada penelitian ini dibagi ke dalam tiga bagian, sub-buluh tengah, sub-buluh pinggir, dan sub-buluh pojok. Setiap sub-buluh dibagi ke dalam delapan unit sel dalam arah aksial. Data hasil pengamatan eksperimental distribusi temperatur yang didapatkan dibandingkan dengan hasil analisis numerik sub-buluh. Distribusi koefisien perpindahan panas lokal pada setiap sub-buluh dihitung berdasarkan data percobaan, kemudian dicari korelasi antara bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl. Distribusi temperatur dari hasil percobaan lebih rendah dibandingkan dengan hasil simulasi numerik, sedangkan korelasi antara bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl yang didapat dari hasil percobaan tidak sesuai dengan korelasi yang ditunjukkan oleh Dittus-Boelter.

1. Pendahuluan

Dalam perancangan reaktor pembangkit tenaga nuklir terdapat beberapa faktor yang harus diperhitungkan antara lain sifat neutronik, termohidrolik, mekanik, manajemen bahan bakar, dan faktor lainnya.^[1] Sistem utama yang membatasi operasi reaktor adalah sistem termohidroliknya.^[2] Peranan aspek termohidrolik di dalam reaktor nuklir sangat dominan terutama keterkaitannya dengan keselamatan reaktor, sehingga di dalam perancangan dan analisisnya dituntut suatu ketelitian yang sangat tinggi. Dengan adanya tuntutan persyaratan keselamatan yang handal dan dilain pihak reaktor nuklir harus mempunyai daya saing ekonomi yang tinggi, maka di dalam perancangan, pembangunan maupun pengoperasian reaktor nuklir, kecermatan dan ketelitian merupakan landasan yang mutlak.^[3] Pada makalah ini kajian dibatasi pada aspek termohidroliknya saja. Mengingat masih sangat kompleksnya permasalahan maka pengkajian dipersempit lagi yaitu pada kondisi aliran satu fasa. Kajian ini mencakup mengenai :

1. Distribusi temperatur fluida pendingin
2. Penentuan koefisien perpindahan panas dari pemanas ke pendingin.

Pada makalah ini dirancang sebuah model pipa uji yang berfungsi sebagai berkas bahan bakar, terdiri dari empat batang pemanas. Dari konfigurasi berkas model pemanas tersebut daerah aliran fluida pendingin dapat dikelompokkan ke dalam tiga daerah aliran yaitu sub-buluh tengah, sub-buluh pinggir, dan sub-buluh pojok. Setiap sub-buluh dibagi menjadi delapan unit sel. Perangkat uji pemanas ini dipasang pada fasilitas untai uji NILO I yang ada di PPTN-BATAN Bandung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan ketelitian penerapan analisis termohidrolik dengan pendekatan sub-buluh.

Dari data pengukuran akan diperoleh distribusi temperatur pada permukaan pemanas, dan fluida pendingin pada setiap sub-buluh tengah, pinggir dan pojok. Sebagai perbandingan, data percobaan tersebut dibandingkan dengan perhitungan numerik yang dibuat berdasarkan analisis sub-buluh^[4] Penyelesaian persamaan simultan dengan bantuan program komputer dari analisis sub-buluh tersebut, yaitu persamaan kontinuitas, persamaan energi, persamaan momentum aksial, dan persamaan momentum transversal, mempergunakan penyelesaian numerik.

2. Analisis sub-buluh

Pemahaman karakteristik distribusi temperatur dari fluida pendingin dan perpindahan panas yang berlangsung antara dinding-dinding silinder bahan bakar dalam bentuk berkas dengan fluida berfasa tunggal yang mengalir sejajar sumbu silinder merupakan landasan yang penting untuk memahami mekanisme perpindahan panas di dalam berkas pipa sejajar. Seperti diketahui bahwa kehadiran batang pipa pemanas pada daerah aliran akan menimbulkan efek geometri pergerakan fluida yang mengalir disekelilingnya, yaitu memberikan efek perubahan momentum dan energi pada daerah aliran fluida tersebut. Bila pada buluh aliran ini diterapkan persamaan kontinuitas, momentum dan energi maka akan diperoleh distribusi temperatur, kecepatan, tekanan dan koefisien perpindahan panas dari batang pemanas ke fluida pendingin. Secara umum analisis sub-buluh merupakan penerapan khusus dari media berpori.^[5]

2.1 Media berpori

Pada pendekatan analisis media berpori, kondisi aliran fluida diantara berkas bahan bakar silindrik di dalam reaktor nuklir dianggap sebagai aliran fluida dalam media berpori dengan karakteristik porositas sesuai dengan konfigurasi reaktor. Untuk tujuan tersebut, tinjau volume-atur V_T yang dibatasi oleh permukaan-atur A_T yang terdiri dari fluida dengan volume V_f dan sisa volume lainnya terisi padatan yang tersebar secara acak dalam volume-atur yang ditinjau, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.

Permukaan A_T menutupi seluruh volume V_T , bagian dari V_T yang berisi fluida adalah V_f dan total permukaan antara padatan dan fluida dalam volume-atur V_T adalah A_b . Dapat dilihat dari gambar, A_f adalah bagian dari A_T tempat fluida mengalir. Fluida dalam batas volume-atur mempunyai luas permukaan A_b yang besarnya sama dengan ^[6]

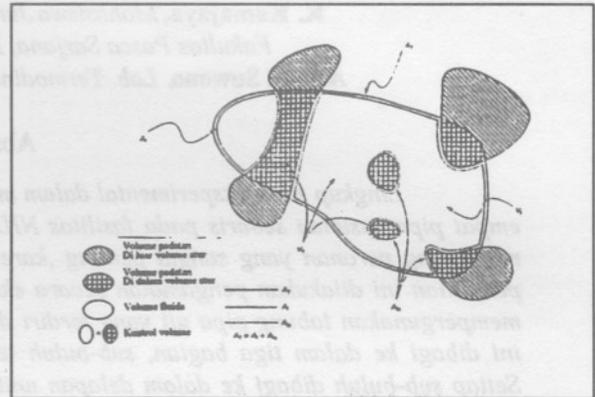
$$A_{fb} = A_{fs} + A_f \quad (1)$$

Perbandingan antara V_f terhadap V_T dan perbandingan antara A_f terhadap A_T merupakan dua parameter utama media berpori yang didefinisikan sebagai porositas (γ_v) dan permeabilitas permukaan

$$\gamma_v = \frac{V_f}{V_T} = \frac{1}{V_T} \int \alpha_f dV \quad (2)$$

$$\gamma_A = \frac{A_f}{A_T} = \frac{1}{A_T} \int \alpha_f dA$$

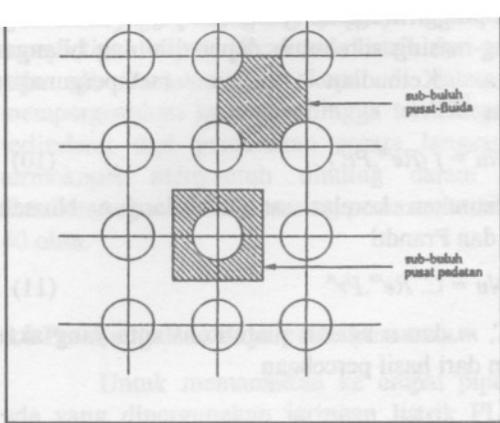
dengan α_f fungsi densitas untuk fasa fluida.



Gambar 1 Volume-atur media berpori

2.2 Analisis Sub-Buluh

Karakteristik media berpori dapat diterapkan pada konfigurasi berkas silinder sejajar. Di dalam pemilihan volume-atur dapat dilakukan berbagai alternatif, tergantung pada tujuan analisis. Pada kajian ini ditunjukkan dua pendekatan pemilihan volume-atur seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Kedua alternatif pemilihan volume-atur yang berbentuk sub-buluh yaitu dengan *pusat-fluida*, yang hanya mencakup fluida saja dan *pusat-padatan*, yang mencakup pemanas sebagai padatan dan dikelilingi oleh fluida pendingin. Untuk analisis termohidrolik reaktor pemilihan volume-atur pusat-fluida akan lebih memberikan informasi yang lebih penting, karena sebagaimana diketahui transfer energi dari reaksi fisi yang terjadi di dalam bahan bakar ke pendingin lebih banyak dikendalikan oleh hambatan termal dari fluida pendinginnya.



Gambar 2 Volume-atur sub-buluh

a) pusat-fluida, dan b) pusat-padatan

a. Persamaan kontinuitas

$$A_{fi} \frac{\partial \langle \rho_i \rangle}{\partial t} + \frac{\Delta m_i}{\Delta z} = - \sum_{j=1}^J W_{ij} \quad (3)$$

dengan

- A_{fi} : penampang aksial lokal
- $A_{fi} \frac{\partial \langle \rho_i \rangle}{\partial t}$: laju perubahan massa pada volume atur
- $\frac{\Delta m_i}{\Delta z}$: perubahan laju aliran massa dalam arah aksial (z)
- W_{ij} : laju massa silang dari elemen sub-buluh i ke j
- ρ_i : rapat massa fluida dari elemen sub-buluh i

b. Persamaan momentum

(i) Arah aksial

$$\frac{\partial \langle m_i \rangle}{\partial t} + \sum_{j=1}^J W_{ij} \langle v_z^* \rangle + \frac{\Delta(m_i v_z)}{\Delta z} = -A_{fi} [\langle \rho \rangle g + \frac{\Delta \langle p \rangle}{\Delta z}] - \sum_{j=1}^J [W_{ij}^* (v_z - v_{zj})] - \left\{ \frac{F_{ix}}{\Delta z} \right\} \quad (4)$$

- $\frac{\partial \langle m_i \rangle}{\partial t}$: laju perubahan momentum linier dari massa fluida
- $\sum_{j=1}^J W_{ij} \langle v_z^* \rangle$: transfer momentum dalam arah transversal oleh aliran silang diversifikasi
- $\frac{\Delta(m_i v_z)}{\Delta z}$: selisih momentum linier melalui permukaan aksial
- $A_{fi} \langle \rho \rangle$: gaya badan karena gaya gravitasi pada massa fluida

- $A_{fi} \frac{\Delta \langle p \rangle}{\Delta z}$: gaya permukaan tegangan normal fluida (tekanan) yang bekerja pada fluida
- $\sum_{j=1}^J [W_{ij}^* (v_z - v_{zj})]$: jumlah transfer momentum karena pengaruh efek turbulensi dan viskos, atau identik dengan gaya permukaan karena tegangan geser fluida
- $\left\{ \frac{F_{ix}}{\Delta z} \right\}$: gaya permukaan yang bekerja pada fluida karena adanya benda padat pada daerah aliran.

$\{v_i^*\}$ adalah kecepatan efektif akibat gradien tekanan didefinisikan sebagai,

$$v_i^* = \frac{\{\rho v_x v_z\}}{\{\rho v_x\}} \quad (4)$$

(ii) Arah transversal

$$\frac{\partial \langle W_{ij} \rangle}{\partial t} + \frac{\Delta \langle W_{ij} \{v_z\} \rangle}{\Delta x'} + \frac{\Delta \langle W_{ij} \{v_z\} \rangle}{\Delta x} = - \langle s_{ij}^y \frac{\Delta \langle p \rangle}{\Delta x'} \rangle - \left\{ \frac{F_{ix}}{\Delta x' \Delta z} \right\} \quad (5)$$

- $\frac{\partial \langle W_{ij} \rangle}{\partial t}$: laju perubahan momentum linier pada volume atur momentum transversal
- $\frac{\Delta \langle W_{ij} \{v_z\} \rangle}{\Delta x'}$: selisih momentum linier transversal melalui permukaan arah x
- $\frac{\Delta \langle W_{ij} \{v_z\} \rangle}{\Delta x}$: selisih momentum linier transversal melalui permukaan aksial pada volume kontrol momentum transversal
- $\langle s_{ij}^y \frac{\Delta \langle p \rangle}{\Delta x'} \rangle$: gaya permukaan karena tegangan normal permukaan (tekanan)
- $\left\{ \frac{F_{ix}}{\Delta x' \Delta z} \right\}$: total gaya penghambat persatuan luas pada dasar bidang xz

c. Persamaan energi

$$A_{fi} \frac{\partial \langle \rho_i h_i \rangle}{\partial t} + \frac{\Delta [m_i h_i]}{\Delta z} = \langle q_i \rangle_h - \sum_{j=1}^J W_{ij}^* h_i (h_i - h_j) + \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J W_{ij} \langle h^* \rangle + A_{fi} \left\langle \frac{D p_i}{D t} \right\rangle$$

Analog dengan definisi $\{v_z^*\}$, maka $\{h_x^*\}$ dan $\{h_y^*\}$ didefinisikan sebagai,

$$\{h_x^*\} = \frac{\{\rho v_x h\}}{\{\rho v_x\}}$$

$$h_{y^*} = \frac{\{\rho v_y h\}}{\{\rho v_y\}} \quad (7)$$

- h_{x^*} dan h_{y^*} adalah entalpi efektif untuk transfer energi oleh aliran silang diverisi arah x dan y
- $A_s \frac{\partial}{\partial t}(\rho, h_i)$: laju pertambahan energi dalam dari fluida.
- $\frac{\Delta[m_i h_i]}{\Delta z}$: selisih energi dalam fluida keluar terhadap fluida masuk melalui permukaan aksial antar sel dalam sub-buluh ke i
- $\langle q_i' \rangle_{rh}$: laju pembangkitan panas yang diterima oleh fluida dari pemanas
- $\sum_{j=1}^i W_{vj}^{*n} (h_i - h_j)$: selisih transfer energi karena pengaruh efek turbulensi dan viskos
- $\sum_{j=1}^i W_{vj} \{h^*\}$: transfer energi oleh aliran silang disersi

Apabila persamaan-persamaan tersebut dituliskan untuk setiap sel pada masing-masing sub-buluh maka akan terbentuk persamaan aljabar linier dalam bentuk matrik $[k \times m \times n]$ ^{[4][7]}. Berdasarkan persamaan-persamaan ini dapat dikembangkan suatu program komputer untuk menghitung besaran-besaran termohidrolik yang dibutuhkan^{[15][16]}

2.3 Perpindahan Panas.

Total energi yang dipindahkan dari pemanas ke fluida memenuhi persamaan^{[8][9]}

$$q = h_c \cdot A_s \cdot (T_w - k T_b)_{av} \quad (8)$$

Pada umumnya persamaan tersebut diatas dipakai untuk menentukan laju aliran panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan pemanas dengan fluida pendinginnya yang bersinggungan secara langsung dengan pemanas. Bilangan Nusselt merupakan ukuran perpindahan panas konveksi yang dapat memudahkan dalam perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi. Bila harga bilangan Nusseltnya telah diketahui, maka koefisien perpindahan panas konveksinya dapat ditentukan.

Untuk bilangan Prandtl $1,0 < Pr < 10$, Dittus-

Dari hasil percobaan didapatkan harga rata-rata koefisien perpindahan panas baik pada sub-tengah, sub-buluh pinggir maupun sub-buluh pojok. Dari harga h_c masing-masing sub-buluh dapat dihitung bilangan Nusseltnya. Kemudian dengan mempergunakan persamaan^{[10][11]}

$$Nu = f(Re^m \cdot Pr^n) \quad (10)$$

dapat ditentukan korelasi antara bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (11)$$

dimana C, m dan n adalah suatu konstanta yang akan ditentukan dari hasil percobaan

3. Perancangan alat percobaan

3.1 Tabung Berkas Pipa Uji

Dalam kajian analisis sub-buluh ini telah dirancang dan dibuat sebuah model tabung berkas pipa uji. Bahan tabung dibuat dari stainless steel dengan ketebalan 8 mm. Tinggi tabung 1,5 meter, lebar masing-masing sisi luarnya 83,36 mm. Pada dinding tabung terdapat dua buah lubang pada bagian sisi-sisi yang berseberangan masing-masing 5 cm dari ujung tabung dengan diameter luar 25,4 mm dan ketebalannya 3 mm. Kedua lubang ini berfungsi untuk melewati fluida pendingin ke dalam tabung berkas pipa uji. Fluida pendingin mengalir dari bawah ke atas Tabung pipa uji ini dipersiapkan untuk empat pipa pemanas.

Pada pipa masukan dan keluaran fluida masing-masing ditempatkan sebuah termokopel untuk mengukur temperatur masukan dan temperatur keluaran fluida. Selain itu pada masukan juga dipasang sebuah alat ukur flow meter. Sebelum flow meter dipasang sebuah kran untuk mengatur besarnya laju alir fluida pendingin ke pipa uji.

3.2 Pipa Uji

Pipa uji terbuat dari pipa stainless steel berdiameter luar 25,4 mm dengan ketebalan pipa 2 mm. Kemudian ke dalam pipa uji ini dimasukkan kawat pemanas dari bahan Nickel Chromium dengan batasan temperatur maksimum 1250°C, dan diameter kawat pemanas 1 mm. Kawat tersebut digulungkan pada pipa stainless steel berdiameter luar 12,7 mm dan

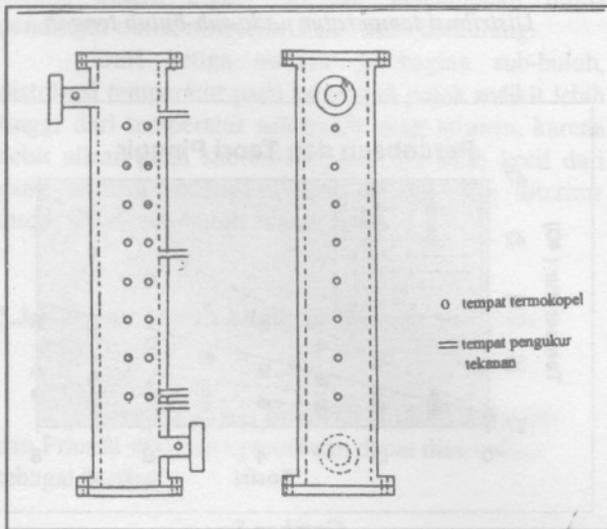
supaya tidak terjadi aliran arus listrik dari pemanas ke pipa uji. Dudukan termokopel di dalam pemanas mempergunakan karbon sehingga termokopel tersebut terlindung dari pemanasan secara langsung. Ujung termokopel menyentuh dinding dalam pipa uji. Hambatan dari masing-masing pemanas tersebut adalah 40 ohm.

3.3 Pembangkitan daya pada pemanas.

Untuk memanaskan ke empat pipa uji yang ada yang dipergunakan jaringan listrik PLN dengan tegangan 220 volt. Sebelum melewati pipa-pipa pemanas, arus listrik dilewatkan melalui regulator dengan daya maksimum 2000 watt. Pada keluaran regulator dipasang sebuah voltmeter dan sebuah amperemeter untuk mengukur besarnya tegangan kerja maupun arus yang melewati pipa-pipa pemanas tersebut.

3.4 Fasilitas Untai Uji NILO 1.

Perangkat uji yang dibuat ditunjukkan sekaligus dengan penempatan sensor alat ukur temperatur ditunjukkan pada gambar 3 dan dihubungkan dengan fasilitas untai uji termohidrolik NILO 1 yang terdapat di PPTN-BATAN^[18] Bandung. Fasilitas untai uji NILO 1 dapat dipergunakan untuk pipa uji vertikal maupun pipa uji horisontal dan jenis pipa ujinya dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan.^{[12][13][14]}



Gambar 3. Penempatan alat ukur

Peralatan pencatat data pengukur temperatur berupa tiga buah PCLD 789 masing-masing mempunyai 16 saluran dan sebuah PCL 812 PG ditempatkan di dalam sebuah Personal Computer PC AT-386. Jumlah titik pengamatan pada satu kali percobaan adalah 12 pada pipa uji, masing-masing empat termokopel untuk dinding yang menghadap ke sub-buluh tengah, pinggir, dan pojok. Dua puluh empat buah termokopel ditempatkan pada fluida pendingin, masing-masing 8 termokopel pada setiap sub-buluh, ditambah dua termokopel masukan dan keluaran.^{[19][20]}

4. Metode Penelitian.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran distribusi temperatur pada pipa uji, pengukuran distribusi temperatur pada setiap sub-buluh dan perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi.

Pada percobaan ini, tekanan fluida kerja dipertahankan tetap 40 bar, dan laju pembangkitan panas untuk setiap pemanas sebesar 360 watt dibuat konstant. Sedangkan laju aliran fluida kerja diubah-ubah. Data masukan selama percobaan diberikan pada table 1.

Tabel 1 Data masukan percobaan

Perc.	Tegangan jala-jala (volt)	Arus (Ampere)	Tekanan (bar)	Debit aliran (l/mn)
1	120	12	40	1
2	120	12	40	2
3	120	12	40	4
4	120	12	40	8

5. Hasil dan pembahasan

5.1 Distribusi temperatur

Data hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 2 hingga 5 di bawah ini, kemudian dibuatkan grafik hubungan antara posisi pengamatan terhadap temperatur yang diberikan berurut-turut pada gambar 4, 5, dan 6. Hasil percobaan dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis.

Tabel 2 Percobaan 1

No.	Temperatur tengah (° C)	Temperatur pinggir (° C)	Temperatur pojok (° C)
0	28,06	28,06	28,06
1	29,55	29,73	30,02
2	31,56	32,11	32,26
3	33,67	33,60	34,76
4	35,12	35,11	36,82
5	36,66	36,89	38,78
6	38,24	39,08	41,33
7	40,88	41,10	42,97
8	42,54	42,97	45,23

Tabel 3 Percobaan 2

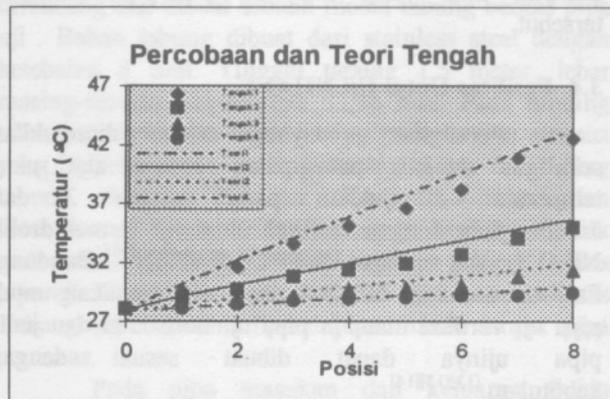
No.	Temperatur tengah (° C)	Temperatur pinggir (° C)	Temperatur pojok (° C)
0	28,05	28,05	28,05
1	29,01	28,78	29,11
2	29,76	29,98	29,97
3	30,77	30,67	31,21
4	31,31	31,48	31,97
5	31,88	32,49	32,76
6	32,65	33,61	34,06
7	34,05	34,62	34,84
8	34,98	35,49	36,42

Tabel 4 Percobaan 3

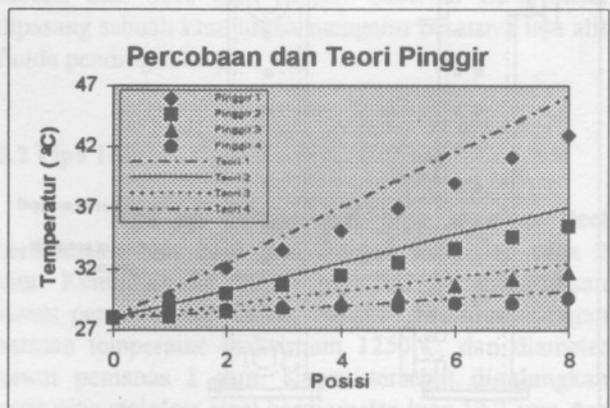
No.	Temperatur tengah (° C)	Temperatur pinggir (° C)	Temperatur pojok (° C)
0	28,05	28,05	28,05
1	28,46	28,24	28,31
2	28,79	28,63	28,87
3	29,16	28,98	29,43
4	29,68	29,41	29,87
5	29,78	29,91	30,45
6	30,10	30,72	31,23
7	30,82	31,24	31,57
8	31,29	31,67	32,44

Tabel 5 Percobaan 4

No.	Temperatur tengah (° C)	Temperatur pinggir (° C)	Temperatur pojok (° C)
0	28,03	28,03	28,03
1	28,08	28,14	28,28
2	28,53	28,64	28,36
3	28,77	28,78	28,81
4	28,89	28,96	29,02
5	28,96	29,01	29,06
6	29,11	29,23	29,34
7	29,18	29,24	29,61
8	29,38	29,55	30,14

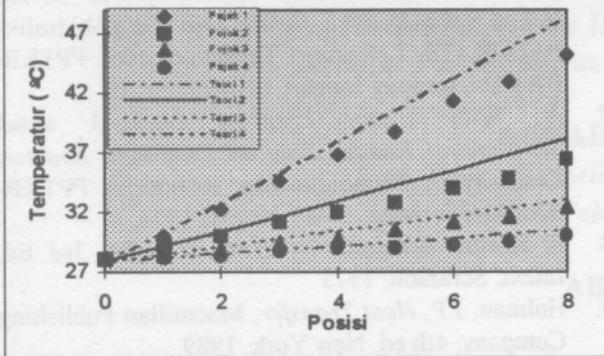


Gambar 4
Distribusi temperatur pada sub-buluh tengah



Gambar 5

Percobaan dan Teori Pojok



Gambar 6

Distribusi temperatur pada sub-buluh pojok

5.2 Pembahasan.

Hasil yang diperoleh dari masing-masing percobaan adalah terjadinya kenaikan temperatur dari ujung bawah tabung ke atas secara linier. Hal ini dapat terjadi karena kalor yang diterima oleh fluida pendingin dari bawah ke atas secara komulatif bertambah secara linier.

Dengan melakukan empat percobaan pada debit aliran yang berbeda-beda, yaitu 1 liter/menit, 2 liter, 4 liter/menit, dan 8 liter/menit diperoleh grafik seperti yang terlihat pada gambar 4, 5 dan 6. Peningkatan debit aliran akan menurunkan temperatur fluida pada setiap sub-buluh, hal ini dapat terjadi karena makin cepat laju alir kemampuan fluida pendingin untuk menyerap kalor akan berkurang.

Dari ketiga macam pembagian sub-buluh, distribusi temperatur pada sub-buluh pojok sedikit lebih tinggi dari temperatur sub-buluh yang lainnya, karena debit aliran pada sub-buluh pojok ini lebih kecil dari yang lainnya sedangkan fluks panas yang diterima untuk setiap sub-buluh adalah sama.

5.3 Korelasi antara bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl.

Korelasi antara bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl dari hasil percobaan dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\text{Log } \{Nu/Pr^n\} = \text{log } C + m \text{ log } Re$$

Harga konstanta dari C, m dan n dari hasil percobaan ditunjukkan seperti pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6 Korelasi bilangan Nu, Pe dan Pr.

Sub-buluh	C	m	n
Tengah	0,122	0,48	0,27
Pinggir	0,107	0,49	0,13
Pojok	0,046	0,50	0,48

Apabila untuk bilangan Prandtl dlt $1,0 < Pr < 10$, Dittus-Boelter memberikan korelasi seperti :

$$Nu = 0,0155 \cdot Pr^{0,6} \cdot Re^{0,83}$$

maka hasil percobaan dengan analisis sub-buluh memberikan korelasi :

a. Untuk sub-buluh tengah

$$Nu = 0,122 Pr^{0,27} \cdot Re^{0,48}$$

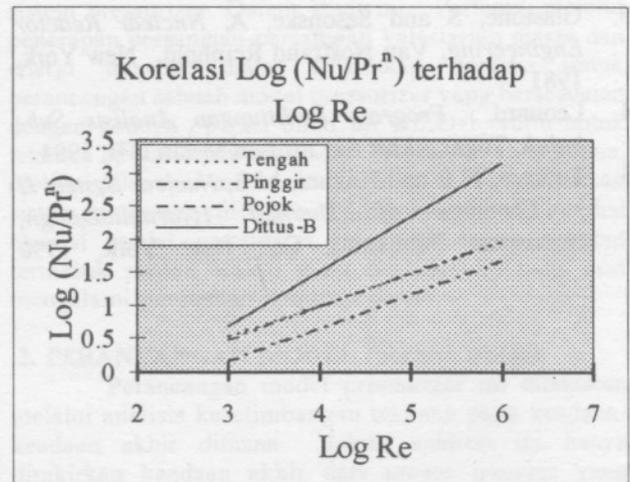
b. Untuk sub-buluh pinggir

$$Nu = 0,107 Pr^{0,13} \cdot Re^{0,49}$$

c. Untuk sub-buluh pojok

$$Nu = 0,046 Pr^{0,48} \cdot Re^{0,50}$$

Jadi korelasi yang ditunjukkan oleh Dittus-Boelter tidak dapat dipergunakan pada percobaan ini untuk menentukan koefisien perpindahan panas dari pipa uji ke fluida pendingin.



Gambar 7

Korelasi log (Nu/Pr^n) terhadap log R

6. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan perhitungan dengan mempergunakan program komputer didapatkan :

1. Distribusi temperatur sepanjang sub-buluh, untuk setiap sub-buluh mulai dari posisi (1) paling bawah sampai posisi (8) posisi paling atas mengalami kenaikan secara linier.
2. Temperatur fluida yang paling tinggi adalah pada sub-buluh pojok, sedikit mengalami penurunan pada sub-buluh pinggir kemudian turun lagi pada sub-buluh tengah. Hal ini teramati dengan jelas pada keluaran program komputer, tetapi hasil eksperimen menunjukkan distribusi temperatur pada sub-buluh tengah hampir sama dengan distribusi sub-buluh pinggir.
3. Kenaikan laju alir mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi temperatur secara linier untuk setiap sub-buluh. Hal ini dapat diamati dari percobaan 1 sampai percobaan 4, yaitu mulai dari laju aliran 1 liter/menit sampai 8 liter/menit.
4. Pada percobaan ini diperoleh korelasi antara bilangan Nusselt, bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl yang berbeda dengan yang ditunjukkan oleh korelasi Dittus-Boelter

7. Daftar Pustaka

1. Duderstadt J.J, and Hamilton L.J, *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1976
2. Todreas, N.E and Kazimi, M.S, *Nuclear System I - Thermal Hydraulic Fundamentals*, Hemisphere Publishing Co., New York, 1976
3. Glastone, S and Sesonske, A, *Nuclear Reactor Engineering*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1981
4. Leonard, *Program Perhitungan Analisis Sub-buluh*, Tugas Akhir S1, Jurusan Mesin ITB, 1994
5. Todreas, N.E and Kazimi, M.S, *Nuclear System II - Elements of Thermal Hydraulic Design*, Hemisphere Publishing Co., New York, 1990
6. A.Suwono, *Pendekatan Model Media Berpori Sub-buluh Dalam Analisis Termohidrolika Berkas Bahan Bakar Reaktor Nuklir*, Lab. Termohidrolika PAU-IR ITB, Lokakarya Termohidrolika, PPTKR-BATAN, serpong Januari 1994
7. A. Widi Harto, *Program Numerik untuk Mensimulasi Kondisi Saluran Pendingin Reaktor*, Lokakarya Termohidrolika Reaktor, PPTKR-BATAN, Serpong, 26-27 Januari 1994.
8. F. Kreith, *Principles of Heat Transfer*, 3rd Ed, Intext, Scranton, 1973
9. Holman, J.P, *Heat Transfer*, Macmillan Publishing Company, 4th ed, New York, 1989.
10. Chapman, A.J, *Heat Transfer*, Macmillan Publishing Company, New York, 1989
11. El Wakil, M, *Nuclear Heat Transfer*, Intext, Scranton, 1971
12. Ridwan M., dkk, *Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, BATAN, Jakarta, 1974
13. Tong L.S, and Weisman, J, *Thermal Analysis of Pressurized Water Reactor*, American Nuclear Society, Hinsdale, Ill, 1970
14. Sesonske, A, *Nuclear Power Plant Design Analysis*, United States Atomic Energy Commission, Oak Ridge, Tennessee, Nov. 1973
15. Weisman, J, and Bowring, R.W, *Nuclear Science Engineering*, 57, 1975
16. Kolev, N.I, *Universal Multicomponent Flow Models*, Nuclear Science Engineering, 108, 1991
17. Anonim, *Seminar on Thermal Hydraulics BATAN - NIRA*, Bandung 1984
18. Anonim, *Pentunjuk Pemakaian NILO 1*, 1984
19. Anonim, *Model PCL-789 PG, Enhance Multi-lab Card User*, The PC-Lab Cards User's Manual, 1988.
20. Anonim, *Model PCLD-789 Amplifier/Multiplexer Board*, The PC-Lab Cards