

## KOMISIONING INTEGRASI UNTAI UJI BETA (UUB) DENGAN BAGIAN UJI HEATING-02

Kiswanta, Edy Sumarno, Joko Prasetio W., Ainur Rosidi, GB. Heru K.  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) – BATAN  
E-mail : kiswanta-igos@batan.go.id

### ABSTRAK

**KOMISIONING INTEGRASI UNTAI UJI BETA (UUB) DENGAN BAGIAN UJI HEATING-02.** Telah dilakukan komisioning hasil integrasi Untai Uji BETA dengan HeaTiNG-02. Untai Uji BETA (UUB) merupakan fasilitas penelitian yang digunakan sebagai pendukung untuk eksperimen simulasi kecelakaan reaktor. Dalam rangka mendukung eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi pelat, UUB membutuhkan HeaTiNG-02 untuk bagian ujinnya. UUB diintegrasikan dengan HeaTiNG-02 bertujuan agar mampu digunakan untuk eksperimen perpindahan panas pada celah sempit dimensi pelat dengan variasi debit aliran dan suplai air pendingin yang tidak terbatas. Integrasi dilakukan dengan memodifikasi pemipaan baru sistem primer dan sekunder UUB, sistem instrumentasi dan sistem kelistrikan. Sedangkan komisioning dilakukan untuk menguji dan melakukan eksperimen sejauh mana hasil modifikasi dapat sesuai dengan desain yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan menghitung rugi-rugi tekanan dan laju alir pada kondisi dingin dan pemanasan dengan temperatur 40°C, 50°C dan 60°C. Hasil kegiatan modifikasi Untai Uji BETA terintegrasi dengan HeaTiNG-02 adalah masih dalam tahap komisioning dan eksperimen awal untuk menentukan karakteristiknya. Dari pengujian awal fasilitas ini mampu digunakan untuk eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi pelat dengan kondisi loop tertutup dengan kerugian total tekanan diperoleh formulasi  $\Delta P_{total} = -0,00663 + 89,1169 Q + 1,02.10^6 Q^2$  bar untuk kondisi dingin dan  $\Delta P_{total} = -0.00313 + 62.41545 Q + 1.025 \times 10^6 Q^2$  bar untuk kondisi panas.

Kata Kunci : Untai Uji BETA, HeaTiNG-02, integrasi

### ABSTRACT

**COMMISSIONING FOR INTEGRATION BETA TEST LOOP (UUB) WITH THE HEATING-02 TESTING BUNDLE.** Have performed commissioning for integration results BETA test loop with HeaTiNG-02. BETA test loop(UUB) is a research facility that is used as a support for the experimental reactor accident simulation. In order to support the experimental study of heat transfer in a narrow slit plate dimensions, requiring HeaTiNG-02 for part of the test. UUB integrated with HeaTiNG-02 aims to be able to be used for experiments on the heat transfer plates with narrow gap dimensions and flow rate variation cooling water supply is not unlimited. Integration is done by modifying the new piping system of primary and secondary of the UUB, instrumentation systems and electrical systems. While commissioning performed to test and experiment the extent to which the results can be modified according to the design that has been done. Testing is done by calculating the pressure loss and flow rate in cold and warm conditions with a temperature of 40°C, 50°C and 60°C. Test results of the modified BETA test loop integrated with HeaTiNG-02 is still in the commissioning phase and initial experiments to determine its characteristics. From the initial testing of this facility can be used to study heat transfer experiments on plates with narrow gap dimensions closed loop conditions with total pressure loss formulations obtained  $\Delta P_{total} = -0.00663 + 89.1169 + Q + Q^2$  1,02.106 bar for cold conditions and  $\Delta P_{total} = -0.00313 + 62.41545 + Q + Q^2$  1.025x106 bar for hot conditions.

Keywords : BETA Test Loop, HeaTiNG-02, integration

### PENDAHULUAN

Untai Uji BETA (UUB) merupakan fasilitas penelitian yang digunakan sebagai pendukung untuk eksperimen simulasi kecelakaan reaktor. Selama ini UUB digunakan untuk mensimulasikan kecelakaan yang disebabkan oleh kehilangan air pendingin (LOCA, Loss of Coolant Accident), khususnya fenomena termohidrolika selama peristiwa pasca LOCA (Post-LOCA)[1]. Selama ini parameter yang mendasari eksperimen hanya bergantung pada perubahan temperatur saja, sedangkan tekanan pada sistem UUB selalu dikondisikan pada tekanan atmosfer (untai terbuka). Parameter laju

aliran hanya ditentukan berdasarkan pencatatan waktu penenggelaman (*bottom reflooding*) bagian uji saja. Pengembangan fasilitas eksperimen untuk jenis kecelakaan parah (*SA, severe accident*) menjadi kegiatan yang direncanakan dalam pemahaman manajemen keselamatan nuklir, salah satunya dengan mengembangkan UUB menjadi fasilitas penunjang untuk simulasi kecelakaan *LOCA* dan *SA*[2].

Dalam rangka mendukung eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi pelat, UUB membutuhkan HeaTiNG-02 untuk bagian ujinya. UUB terintegrasi HeaTiNG-02 bertujuan agar mampu digunakan untuk eksperimen perpindahan panas pada celah sempit geometri pelat dengan variasi debit aliran dan suplai air pendingin yang tidak terbatas. Integrasi dilakukan dengan memodifikasi pemipaan baru sistem primer dan sekunder UUB, sistem instrumentasi dan sistem kelistrikan. Sedangkan komisioning dilakukan untuk menguji dan melakukan eksperimen sejauh mana hasil modifikasi dapat sesuai dengan desain yang telah dilakukan. Pengembangan dan eksperimen UUB dilakukan dalam rangka memahami proses perpindahan panas pada aliran dua fasa di dalam celah sempit mengingat fenomena ini merupakan salah satu kondisi yang dipostulatkan dalam skenario kecelakaan suatu PLTN tipe PWR[3].

## TEORI

### 1. Perubahan Tekanan Fluida pada Sistem Aliran

Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perbedaan ketinggian, perbedaan kecepatan aliran fluida akibat perubahan atau perbedaan penampang, dan gesekan fluida. Perubahan tekanan pada aliran tanpa gesekan dapat dianalisis dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan[4]. Dengan demikian perhatian utama dalam menganalisis kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan atau kerugian akibat gesekan ini dapat digolongkan menjadi 2, yaitu: kerugian mayor dan kerugian minor.

#### a. Kerugian tekanan mayor

Kerugian tekanan mayor adalah rugi tekanan akibat gesekan pada sistem aliran *tube* lurus[5] yang dapat dihitung dengan persamaan (1):

$$\Delta P_{\text{mayor}} = 2f \frac{l}{d} \rho v^2 \quad (1)$$

harga  $f$  merupakan faktor gesekan yang diperoleh dari korelasi H.Blasius, untuk aliran turbulen pada tabung dengan permukaan halus dengan jangkauan bilangan Reynolds tak terbatas[6,7], yang dapat dihitung dengan persamaan (2):

$$f = 0,079 \times R_e^{-0,25} \quad (2)$$

Untuk aliran laminer harga  $f$  didapat dari korelasi Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{16}{R_e} \quad (3)$$

#### b. Kerugian tekanan minor

Selain kerugian tekanan akibat gesekan pada sistem aliran tabung/pipa lurus, terjadi juga rugi tekanan akibat adanya belokan, pelebaran dan penyempitan penampang, sambungan-sambungan, katup, dan aksesoris lainnya. Kerugian minor akibat *fitting* dan katup dapat dituliskan dengan persamaan (4):

$$h_f = K_L \frac{v^2}{2} \quad (4)$$

dimana  $K_L$  adalah koefisien kehilangan pada *fitting* dan katup, yang sangat bergantung pada bentuk komponen *fitting* dan katup, tapi tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai dari bilangan Reynolds untuk jenis aliran dengan bilangan Reynolds yang besar. Harga-harga  $K_L$  ditunjukkan pada Tabel 1.

Kerugian tekanan minor berdasarkan koefisien kehilangan adalah:

$$\Delta P_{minor} = \rho \cdot K_L \cdot \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

Tabel 1. Harga-harga Koefisien kehilangan,  $K_L$ [8].

| Jenis <i>Fitting</i> dan katup      | Koefisien kehilangan, $K_L$ |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Elbow 90°</i>                    | 0,75                        |
| Katup Bola dengan <i>fully open</i> | 0,05                        |
| Pelebaran ( <i>Enlargement</i> )    | 1,00                        |
| Penyempitan ( <i>Contraction</i> )  | 0,50                        |
| <i>Tee</i>                          | 0,40                        |
| <i>Union</i>                        | 0,04                        |
| <i>Check valve, swing</i>           | 2,00                        |

### c. Kerugian tekanan total

Kerugian tekanan total adalah jumlah dari rugi tekanan yang terjadi akibat adanya *forced convection* (konveksi paksa) yang dihasilkan oleh pompa sirkulasi yang menyebabkan terjadinya gesekan fluida terhadap dinding tabung. Kerugian tekanan juga terjadi akibat adanya belokan-belokan maupun sambungan yang menyebabkan aliran air sedikit terhambat dan juga kerugian tekanan terjadi akibat adanya perbedaan luas penampang dari permukaan yang dilalui oleh air. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk menghitung kerugian tekanan (*pressure drop*) total yang terdapat pada *loop* UUB dapat digunakan persamaan (6):

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{major} + \Delta P_{minor} \quad \dots(6)$$

## 2. Debit aliran

Volume air yang mengalir pada saluran pipa dengan menghitung kecepatan rata-rata air yang melewati suatu luasan penampang, perhitungan debit aliran menggunakan persamaan (7):

$$Q = A \cdot v \quad (7)$$

## 3. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran fluida dapat dibedakan atas (1) kecepatan aliran dalam saluran, yaitu aliran yang dibatasi oleh permukaan-permukaan keras, dan (2) kecepatan aliran sekitar benda, yang dikelilingi oleh fluida yang selanjutnya tidak terbatas. Perbedaan demikian hanyalah untuk memudahkan peninjauan saja karena gejala dasar dan kelakuan fluida berlaku kepada kedua keadaan tersebut<sup>[8]</sup>. Kecepatan aliran melalui pipa dipilih untuk mewakili bentuk penampang lain karena secara garis besar dapat jumpai dalam aplikasi lapangan. Kecepatan aliran yang terjadi didalam pipa tertutup dihitung dengan menggunakan persamaan (8):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

#### 4. Sistem Pemipaan

Fungsi dari sistem pemipaan adalah sebagai sarana transportasi fluida, dimana fluida tersebut dialirkan dari suatu tempat ke tempat yang lainnya. Fluida yang melewati jalur pemipaan pada UUB adalah berupa air yang bertekanan dan bertemperatur cukup tinggi. Oleh karena itu, *tube* dan aksesoris *fitting* pada loop UUB menggunakan *Swagelock Connector* yang terbuat dari bahan *Stainless Steel grade 316* yang mampu beroperasi pada tekanan 760 bar dan pada temperatur 200°C.

#### TATA KERJA

##### Peralatan, Bahan dan Komponen yang digunakan :

Peralatan, bahan dan komponen yang digunakan adalah sesuai pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Bahan dan Komponen yang digunakan

| No. | Nama Peralatan/Bahan/Komponen                   | Banyaknya |
|-----|---|-----------|
| 1   | Untai Uji BETA                                  | 1 unit    |
| 2   | Bagian uji HeaTiNG-02                           | 1 unit    |
| 3   | Katup SS 1 inch                                 | 3 buah    |
| 4   | Male elbow dia. 1; 3/4 inch SS                  | 4 buah    |
| 5   | Union elbow dia. 1; 3/4 inch SS                 | 4 buah    |
| 6   | Union TEE dia. 1; 3/4 inch SS                   | 4 buah    |
| 7   | Union Cross dia. 1; 3/4 inch SS                 | 2 buah    |
| 8   | Male connector dia.3/4"-1" inch SS              | 2 buah    |
| 9   | Male connector dia.1"-1" inch SS                | 2 buah    |
| 10  | Katup SS 3/4 inch SS                            | 2 buah    |
| 11  | NPT female to Tube diameter 3/4 inch - 3/4 inch | 4 buah    |
| 12  | Check valve SS 316 ukuran 3/4 inch              | 1 buah    |
| 13  | Pipa SS 3/4 inchi                               | 2 batang  |
| 14  | Konektor Termokopel                             | 21 pcs    |
| 15  | Termokopel type K                               | 2 Roll    |
| 16  | Pressure Transducer 0 – 5 Bar                   | 2 buah    |
| 17  | Flowmeter                                       | 2 unit    |
| 18  | Sistem Akuisisi Data National Instruments       | 1 unit    |

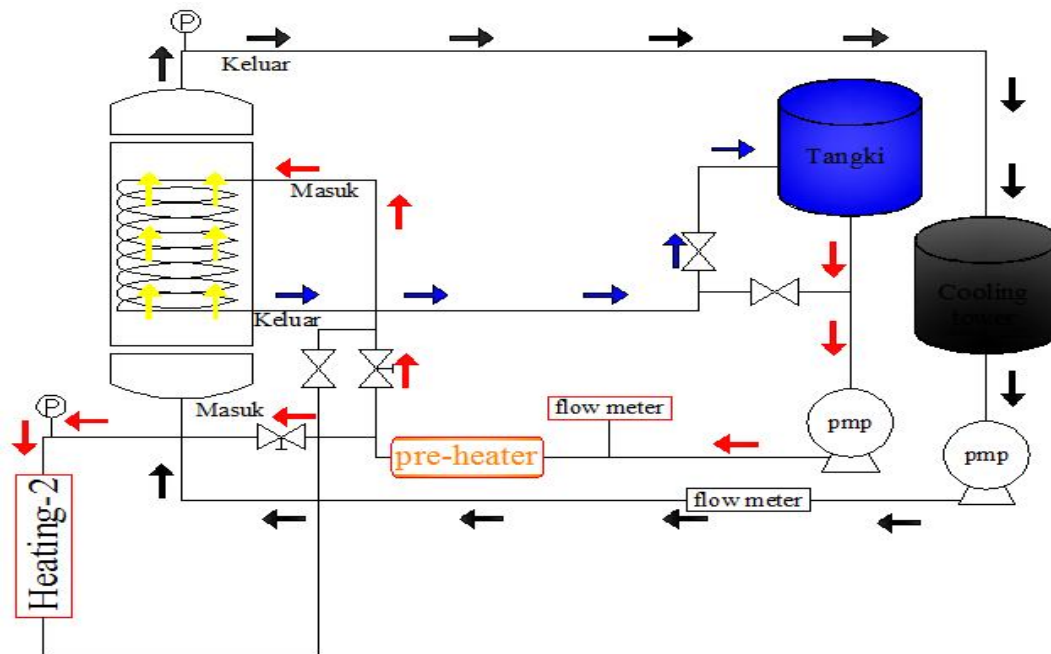
Dalam proses komisioning tersebut dilakukan kegiatan sbb:

- melakukan penghitungan tekanan, aliran dan kecepatan fluida yang akan mengalir melalui pemipaan hasil integrasi.
- Pengujian dan komisioning melalui eksperimen dengan kondisi dingin dan temperatur 40°C, 50°C dan 60°C.
- Pembuatan laporan dan evaluasi hasil kegiatan.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi Untai Uji BETA dengan HeaTiNG-02, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.





Gambar 1. Rancangan Integrasi Untai Uji BETA dengan HeaTiNG-02[9]

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa sistem pendingin primer terdiri dari bagian uji HeaTiNG-02, preheater, pompa primer dan bagian *tube* penukar kalor kompak. Titik-titik pengukuran temperatur, *flowrate*, tekanan dan perbedaan tekanan direkam dan ditampilkan dengan sistem akuisisi data dari *National Instruments*. Untuk membuat variasi aliran air pendingin digunakan pengaturan frekuensi pompa dengan *inverter kontroler*, katup, dan *solenoid valve* pada jalur pemipannya. Sistem pendingin sekunder dialirkan melalui bagian *shell* penukar kalor kompak menuju *cooler* yang terdiri dari pompa sekunder dan menara pendingin yang mempunyai kipas *blower* sebagai pendingin air sekunder.

Sedangkan HeaTiNG-02 merupakan bagian uji yang di dalamnya terdapat pelat utama dan pelat penutup, jarak antara pelat utama dan pelat penutup ditetapkan 1 mm. Pada pelat utama terpasang 3 buah termokopel tipe-K, dan pada pelat penutup terpasang 3 termokopel dengan tipe yang sama untuk mengukur perubahan temperatur yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan. Panjang area pelat yang dipanaskan adalah 700 mm. Bahan yang digunakan adalah *stainless steel SS316*. Studi perpindahan panas pendidihan pada celah sempit diarahkan pada pemahaman terhadap karakteristik pendinginan pada celah panas yang terbentuk antara debris dan dinding dalam bejana reaktor. Studi tersebut dilakukan dengan menggunakan alat eksperimen yang didesain untuk mensimulasikan pendinginan pada celah sempit, dengan temperatur awal batang panas hampir mencapai 900°C.

Proses integrasi dengan pemipaan baru dan modifikasi pemipaan Untai Uji BETA pada bagian pendingin primer dan sekunder meliputi: pada bagian primer dibuat pemipaan baru untuk menghubungkan plenum atas dan plenum bawah bagian uji HeaTiNG-02. Sedangkan pada sisi sekunder dilakukan modifikasi pemipaan dari bahan PVC menjadi *stainless steel* agar tahan terhadap temperatur 90°C - 95°C.

#### Perhitungan kecepatan aliran

Data geometri pada masing-masing penampang, dengan:

$$A_t = 0,000228 \text{ m}^2,$$

$$A_f = 0,000314 \text{ m}^2,$$

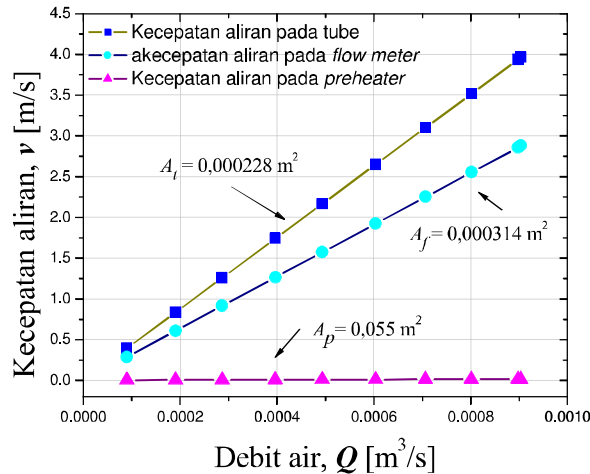
$$A_p = 0,055 \text{ m}^2.$$

Data tersebut dimasukkan ke persamaan (8) untuk menentukan kecepatan aliran di setiap penampang, maka diperoleh hasil :

$$v_t = \frac{Q_{fm}}{A_t} = \frac{0,000090}{0,000228} = 0,394 \text{ m/s.}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk menentukan kecepatan aliran di *flowmeter* dan *preheater* sehingga diperoleh  $v_{fm} = 0,286 \text{ m/s}$  dan  $v_p = 0,00163 \text{ m/s}$ .

Perhitungan dilakukan kembali untuk menentukan kecepatan aliran di setiap penampang yang sesuai dengan variasi debit aliran. Hasil perhitungan kecepatan aliran pada Tabel 4, kemudian disajikan dalam bentuk kurva hubungan antara debit air terhadap kecepatan aliran pada uji dingin seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Kurva hubungan antara debit air terhadap kecepatan aliran pada uji dingin

Gambar 2 menunjukkan, bahwa kenaikan kecepatan aliran sangat dipengaruhi diameter penampang yang dilalui oleh air, terlihat perbedaan yang menonjol yaitu kecepatan aliran pada *pre-heater* yang sangat kecil jika dibandingkan dengan kecepatan aliran pada *flowmeter* dan *tube*. Hal ini terjadi karena diameter *pre-heater* adalah yang paling besar yaitu 10 inchi (0,254 m) sementara diameter *flowmeter* adalah 1 inchi (0,0254 m) dan diameter *tube* adalah 3/4 inchi (0,01905 m). Maka dapat disimpulkan bahwa nilai luas penampang merupakan variabel yang paling dominan terhadap kecepatan aliran air.

Menentukan nilai bilangan Reynolds untuk masing-masing penampang, dimana massa jenis air,  $\rho$ , dan viskositas air,  $\mu$ , sedangkan nilai kecepatan aliran,  $v$ , diperoleh dari Tabel 4. Berdasarkan sifat fisik air pada temperatur 24°C, adalah:

$$\rho = 997,31 \text{ kg/m}^3,$$

$$\mu = 0,000909 \text{ kg/m.s.}$$

diameter pada masing-masing penampang, adalah:

$$d_t = 0,01705 \text{ m,}$$

$$d_f = 0,02 \text{ m,}$$

$$d_p = 0,26465 \text{ m.}$$

kecepatan aliran pada masing-masing penampang dengan  $Q = 0,000090 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

$$v_t = 0,394 \text{ m/s,}$$

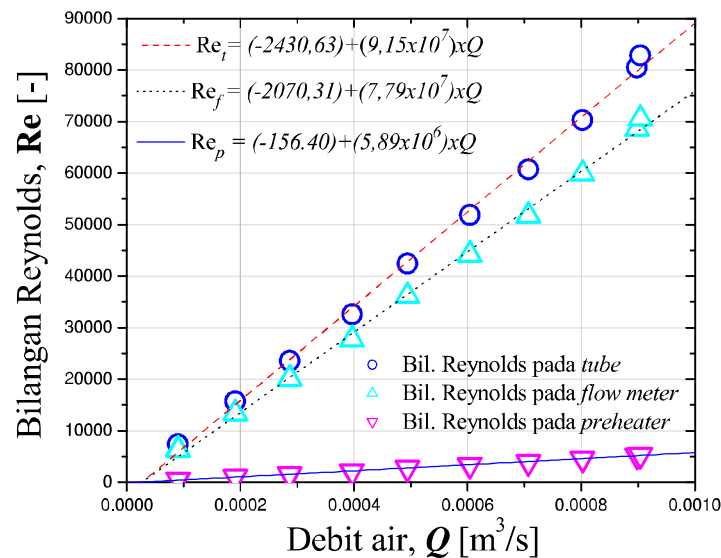
$$v_f = 0,286 \text{ m/s,}$$

$$v_p = 0,00163 \text{ m/s.}$$

data tersebut kemudian di masukkan ke dalam persamaan (2) untuk menentukan bilangan Reynolds di *tube*:

$$\begin{aligned} Re_t &= \frac{\rho \cdot v_t \cdot d}{\mu} \\ &= \frac{997,31 \cdot 0,394 \cdot 0,01705}{0,000909} \\ &= 7384,11. \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk menentukan bilangan Reynolds pada *flowmeter*,  $Re_f$  dan bilangan Reynolds pada *pre-heater*,  $Re_p$ , diperoleh  $Re_f = 6289,34$  dan  $Re_p = 475,13$ . Perhitungan dilakukan kembali untuk perbedaan debit air, sehingga diperoleh hubungan antara debit air dan bilangan Reynolds pada masing-masing luas penampang. Hubungan antara debit air dan bilangan Reynolds pada masing-masing penampang pada uji dingin ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva hubungan antara debit air terhadap bilangan Reynolds pada uji dingin

Gambar 3. menunjukkan, bahwa besarnya bilangan Reynolds dipengaruhi oleh kecepatan aliran, dalam hal ini debit. Kecepatan aliran pada *tube* lebih besar dari pada kecepatan aliran pada *flow meter* maupun pada *pre-heater*, oleh karena itu, bilangan Reynolds pada *tube* adalah yang terbesar jika dibandingkan dengan pada *flow meter* dan *pre-heater*. Bilangan Reynolds pada *pre-heater* dengan debit 0,000090 - 0,000397 m<sup>3</sup>/s (5-20 Hz) dapat dikategorikan sebagai aliran laminar karena nilainya adalah  $Re < 2300$ . Hal ini terjadi karena kecepatan aliran pada *pre-heater* yang rendah serta besarnya luas penampang dari *pre-heater* itu sendiri, yaitu 0,055 m<sup>2</sup>.

Berdasarkan plot pada kurva di Gambar 3, dapat ditarik garis secara linier untuk memperoleh persamaan garis disetiap titik untuk nilai bilangan Reynolds pada masing-masing penampang sebagai berikut:

- Korelasi linier untuk bilangan Reynolds pada *tube*:  
 $Re_t = (-2430,63) + (9,15 \cdot 10^7) Q$
- Korelasi linier untuk bilangan Reynolds pada *flowmeter*:

$$Re_f = (-2070,31) + (7,79 \cdot 10^7) Q$$

c. Korelasi linier untuk bilangan Reynolds pada *pre-heater*:

$$Re_p = (-156,40) + (5,89 \cdot 10^6) Q$$

Menentukan koefisien gesek untuk masing-masing penampang, dimana bilangan Reynolds diketahui. Koefisien gesek ditentukan berdasarkan nilai bilangan Reynolds, karena aliran pada *tube* dan *flowmeter* adalah turbulen, maka untuk menentukan koefisien gesek pada *tube* dan *flowmeter* dapat dihitung dengan persamaan (2). Perhitungan koefisien gesek,  $f$ , pada *tube* dengan  $Q = 0,000090 \text{ m}^3/\text{s}$ :

$$f = 0,079 R_e^{-0,25}$$

$$f_t = 0,079 \cdot (7384,11)^{-0,25}$$

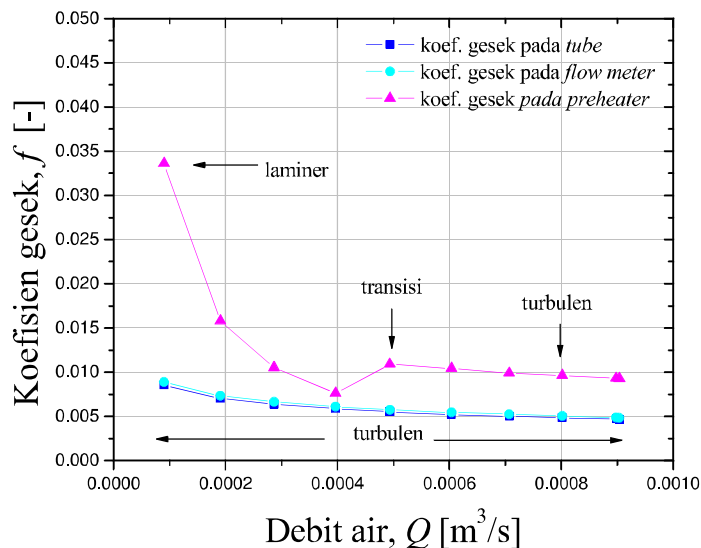
$$= 0,00852.$$

Perhitungan yang sama kemudian dilakukan kembali untuk menentukan koefisien gesek pada *flowmeter*, sehingga diperoleh  $f_f = 0,00887$ . Aliran pada *pre-heater* untuk frekuensi 5-20 Hz atau pada debit  $0,000090 \text{ m}^3/\text{s} - 0,000397 \text{ m}^3/\text{s}$  dikategorikan sebagai aliran laminar, maka untuk menentukan nilai koefisien gesek pada *pre-heater* dapat dihitung dengan persamaan (3). Perhitungan koefisien gesek pada *pre-heater* dengan  $Q = 0,000090 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

$$f_p = \frac{16}{475,13}$$

$$= 0,0336.$$

Perhitungan yang sama kemudian dilakukan kembali untuk menentukan koefisien gesek pada masing-masing penampang dengan debit air yang berbeda sehingga diperoleh hubungan antara debit dan koefisien gesek. Berdasarkan hasil perhitungan debit air terhadap koefisien gesek di setiap luas penampang pada uji dingin diperoleh kurva hubungan antara debit air terhadap koefisien gesek pada uji dingin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva hubungan antara debit air terhadap koefisien gesek pada uji dingin

Gambar 4 menunjukkan, bahwa semakin besar debit air maka gesekan air terhadap dinding *tube* akan semakin kecil, mengacu pada kecepatan aliran yang merupakan fungsi variabel dari debit air. Semakin rendah kecepatan aliran maka semakin besar nilai dari koefisien gesek.

Menentukan kerugian tekanan mayor yang terjadi pada *tube* lurus berdasarkan panjang dan luasan penampang, kemudian menentukan nilai kerugian tekanan minor akibat belokan, sambungan serta aksesoris lainnya dimana nilai dari koefisien kehilangan,  $K_L$ , diketahui berdasarkan Tabel 1. Perhitungan rugi tekanan pada *tube* lurus sepanjang 0.095 m, dapat dihitung dengan persamaan (1):

$$\Delta P_{\text{mayor}} = 2f \cdot \rho \cdot v^2 \frac{l}{d_t}$$

$$\Delta P_{\text{mayor}} = 2 \cdot 0,00852 \cdot 997,31 \cdot 0,394^2 \left( \frac{0,095}{0,01705} \right)$$

$$= 14,75 \text{ Pascal.}$$

Perhitungan yang sama dilakukan kembali untuk menghitung rugi tekanan pada *tube* lurus dengan panjang yang berbeda dan juga berdasarkan penampang *flowmeter* dan *pre-heater*. Nilai panjang *tube* lurus berdasarkan luas penampang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai panjang tube lurus berdasarkan luas penampang

| No. | Luasan Penampang  | Panjang [m] |
|-----|-------------------|-------------|
| 1   | <i>Tube</i>       | 0,095       |
|     |                   | 0,420       |
|     |                   | 0,075       |
|     |                   | 0,305       |
|     |                   | 0,130       |
|     |                   | 0,315       |
|     |                   | 0,330       |
|     |                   | 1,065       |
| 2   | <i>Flow meter</i> | 0,250       |
| 3   | <i>Preheater</i>  | 0,800       |

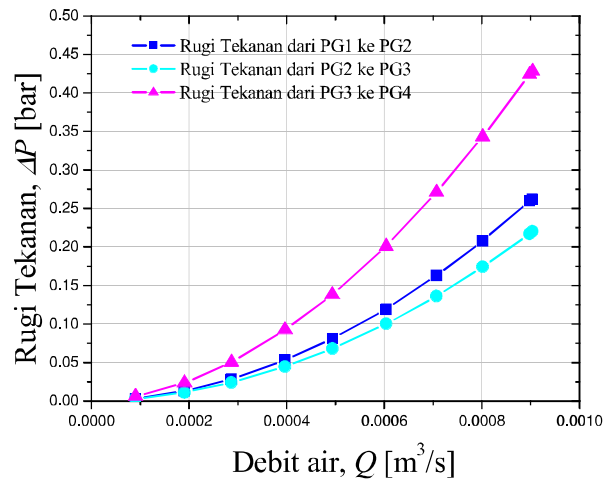
Perhitungan rugi tekanan minor akibat aksesoris *fitting* dan katup dapat dihitung dengan persamaan (5). Perhitungan untuk menentukan rugi tekanan minor akibat belokan *elbow* 90° pada debit 0,00009 m<sup>3</sup>/s pada uji dingin, berdasarkan tabel 1 harga  $K_L$  diperoleh,  $K_{\text{elbow}} = 0,75$ , maka:

$$\Delta P_{\text{minor}} = \rho K_L \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{minor}} = 997,31 \cdot 0,75 \left( \frac{0,394^2}{2} \right)$$

$$= 58,27 \text{ Pascal.}$$

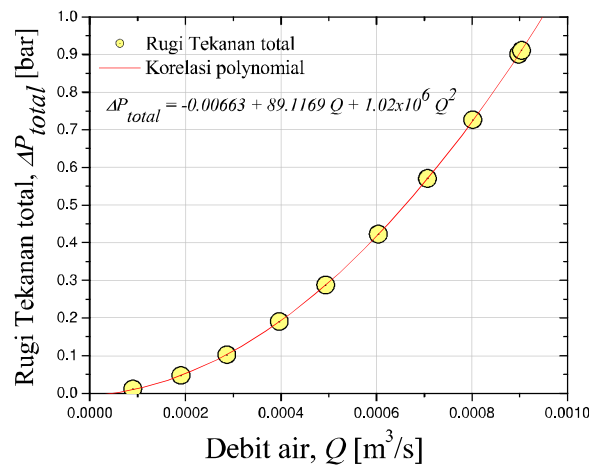
Perhitungan yang sama kemudian dilakukan kembali dengan harga  $K_L$  berbeda berdasarkan Tabel 1 lalu hasil dari perhitungan rugi tekanan mayor dan rugi tekanan minor dijumlahkan. Hasil perhitungan rugi tekanan dengan satuan Pascal kemudian dikonversikan menjadi satuan bar, sehingga didapatkan nilai dari rugi tekanan total berdasarkan luas penampang. Hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan berdasarkan jarak antar *pressure gauge* pada uji dingin ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Kurva hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan pada uji dingin

Gambar 5 menunjukkan, bahwa semakin tinggi debit air, maka semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan terbesar terjadi pada debit 0,000904  $m^3/s$ , hal ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran air mempengaruhi besarnya rugi tekanan yang terjadi. Lonjakan tertinggi adalah dimulai pada debit 0,000494  $m^3/s$  mengingat kecepatan aliran yang terjadi mulai tinggi. Rugi tekanan tertinggi terjadi pada jarak PG3 ke PG4 yang ditunjukkan oleh titik segitiga atau garis berwarna ungu, hal ini disebabkan oleh jarak yang di tempuh oleh air adalah yang terjauh dan juga dipengaruhi oleh banyaknya jumlah *fitting* dan katup dibandingkan dengan jarak dari PG1 ke PG2 dan dari PG2 ke PG3.

Berikut ini adalah kurva hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan total yang terjadi sepanjang pemasangan *pressure gauge* (PG) pada uji dingin, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

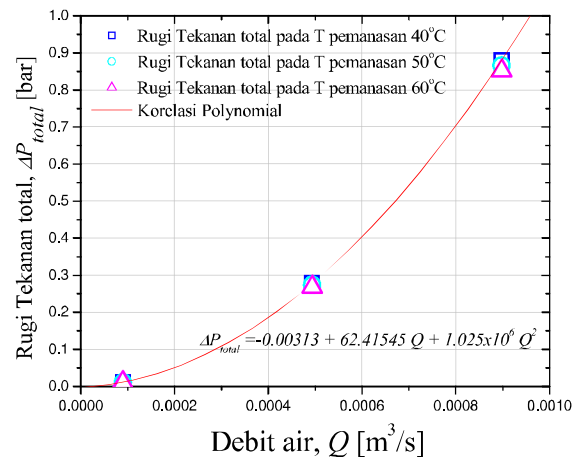


Gambar 6. Kurva hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan total disepanjang posisi pemasangan *pressure gauge* pada uji dingin

Gambar 6 menunjukkan rugi tekanan total yang terjadi di sepanjang posisi pemasangan *pressure gauge* pada uji dingin, dimana terlihat bahwa rugi tekanan terus meningkat seiring dengan meningkatnya debit air. Data dari kurva pada Gambar 6, kemudian ditarik garis secara polynomial untuk mendapatkan persamaan garis rugi tekanan total yang terjadi. Korelasi polynomialnya, adalah:

$$\Delta P_{total} = -0,00663 + 89,1169 Q + 1,02.10^6 Q^2 \text{ bar.}$$

Berikut ini adalah kurva hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan total yang terjadi di sepanjang posisi pemasangan *pressure gauge* (PG) pada UUB berdasarkan hasil pemanasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva hubungan antara debit air terhadap rugi tekanan total di sepanjang posisi pemasangan *pressure gauge* pada kondisi panas.

Gambar 7 menunjukkan rugi tekanan total yang terjadi di sepanjang posisi pemasangan *pressure gauge* hanya menurun sedikit pada setiap kenaikan temperatur, hal ini menunjukkan bahwa temperatur tidak terlalu mempengaruhi rugi tekanan. Semakin besar nilai debit air, maka semakin besar pula rugi tekanan yang terjadi. Hal tersebut menunjukkan, bahwa beda tekanan terjadi akibat adanya *forced convection* (konveksi paksa) yang dihasilkan oleh pompa, sehingga kecepatan aliran yang semakin tinggi menyebabkan intensitas gesekan air terhadap dinding *tube* maupun gesekan dengan belokan, dan aksesoris *fitting* lainnya semakin tinggi pula. Data dari kurva di atas kemudian ditarik garis secara polynomial untuk mendapatkan korelasi antara debit air dan rugi tekanan total yang terjadi. Korelasi polynomialnya, adalah:

$$\Delta P_{total} = -0.00313 + 62.41545 Q + 1.025 \times 10^6 Q^2 \text{ bar.}$$

## KESIMPULAN

Kegiatan modifikasi Untai Uji BETA terintegrasi dengan HeaTiNG-02 adalah masih dalam tahap komisioning dan eksperimen awal untuk menentukan karakteristiknya. Dari pengujian awal fasilitas ini mampu digunakan untuk eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi pelat dengan kondisi loop tertutup dengan kerugian total tekanan diperoleh formulasi  $\Delta P_{total} = -0,00663 + 89,1169 Q + 1,02.10^6 Q^2$  bar untuk kondisi dingin dan  $\Delta P_{total} = -0.00313 + 62.41545 Q + 1.025 \times 10^6 Q^2$  bar untuk kondisi panas.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada rekan-rekan personil BOFa dan Tim KPTF yang telah membantu dalam penyusunan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Juarsa, Mulya dkk., Laporan Analisis Keselamatan Eksperimen Post-LOCA menggunakan bagian uji QUEEN-II, PTRKN BATAN, Serpong, 2007.

2. Handono Khairul dkk., Simulasi Fenomena LOCA di Teras Reaktor melalui Pemodelan Eksperimental (II), Rancang Bangun Untai Uji BETA, Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir V, Serpong, 2000.
3. JUARSA, M. dkk., Penelitian Eksperimental Perpindahan Panas pada Celah Sempit Anulus: Konstruksi dan Pengujian Alat, Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah 10:2, Desember (2007).
4. FRANK KREITH dan ARKO PRIJONO M.Sc. "Prinsip Prinsip Perpindahan Panas", Edisi ketiga, ERLANGGA, 1986.
5. Moran, Michael J., Howard N. Shapiro, Bruce r. Munson, David P. Dewitt, Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics and Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc., USA 2003
6. Perry, Robert H., Don W. Green, Perry's Chemical Engineers Handbook 7<sup>th</sup> Edition, 2006.
7. King, RP., Introduction to Practical Fluid Flow, Butterworth-Heinemann, Burlington, GBR, 2002.
8. Douglas J. F, Gasiorek J.M, Swaffield J.A, "Fluid Mechanics second edition", Longman Singapore Publishers Pte Ltd, Singapore, 1985.
9. Joko PW., "Modifikasi Sistem Pemipaan Untai Uji BETA (UUB) untuk eksperimen perpindahan kalor pada aliran fasa tunggal dan dua fasa," Laporan Triwulan I, PTRKN, 2013.

#### **DISKUSI/ TANYA JAWAB :**

PERTANYAAN : (Djoko Hari Nugroho, PRPN-BATAN)

- Bagaimanakah performansi UUB uji heating 02 antara desain dan hasil komisioning ?

JAWABAN : (Kiswanta, PTRKN-BATAN)

- Performansi UUB terintegrasi bagian uji heating 02 antara desain dan hasil komisioning masih harus dikembangkan mengingat temperatur komisioning masih rendah yaitu 40, 50, 60 °C sementara temperatur operasi direncanakan hingga 800 °C. Perbaikan pemipaan terutama pada bagian masukan-keluaran bagian uji yang mengalami kerugian tekanan terlalu besar harus segera dilakukan.