

RANCANGAN INTEGRASI UNTAI UJI BETA DENGAN HEATING-02

Kiswanta, Edy Sumarno, Joko Prasetyo W., Ainur Rosidi
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN

ABSTRAK

RANCANGAN INTEGRASI UNTAI UJI BETA DENGAN HEATING-02. Telah dilakukan perancangan 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 plat, UUB membutuhkan HeaTiNG-02 untuk bagian ujinya. UUB diinterintegrasi dengan HeaTiNG-02 bertujuan agar mampu digunakan untuk eksperimen perpindahan panas pada celah sempit dimensi plat dengan variasi debit aliran dan suplai air pendingin yang tidak terbatas. Integrasi dilakukan dengan memodifikasi pemipaan baru sistem primer dan sekunder UUB. 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. Hasil rancangan Untai Uji BETA terintegrasi dengan HeaTiNG-02 adalah masih dalam tahap perencanaan desain sehingga belum dikonstruksi. Dari desain mengindikasikan bahwa mampu difabrikasi dan digunakan untuk eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi plat dengan kondisi loop tertutup sehingga variasi debit aliran pendingin yang tidak terbatas.

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

ABSTRACT

BETA TEST LOOP DESIGN INTEGRATION WITH HEATING-02. Has done the designed integration 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 gap for plate dimensions, UUB was required HeaTiNG-02 for the testing unit. UUB integrated HeaTiNG-02 aims to be able to be used for heat transfer experiments in the narrow gap dimensions of the plate with a variety of flow and cooling water supply is limited. Integration is done by modifying the new piping system of primary and secondary UUB. Development and experimentation UUB done in order to understand the process of heat transfer in two-phase flow in a narrow gap considering this phenomenon is one of the conditions postulated accident scenarios of a PWR type NPP. The results design of integrated BETA Test Loop with HeaTiNG-02 is still in the planning stages so that the design has not been constructed. From design to indicate that capable fabricated and used for experimental study of heat transfer in the narrow gap dimensions plat with the condition that the closed-loop cooling flow variations are not restricted.

Keywords : BETA Test Loop, HeaTiNG-02, integration

ENDAHULUAN

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 refueling*) 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 plat, UUB membutuhkan HeaTiNG-02 untuk bagian ujinya. UUB terintegrasi HeaTiNG-02 bertujuan agar mampu digunakan untuk eksperimen perpindahan panas pada celah sempit dimensi plat dengan variasi debit aliran dan suplai air pendingin yang tidak terbatas. Integrasi dilakukan dengan

memodifikasi pemipaan baru sistem primer dan sekunder UUB. 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

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.

Kerugian tekanan mayor

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

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

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):

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

Untuk aliran laminar harga f didapat dari korelasi Hagen-Poiseuille:

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

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):

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

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:

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

Tabel 1. Harga-harga Koefisien kehilangan, K_L ^[7].

| Jenis <i>Fitting</i> dan katup | Koefisien kehilangan, K_L |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Elbow 90° | 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 |

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):

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

Pengaruh temperatur terhadap kerapatan air

Berat jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Air murni bermassa jenis 1 g/cm³ atau 1000 kg/m³. Berat jenis tidak memiliki dimensi. Suhu menunjukkan derajat panas benda, semakin tinggi temperatur suatu benda maka semakin panas benda tersebut.

Massa jenis suatu benda akan bertambah ketika benda tersebut menyusut (volume benda berkurang). Sebaliknya, massa jenis benda akan berkurang ketika benda memuai (volume benda bertambah).

Kenaikan temperatur cenderung akan menurunkan densitas fluida. Jika fluida berada dalam ruang tertutup pada volume konstan, efek dari perubahan temperatur akan bergantung pada apakah fluida dapat dimampatkan (*compressible*). Jika fluida adalah fluida *incompressible* dalam ruang tertutup, kenaikan/meningkatnya temperatur akan mengakibatkan potensi bahaya yang lebih besar. Ketika temperatur fluida meningkat, fluida akan mencoba untuk meluas/memperbesar volumenya, tetapi perluasan tersebut di cegah oleh dinding ruang. Karena fluida tersebut *incompressible*, ini menyebabkan peningkatan yang luar biasa pada tekanan untuk perubahan temperatur yang relative kecil. Perubahan volume spesifik untuk menentukan perubahan pada temperatur adalah tidak sama pada temperatur awal, maka perubahan resultan tekanan akan bervariasi. Tabel sifat fisik air berdasarkan perbedaan temperatur (°C) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Sifat fisik air berdasarkan perbedaan temperatur (°C) [9].

| Temperatur (°C) | Kerapatan ρ [kg/m ³] | Viskositas Dinamis μ [kg/m.s] | Viskositas Kinematis ν [m ² /s] |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 0 | 999,87 | 0,001787 | 0,000001787 |
| 1 | 999,93 | 0,001728 | 0,000001728 |
| 2 | 999,97 | 0,001671 | 0,000001671 |
| 3 | 999,99 | 0,001618 | 0,000001618 |
| 4 | 1000 | 0,001567 | 0,000001567 |
| 5 | 999,99 | 0,001519 | 0,000001519 |
| 6 | 999,97 | 0,001472 | 0,000001472 |
| 8 | 999,88 | 0,001386 | 0,000001386 |
| 10 | 999,73 | 0,001307 | 0,000001307 |
| 12 | 999,52 | 0,001234 | 0,000001235 |
| 14 | 999,27 | 0,001168 | 0,000001169 |
| 16 | 998,97 | 0,001108 | 0,000001109 |
| 18 | 998,62 | 0,001052 | 0,000001052 |
| 20 | 998,23 | 0,001000 | 0,000001002 |
| 25 | 997,08 | 0,000887 | 0,000000890 |
| 30 | 995,68 | 0,000795 | 0,000000798 |
| 35 | 994,06 | 0,000715 | 0,000000719 |
| 40 | 992,25 | 0,000648 | 0,000000653 |
| 45 | 990,25 | 0,000590 | 0,000000596 |
| 50 | 988,07 | 0,000540 | 0,000000547 |
| 60 | 983,24 | 0,000459 | 0,000000467 |
| 70 | 997,81 | 0,000395 | 0,000000404 |
| 80 | 971,83 | 0,000345 | 0,000000355 |
| 90 | 965,34 | 0,000304 | 0,000000315 |
| 100 | 958,38 | 0,000270 | 0,000000282 |

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):

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

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^[9]. Kecepatan aliran melalui pipa dipilih untuk mewakili bentuk penampang lain karena dilapangan secara garis besar dapat jumpai dalam aplikasi lapangan. Kecepatan aliran yang terjadi didalam pipa tertutup dihitung dengan menggunakan persamaan (8):

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

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.

Pipa

Perhitungan pemilihan ketebalan pipa tidak dapat dilakukan secara sembarangan, tetapi harus berdasarkan kriteria cukup, aman, dan ketersediaan di pasaran. Perhitungan ketebalan pipa menggunakan persamaan (9):

$$P = \frac{(2xSxd)}{((D_{OD} - 2d)xSf)} \dots\dots(9)$$

Kekuatan pada pipa perlu diperhatikan untuk menjaga tekanan yang terjadi didalam pipa, untuk menghitung kekuatan tegangan dalam pada pipa menggunakan persamaan (10):

$$\sigma_t = p_i \frac{b^2+a^2}{b^2-a^2} \dots\dots(10)$$

Tube

Dimensi nominal *tube* didasarkan pada diameter luar. Diameter dalam *tube* akan tergantung pada ketebalan *tube*. Ketebalan sering ditetapkan sebagai alat ukur. Jika kita melihat *tube* tembaga - ASTM B88 ketebalan dinding 0,083 inchi dari 2 inchi pipa gauge 14. Toleransi yang lebih tinggi dengan *tube* dibandingkan dengan pipa dan *tube* seringkali lebih mahal dari pada pipa.

PERANCANGAN SISTEM INTEGRASI

Dalam perancangan tersebut dilakukan kegiatan sebagai berikut:

1. Menggambar desain rancangan integrasi Untai Uji BETA dengan HeaTiNG-02 menggunakan Autocad.
2. Menghitung keperluan bahan dan komponen
3. Mengevaluasi persyaratan teknis dan rencana pengerjaan konstruksi
4. Kegiatan tersebut masih dalam tahap perancangan sehingga belum dikonstruksi dan diuji coba. Evaluasi dilakukan dengan melakukan perhitungan bahan dan komponen serta aliran dan kecepatan fluida yang akan mengalir melalui pemipaan tersebut.

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

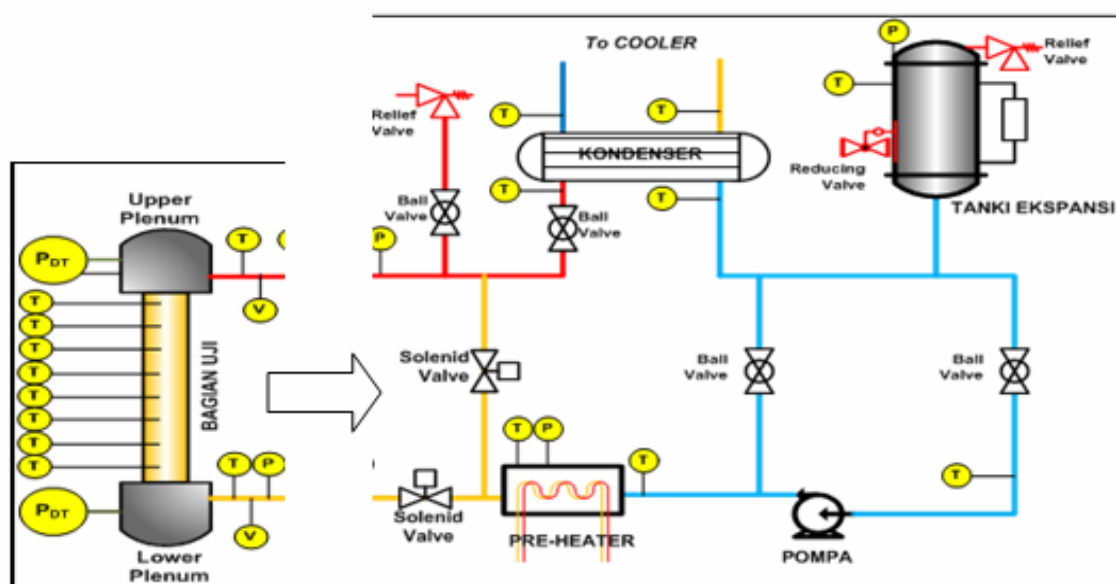
Keterangan :

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| P | : Pressure Transmitter |
| P _{DT} | : Differential Pressure Transducer |
| Kondenser | : Akan diganti Penukar Kalor Kompak |
| V | : Flow Meter |
| T | : Termocouples |

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa sistem pendingin primer terdiri dari bagian uji HeaTiNG-02, Preheater, Pompa Primer, bagian *tube* Penukar kalor kompak dan Tangki Ekspansi. Titik-titik pengukuran temperatur, flowrate, tekanan dan perbedaan tekanan direkam dan ditampilkan dengan sistem akuisisi data berupa Omega DaqScan 2005. Untuk membuat variasi aliran air pendingin digunakan pengaturan frekuensi pompa dengan inverter kontroler, katup, dan solenoid valve pada jalur pemipannya. Sedangkan sistem pendingin sekunder dialirkan melalui bagian *shell* Penukar Kalor Kompak menuju Cooler yang terdiri dari pompa sekunder dan

ECWS (*Equipment Cooling Water System*) yang mempunyai kipas blower sebagai pendingin air sekunder.

Sedangkan HeaTiNG-02 merupakan bagian uji yang di dalamnya terdapat plat utama dan plat penutup, jarak antara plat utama dan plat penutup ditetapkan 1 mm. Pada plat utama terpasang 3 buah termokopel tipe-K, dan pada plat penutup terpasang 3 termokopel dengan tipe yang sama untuk mengukur perubahan temperatur yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan. Panjang area plat 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.



Gambar 1. Rancangan Integrasi Untai Uji BETA dengan HeaTiNG-02^[10]

HASIL DAN PEMBAHASAN







Rancangan 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.

Pada Gambar 1 di atas, Bagian Uji HeaTiNG-02 dihubungkan dengan sistem pendingin

primer Untai Uji BETA melalui inlet bagian atas dan outlet bagian bawah (*upper flooding* atau sebaliknya). Sedangkan pada sisi sekunder Penukar Kalor Kompak dihubungkan dengan *cooling tower* dengan sirkulasi air pendingin yang dapat divariasikan kecepatan laju alirnya menggunakan inverter pompa.

Sistem penyambungan *tube* yang digunakan pada UUB dengan menggunakan *Swagelock Connector*. Jenis sambungan pada UUB dan fungsinya seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis sambungan pada UUB dan fungsinya

| No | Jenis sambungan | Gambar | Fungsi |
|----|-----------------|---|---|
| 1 | <i>Elbow</i> |  | Menyambung 2 <i>tube</i> dan merubah arah aliran dengan membentuk sudut 90° |
| 2 | <i>Tee</i> |  | Menyambung percabangan 3 <i>tube</i> |
| 3 | <i>Cross</i> |  | Menyambung percabangan 4 <i>tube</i> |
| 4 | <i>Union</i> |  | Menyambung 2 <i>tube</i> yang berdiameter sama |
| 5 | Kontra mur |  | Menyambung 2 <i>tube</i> untuk mempermudah bongkar pasang instalasi alat uji |
| 6. | Katup |  | Mengontrol aliran fluida atau menghentikan aliran fluida. Jenis Katup yang digunakan pada UUB adalah jenis katup bola (<i>ball valve</i>) |

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 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan bahan dan komponen meliputi pipa, katup, elbow dan sebagainya sesuai standard ASTM B88 dapat ditunjukkan pada Tabel 5. berikut :

Tabel 4. Perhitungan kecepatan aliran air terhadap laju alir dan penampang

| No | Q [m ³ /s] | Kecepatan aliran air [m/s] | | |
|----|-----------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| | | v _t | v _{fm} | v _p |
| 1 | 0,000090 | 0,394 | 0,286 | 0,00163 |
| 2 | 0,000191 | 0,837 | 0,608 | 0,00347 |
| 3 | 0,000287 | 1,258 | 0,914 | 0,00521 |
| 4 | 0,000397 | 1,741 | 1,264 | 0,00722 |
| 5 | 0,000494 | 2,166 | 1,573 | 0,00898 |
| 6 | 0,000604 | 2,649 | 1,923 | 0,01100 |
| 7 | 0,000707 | 3,101 | 2,251 | 0,01285 |
| 8 | 0,000802 | 3,517 | 2,554 | 0,01462 |
| 9 | 0,000898 | 3,938 | 2,860 | 0,01632 |
| 10 | 0,000904 | 3,965 | 2,880 | 0,01643 |

Tabel 5. Daftar Perhitungan Bahan dan Komponen untuk Pabrikasi

| No | Nama Bahan/Komponen | Banyaknya |
|----|---|-----------|
| 1 | Pipa SS-304 1 inchi | 4 batang |
| 2 | Pipa SS-304 ¾ inchi | 2 batang |
| 3 | Katup SS 1 inch | 3 buah |
| 4 | Male elbow dia. 1; ¾ inch SS | 4 buah |
| 5 | Union elbow dia. 1; ¾ inch SS | 4 buah |
| 6 | Union TEE dia. 1; ¾ inch SS | 4 buah |
| 7 | Union Cross dia. 1; ¾ inch SS | 2 buah |
| 8 | Male connector dia.3/4"-1" SS | 2 buah |
| 9 | Male connector dia.1"-1" SS | 2 buah |
| 10 | Katup SS 3/4 inch | 2 buah |
| 11 | NPT female to Tube diameter 3/4 inch - 3/4 inch | 4 buah |
| 12 | Check valve SS 316 ukuran ¾ inchi | 1 buah |
| 13 | Plat Kuarsa 500 x 80 x 4 mm | 2 buah |
| 14 | Konektor Termokopel | 21 pcs |
| 15 | Termokopel type K | 2 Roll |

KESIMPULAN

Hasil rancangan Untai Uji BETA terintegrasi dengan HeaTiNG-02 adalah masih dalam tahap perencanaan desain sehingga belum dikonstruksi. Dari desain mengindikasikan bahwa mampu difabrikasi dan digunakan untuk eksperimen studi perpindahan panas pada celah sempit dimensi plat dengan kondisi loop tertutup sehingga variasi debit aliran pendingin yang tidak terbatas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Ka. PTRKN selaku penanggung jawab kegiatan TA. 2012 dan 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 7th Edition, 2006.
7. King, RP., Introduction to Practical Fluid Flow, Butterworth-Heinemann, Burlington, GBR, 2002.
8. Michael J. Moran, 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.
9. Douglas J. F, Gasiorek J.M, Swaffield J.A, "Fluid Mechanics second edition", Longman Singapore Publishers Pte Ltd, Singapore, 1985.
10. IGN. Bagus Catrawedarma, dkk., Analisis Pengaruh Temperatur Awal Plat Terhadap Karakteristik Rewtting Dalam Celah Sempit Vertikal Untuk Kasus Bilateral Heating, Prosiding Seminar P3N – PTAPB, Yogyakarta, 2011.