

## PERANCANGAN MODEL SISTEM PENDINGINAN PADA SUNGKUP AP1000

Daddy Setyawan<sup>1</sup>, Yerri Noer Kartiko<sup>1</sup>, Aryadi Suwono<sup>1</sup>, Ari Darmawan Pasek<sup>1</sup>,  
Nathanael P. Tandian<sup>1</sup>, Efrizon Umar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara – ITB

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN

Email: d.setyawan@bapeten.go.id

### ABSTRAK

**PERANCANGAN MODEL SISTEM PENDINGINAN PADA SUNGKUP AP1000.** Kebijakan energi nasional yang mengarah pada pemanfaatan energi baru seperti energi nuklir, sudah tentu juga mencakup usaha-usaha dalam peningkatan keselamatan reaktor dan optimalisasi dalam perancangan komponen sistem keselamatannya seperti sistem pendinginan pasif pada tangki penungkup reaktor (passive containment cooling system). Kenyataan ini mengakibatkan perlu dilakukan kajian tentang tingkat keselamatan dari sistem keselamatan pasif pada sungkup AP1000. Untuk meningkatkan pemahaman tentang hal ini maka dilakukan perancangan model sistem pendinginan pada sungkup AP1000 dengan tujuan akhir akan diperoleh kajian tingkat keselamatan pada sistem pendinginan yang terjadi pada sungkup tersebut. Agar mendapatkan model yang sesuai dengan kondisi riil dan biaya yang relatif murah maka perlu dilakukan kajian uji bilangan tuna-dimensi dan similaritas. Dengan melakukan pendekatan perpindahan panas secara alamiah menggunakan udara dan sistem pendinginan dengan menggunakan semburan air karena gaya gravitasi maka masing-masing dapat didekati dengan bilangan Grashof termodifikasi untuk fluks konstan ( $Gr^*$ ) dan bilangan Reynold ( $Re$ ). Dari pendekatan kedua bilangan tuna-dimensi ini serta tetap memperhatikan keserupaannya maka diperoleh model laboratorium dengan skala 1:40. Menggunakan model ini diharapkan dapat diperoleh korelasi karakteristik perpindahan panas pada sungkup AP1000, baik dengan udara yang bersirkulasi secara alamiah maupun dengan semburan air karena gaya gravitasi. Diharapkan, berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilakukan penilaian terhadap tingkat keselamatan dari sistem pendinginan secara pasif yang ada pada sungkup AP 1000.

**Kata kunci:** sungkup AP1000, bilangan tuna-dimensi, similaritas, bilangan Grashof, bilangan Reynold

### ABSTRACT

**THE DESIGN OF COOLING SYSTEM MODEL ON THE AP1000 CONTAINMENT.** The policy of national energy leads to the utilization of new energy as nuclear energy, and also contains some efforts to increase reactor safety and optimizing in the design of safety system component such as passive cooling system on reactor containment tank. Because of this, the assessment of safety level to passive safety system needs to be made. To increase the understanding it, the design of cooling system model on containment tank should be done to get safety level on cooling system in the AP1000 containment. To reach the similar model with reality and inexpensive cost, we should make assessment about similarity and dimensionless number. While the heat transfer of air natural circulation and water spray cooling system are a result of gravity approach, we can calculate Grashof modification number and Reynolds number respectively. By this approach, we have a factor of forty for laboratory model. From this model, we hope that we get characteristic correlation to heat transfer on the containment of AP1000 for both air natural circulation and water spray result from gravity. Finally, we can assess the safety level of passive cooling system on the AP1000 containment.

**Key words:** the containment of AP1000, dimensionless number, similarity, Grashof number, Reynold number

## 1. PENDAHULUAN

Dalam menghadapi krisis energi ini, pemerintah telah mengubah kebijakan energi nasional yang awalnya berbasis pada sumber daya alam menjadi berbasis teknologi yang mengarah pada pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan sehingga penguasaan ilmu dasar dan terapan menjadi mutlak diperlukan dalam menunjang kebijakan tersebut. Salah satu energi baru yang mendapat opsi dalam menunjang kelistrikan nasional adalah energi nuklir yang peranannya dalam penyediaan energi nasional pada tahun 2025 diproyeksikan mencapai 2% [1].

Penggunaan energi nuklir pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) sudah tentu memiliki potensi bahaya disebabkan banyaknya bahan radioaktif yang dimilikinya sehingga perhatian terhadap aspek keselamatan PLTN harus diutamakan. Oleh sebab itu, kebijakan energi nasional yang mengarah pada pemanfaatan energi nuklir ini sudah tentu juga mencakup usaha-usaha dalam peningkatan keselamatan PLTN tersebut.

Berkaitan dengan sistem keselamatan reaktor, saat ini telah berkembang beberapa pemikiran baru untuk menyempurnakan sistem keselamatannya. Salah satu pemikiran yang banyak mendapat perhatian dan telah mulai diterapkan dalam perancangan PLTN generasi baru adalah sistem keselamatan pasif, baik untuk reaktor jenis LWR [2,3] maupun HWR [4,5]. Dalam sistem ini, peranan manusia dan komponen aktif mulai dikurangi sehingga sistem lebih banyak bekerja dengan proses-proses alamiah seperti evaporasi, aliran udara bertekanan, konveksi alamiah dan pemanfaatan semburan air yang jatuh akibat gravitasi.

Mengingat pentingnya peranan sistem keselamatan pasif pada PLTN generasi baru, terutama PLTN generasi III yang sudah mulai ditawarkan oleh pemasok reaktor, maka pemahaman masalah sistem keselamatan reaktor tersebut dan penyiapan data dukung serta penyiapan sumber daya manusia yang akan mengevaluasi sistem keselamatan tersebut perlu dilakukan mulai dari sekarang. Oleh sebab itu, dukungan semua pihak, baik perguruan tinggi maupun lembaga penelitian dalam menyiapkan sumber daya manusia dan data dukung merupakan suatu keharusan. Salah satu bentuk partisipasi perguruan tinggi untuk mengatasi masalah tersebut, Laboratorium Termodinamika beserta laboratorium lainnya di bawah Pusat Rekayasa Industri Institut Teknologi Bandung telah mulai melakukan studi tentang teknologi

nuklir ini dalam bentuk kegiatan penelitian sejak tahun 1986. Kemudian penelitian bersama antara Pusat Rekayasa Industri dengan Badan Tenaga Nuklir Nasional untuk mengkaji sistem keselamatan reaktor nuklir penelitian dan reaktor daya juga sudah digiatkan sejak tahun 1990 dan berlanjut sampai saat ini. Salah satu hasil kerjasama tersebut dibahas dalam makalah ini yaitu kajian tentang tingkat keselamatan dari sistem keselamatan pasif pada sungkup AP1000. Untuk meningkatkan pemahaman tentang hal ini maka dilakukan perancangan model sistem pendinginan pada sungkup AP1000 dengan tujuan akhir akan diperoleh kajian tingkat keselamatan pada sistem pendinginan yang terjadi pada sungkup tersebut.

## 2. TEORI

### 2.1. Perpindahan Panas Konveksi Bebas

Perpindahan panas konveksi bebas terjadi bila sebuah benda ditempatkan dalam suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi atau lebih rendah daripada benda tersebut [6,7]. Akibat adanya perbedaan temperatur, panas akan mengalir antara fluida dan benda sehingga terjadi perubahan rapat massa fluida yang berada dekat permukaan. Perbedaan rapat massa menyebabkan fluida yang lebih berat mengalir ke bawah dan fluida yang lebih ringan mengalir ke atas sehingga terbentuk arus konveksi bebas.

Arus konveksi bebas akan memindahkan energi-dalam yang tersimpan dalam fluida dengan mekanisme yang pada dasarnya sama dengan arus konveksi paksa, tetapi intensitas gerakan pencampurannya lebih kecil. Akibatnya koefisien perpindahan panas konveksi bebas relatif lebih kecil daripada koefisien perpindahan panas konveksi paksa.

Meskipun koefisien perpindahan panas konveksi bebas relatif rendah, banyak peralatan sistem pendingin yang mekanisme perpindahan panasnya merupakan proses konveksi bebas, salah satu diantaranya adalah pada sistem keselamatan reaktor nuklir jenis APWR.

Konveksi bebas yang terlibat pada sistem keselamatan reaktor APWR adalah konveksi bebas pada permukaan vertikal, konveksi bebas pada silinder vertikal berbentuk annulus dan konveksi bebas pada permukaan sektor elipsoidial yang menghadap ke atas.

## 2.2. Pendinginan Menggunakan Udara/ Konveksi Bebas

Dalam kaji eksperimental, persamaan empiris untuk memprediksi harga koefisien perpindahan panas konveksi bebas dinyatakan dalam bentuk Pers. (1-3).

$$Nu = CGr_f^{*a} Pr_f^b \quad (1)$$

$$Gr_f^* = \frac{g\beta q_w L^4}{K_f \nu^2} \quad (2)$$

$$Pr_f = \frac{C_p \mu}{K_f} \quad (3)$$

Subskrip  $f$  menunjukkan bahwa sifat-sifat fluida ditentukan berdasarkan temperatur film.

$$T_f = (T_\infty + T_w)/2 \quad (4)$$

Dimensi karakteristik yang digunakan dalam bilangan Nusselt dan Grashof bergantung pada geometri benda yang dianalisis.

## 2.3. Pendinginan Menggunakan Lapisan Film / Semburan Air

Pemanfaatan cairan tipis yang mengalir pada suatu permukaan sering ditemukan pada peralatan pemindah panas seperti evaporator dan sistem pendingin reaktor nuklir [8].

Dalam pemanfaatannya, cairan tipis yang mengalir sulit menempati seluruh permukaan pemindah panas tempat cairan tersebut mengalir. Kondisi ini dikenal dengan *breakdown* pada cairan sehingga kontinuitas cairan yang membasahi seluruh permukaan tidak dapat dipertahankan. Peristiwa *breakdown* akan menimbulkan beberapa tempat yang kering pada permukaan sehingga terjadi kebocoran panas melalui tempat kering tersebut dan seterusnya menyebabkan unjuk kerja peralatan menurun [9].

*Film breakdown* dapat terjadi karena adanya pendidihan inti pada permukaan atau akibat laju aliran di bawah laju aliran minimum. Dapat juga disebabkan oleh beda tegangan permukaan bila cairan merupakan campuran beberapa fluida dengan sifat yang berbeda.

Fenomena *breakdown* diawali dengan terbentuknya puncak (*crest*) dan lembah (*valley*), kemudian diikuti oleh pelebaran lembah dalam arah lateral. Gejala ini terjadi akibat beda tegangan permukaan yang disebut dengan efek marangoni. Kondisi tidak stabil

pada proses *breakdown* masih mungkin dipulihkan oleh aliran fluida sendiri akibat adanya gaya inersia atau aliran film akibat gravitasi.

Untuk mengatasi terjadinya *breakdown* pada cairan film, beberapa peneliti telah mengusulkan beberapa korelasi untuk mendapatkan laju aliran minimum agar tidak terjadi kondisi *breakdown* [9,10]. Rumus empiris yang diusulkan ada yang berlaku khusus untuk campuran fluida tertentu [11,12] dan ada yang berlaku umum dengan melibatkan bilangan Reynolds yang dapat mewakili gaya pemulih dan faktor marangoni sebagai gaya penyebab *film breakdown*. Korelasi umum yang diusulkan [8] berbentuk:

$$Nu = C Re^a Pr^b \quad (5)$$

$$Re = \frac{4\rho Q}{\mu s} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K_f} \quad (7)$$

## 3. TATA KERJA

Dalam memodelkan sistem pendinginan pada sistem sungkup AP1000 yang harus diperhatikan adalah uji bilangan tuna-dimensi serta keserupaannya. Hal ini perlu dilakukan mengingat dalam memodelkan ada keterbatasan dalam hal waktu dan pendanaan. Yang paling ideal dalam memodelkan suatu sistem yang ada adalah satu banding satu (1:1) tetapi ini sangat tidak mungkin dilakukan karena dimensi sungkup AP1000 sangat besar karena ini akan membutuhkan biaya yang besar dan tidak efisien, dengan mempertimbangkan peristiwa yang terjadi pada sungkup AP 1000 serta bahan yang digunakan maka bisa dilakukan uji bilangan tuna-dimensi serta keserupaannya. Dengan mengetahui dimensi yang ada serta peristiwa yang terjadi pada sungkup bisa dilakukan sebuah pemodelan dalam skala laboratorium.

Pendinginan pada sungkup AP1000 dilakukan secara bertahap. Tahap pertama adalah pendinginan dengan menggunakan sirkulasi udara secara alamiah, dimana pendinginan sirkulasi alamiah ini diberikan pada saat reaktor beroperasi secara normal dan pada saat awal terjadinya kecelakaan. Sedangkan pada tahap selanjutnya (tahap kedua)

pendinginan dilakukan dengan menggunakan semburan air karena gaya gravitasi, pendinginan ini dilakukan pada saat kecelakaan yang berkelanjutan.

Pada reaktor AP1000 tidak ada keterangan yang jelas batas penggunaan antara pendinginan dengan udara sampai dengan digunakannya pendinginan dengan semburan air. Tetapi dengan menggunakan perpindahan panas untuk konveksi alamiah dan konveksi paksa bisa diprediksi bahwa batas antara pendinginan dengan udara dan pendinginan dengan semburan air adalah fluks panas kritis untuk pendinginan dengan udara yang bersirkulasi secara alamiah. Karena pada saat fluks panas kritis terjadi maka udara tidak mampu lagi mendinginkan sungkup reaktor sehingga dibutuhkan semburan air untuk mendinginkan sungkup reaktor.

Dengan menggunakan peristiwa perpindahan panas secara alamiah dengan udara serta perpindahan panas menggunakan semburan air karena gaya gravitasi maka bisa dimodelkan sungkup dengan dimensi untuk skala laboratorium. Untuk sirkulasi alamiah bisa digunakan bilangan Grashof dan untuk semburan air bisa digunakan bilangan Reynolds. Dengan menyamakan besar dari kedua bilangan tersebut antara kondisi riil dengan kondisi model maka bisa diperoleh model yang relatif lebih kecil serta korelasi perpindahan panas yang bisa mewakili kondisi riil.

**Tabel 1. Perhitungan Gr\* untuk kondisi riil**

fluida	=	Udara	
dimensi	=	reaktor real	
Gr*	=	$\frac{g \times \beta \times q_w \times L^4}{(k \times v^2)}$	
g	=	1,00E+01	m/s <sup>2</sup>
beta	=	3,43E-03	1/K
q_w	=	9,14E-06	W/m <sup>2</sup>
L	=	3,15E+01	M
k	=	2,57E-02	W/m.K
v	=	1,51E-05	m <sup>2</sup> /s
Gr*	=	<b>5,26E+10</b>	

Besar bilangan Grashof dan bilangan Reynold pada sungkup riil masing-masing sebesar  $5,25 \times 10^{10}$  dan 417. Dengan menyamakan kedua bilangan ini pada yang model yang dibuat maka diperoleh bahwa korelasi perpindahan panas yang ada di model dapat mewakili korelasi perpindahan panas yang ada di kondisi riil. Dengan menggunakan

pendekatan ini diperoleh dimensi model untuk skala laboratorium adalah 1:40 terhadap dimensi sesungguhnya.

**Tabel 2. Perhitungan Gr\* untuk model**

fluida	=	Udara	
dimensi	=	1:40	
Gr*	=	$\frac{g \times \beta \times q_w \times L^4}{(k \times v^2)}$	
g	=	1,00E+01	m/s <sup>2</sup>
beta	=	3,43E-03	1/K
q_w	=	2,35E+01	W/m <sup>2</sup>
L	=	7,86E-01	M
k	=	2,57E-02	W/m.K
v	=	1,51E-05	m <sup>2</sup> /s
Gr*	=	<b>5,25E+10</b>	

**Tabel 3. Perhitungan Re untuk kondisi riil**

debit (Q_r)	:	1,17E-02	m <sup>3</sup> /s
Keliling basah (s)	:	124,4194	m
viskositas dinamis (v_d)	:	8,96E-04	kg/m.s
rho	:	996	kg/m <sup>3</sup>
Re	:	$4 \times \rho \times Q_r \times v_d$	
Re	:	4,17E+02	

**Tabel 4. Perhitungan Re untuk model**

debit model (Q_m)	:	$Re^* \times v_d / 4 \times \rho$	
Luas permukaan kubah (A_m)	:	1,479838	m <sup>2</sup>
Keliling basah (s)	:	3,554839	m
Q_m	:	3,34E-04	m <sup>3</sup> /s
		2,00E+01	L/menit
<b>dialirkan selama 3 hari</b>			
waktu (t)	:	5	jam
		18000	s
V	:	Q*t	
	:	6,01E+00	m <sup>3</sup>
		6,01E+03	liter
		1,59E+03	gallon

#### 4. PERANCANGAN

Untuk pengkajian dan analisis fenomena

yang terjadi pada sistem pendinginan tangki penyungkup sistem primer reaktor AP1000, telah dirancang dan dibuat suatu model sistem keselamatan dalam skala laboratorium. Model ini terdiri dari beberapa komponen utama yang perlu dirancang seperti tangki penyungkup sistem primer, pemanas listrik yang berfungsi untuk membangkitkan uap dalam tangki penyungkup serta sistem pengukuran yang meliputi pengukuran temperatur dan daya pemanas listrik.

#### 4.1. Perancangan Tangki Penyungkup Sistem Primer

Tangki penyungkup sistem primer termasuk bagian sistem keselamatan reaktor AP1000 yang berada pada posisi bagian luar yaitu sebelum dinding luar reaktor. Perancangan bentuk dan dimensi model tangki penyungkup ini didasarkan pada bentuk reaktor AP 1000 dengan uji similaritas dan penggunaan bilangan tak berdimensi serta mempertimbangkan pula ketersediaan bahan yang ada. Berdasarkan kriteria ini, diameter tangki penyungkup dipilih 990 mm dan tekanan uap maksimum di dalam tangki yang dapat ditahan tangki penyungkup sekitar 5 atm (0,507 MPa).

Model tangki penyungkup dibuat dari pelat *stainless steel* dan dibentuk melalui pengerolan (*rolling*) dan tempa sehingga model tangki dapat dianggap sebagai bejana tekan berdinding tipis. Untuk kasus bejana tekan berdinding tipis berlaku hubungan [12]:

$$\sigma_t = \left( \frac{p \cdot r}{t} \right) \text{ tegangan tangensial}$$

$$\sigma_l = \left( \frac{p \cdot r}{2t} \right) \text{ tegangan longitudinal}$$

dengan:

$p$  = tekanan di dalam bejana tekan

$r$  = jari-jari bejana tekan ( $r_i \approx r_o$ )

$t$  = tebal bejana tekan ( $r_o - r_i$ )

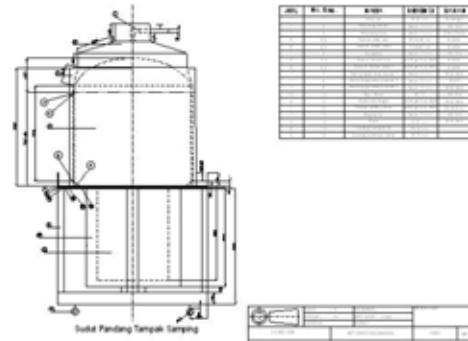
Melalui proses iterasi dan memasukkan harga tegangan luluh bahan maka tebal pelat *stainless steel* yang dibutuhkan dapat diperoleh:

$$\sigma_t = p \cdot r / t = 167,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_l = p \cdot r / 2t = 83,6 \text{ MPa}$$

Tegangan geser maksimum yang terjadi ditentukan menggunakan lingkaran Mohr [12] dan harganya 41,8 MPa. Bila tegangan geser

maksimum ini dibandingkan dengan tegangan luluh bahan (200MPa), kemudian dengan memasukkan faktor keamanan perancangan maka pemilihan tebal pelat *stainless steel* 3 mm memenuhi persyaratan perancangan.



Gambar 1. Model tangki penyungkup sistem primer AP1000

Dengan menggunakan dimensi yang sudah diperoleh, volume dan luas permukaan tangki penyungkup dapat ditentukan dengan menjumlahkan volume dan luas bagian silinder dengan bagian kubahnya.

#### Volume sungkup:

$$\text{Volume silinder} = \pi \cdot r^2 \cdot h = 605,8 \text{ liter}$$

$$\text{Volume elips} = \frac{1}{2} \left( \frac{4}{3} \pi abc \right) = 147,2 \text{ liter}$$

$$\text{Volume total tangki} = 753 \text{ liter}$$

#### Luas permukaan sungkup:

Luas permukaan silinder

$$= A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2,45 \text{ m}^2$$

Luas permukaan sektor elips

$$= \phi * \left( \left( a^p * b^p + a^p * c^p + b^p * c^p \right) / 3 \right)^{(1/p)}$$

$$= 1,13 \text{ m}^2$$

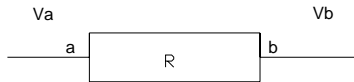
$$\text{Luas Total tangki} = 3,58 \text{ m}^2$$

#### 4.2. Perencanaan Pemanas

Uap yang digunakan untuk memanaskan tangki penyungkup diperoleh dengan memanaskan air didalam bejana menggunakan pemanas listrik tahanan. Pemanas jenis ini dipilih karena konstruksinya sederhana, panas yang dikeluarkan kontinu, mudah dalam penerapan dan pengendalian temperatur serta efisiensinya sangat tinggi sehingga energi listrik dapat diubah menjadi energi panas seluruhnya.

#### 4.2.1. Perencanaan Pemanas Tahanan

Pemanas listrik tahanan bekerja berdasarkan hukum joule dan panas diperoleh dengan jalan melewatkan arus listrik pada bahan tahanan sehingga terjadi tumbukan antar elektron yang dapat menghasilkan panas.



Gambar 2. Rangkaian pemanas tahanan

Tegangan  $V_a$  lebih tinggi dari tegangan  $V_b$  sehingga arus mengalir dari  $V_a$  ke  $V_b$  dalam selang waktu  $t$ . Sejumlah muatan  $dq = i \cdot dt$  masuk ke rangkaian dari sisi  $a$  dan pada saat yang sama sejumlah muatan yang sama meninggalkan rangkaian dari sisi  $b$  sehingga terjadi perpindahan muatan sebesar  $dq$ . Kerja ( $dW$ ) yang diberikan oleh muatan adalah:

$$dW = dq(V_a - V_b) = dq(V_{ab})$$

$$P = dW / dt = i \cdot V_{ab}$$

Jika rangkaian antara  $a$  dan  $b$  adalah suatu tahanan murni maka tegangan  $V_{ab} = i \cdot R$  sehingga  $P = i^2 \cdot R$ .

Dalam perencanaan pemanas tahanan perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

##### a. Daya pemanas yang diperlukan

Untuk menentukan daya pemanas listrik yang dibutuhkan untuk memanaskan air, diterapkan asumsi bahwa air dalam bejana akan dipanaskan sampai mencapai temperatur didih pada kondisi tekanan maksimum. Beberapa data yang dibutuhkan untuk menghitung daya pemanas antara lain:

- Volume air yang akan dididihkan ( $0,282 \text{ m}^3$ )
- Beda temperatur antara kondisi awal dan jenuh ( $80^\circ\text{C}$ )
- Rapat massa air pada 5 atm ( $959 \text{ kg/m}^3$ )
- Panas jenis air ( $4120 \text{ J/kg}$ )
- Massa air dalam kolam ( $271 \text{ kg}$ )

Energi yang dibutuhkan untuk mendidihkan air:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 89326016,64 \text{ J}$$

Daya listrik yang dibutuhkan untuk pemanasan selama 240 menit adalah:

$$P = 6203,1956 \text{ Watt}$$

##### b. Konstruksi pemanas

Pemanas dibuat berbentuk silinder dan berjumlah 9 buah, diameter silinder  $3,75 \text{ cm}$ , sedangkan panjang aktif dipilih  $40 \text{ cm}$ . Untuk bahan silinder digunakan SS.

##### c. Bahan tahanan

Konduktor yang biasa digunakan untuk pemanas tahanan antara lain silikon carbida, molybdenum, tungsten dengan batasan temperatur maksimum di atas  $1500^\circ\text{C}$ . Juga dapat digunakan bahan nickel-chromium dengan batasan temperatur maksimum  $1250^\circ\text{C}$ . Mengingat daya yang akan digunakan relatif besar maka sebagai bahan pemanas digunakan kanthal.

Untuk mengatasi terjadinya hubungan singkat, bahan tahanan sebelum dimasukkan ke dalam kelongsong ditempatkan dalam silinder keramik, kemudian silinder keramik ini dimasukkan ke dalam kelongsong sehingga kemungkinan terjadi hubungan singkat pada saat pemanas digunakan dapat dihilangkan.



Gambar 3. Konstruksi pemanas

#### 4.2.2. Pengaturan Daya untuk Pemanas

Daya pemanas diperoleh dari jaringan listrik PLN dengan tegangan  $220 \text{ Volt}$ . Daya listrik yang masuk disalurkan pada sembilan pemanas yang dihubungkan secara paralel. Akibat besar tahanan untuk setiap pemanas sudah ditetapkan maka perlu pengaturan tegangan masuk ke pemanas. Tegangan diatur

menggunakan regulator tegangan yang mempunyai daerah kerja sampai 250 Volt. Dengan mengatur tegangan masuk ke pemanas maka kemungkinan putusnya kawat tahanan akibat naiknya temperatur kawat dapat ditanggulangi.

### 4.3. Perencanaan Sistem Pengukuran

#### 4.3.1. Pengukuran Temperatur

Untuk mengukur temperatur air, uap, udara dan dinding tangki penyungkup digunakan termokopel. Pemilihan termokopel didasarkan pada:

- Dibutuhkan beberapa titik pengukuran di dalam tangki penyungkup dan beberapa titik di dinding tangki.
- Dibutuhkan pengukuran secara transien dan tunak.
- Isyarat yang keluar dari termokopel dapat dengan mudah dideteksi menggunakan data akusisi.
- Dapat dengan mudah diperkuat dan dikontrol.

Hanya sejumlah logam dan paduan yang dapat dijadikan kawat termokopel. Dasar pemilihan kombinasi bahan termokopel adalah stabilitas bahan, urutan termo-elektrik dan koefisien Seebeck bahan. Berdasarkan daerah pengukuran temperatur pada model yang dibuat dan mempertimbangkan faktor harga dan kemudahan mendapatkannya maka untuk pengukur temperatur dipilih termokopel tipe K.

Rangkaian termokopel pada model dibentuk oleh sejumlah sambungan dan penyambungan dilakukan dengan pengelasan menggunakan arus searah tanpa menggunakan logam pengisi. Rangkaian termokopel dilindungi dengan isolator sehingga dapat mengurangi pengaruh temperatur tinggi dan keadaan lingkungan yang dapat merusak kawat termokopel dan mengurangi ketelitian hasil pengukuran.

#### 4.3.2. Temperatur Referensi

Pada rangkaian termokopel harus terdapat sekurang-kurangnya dua sambungan. Sambungan pertama  $J_1$  diletakkan pada daerah yang akan diukur temperaturnya dan sambungan kedua  $J_2$  diletakkan pada daerah yang bertemperatur konstan dan digunakan sebagai temperatur referensi. Instrumen yang digunakan biasanya sudah dikalibrasi untuk temperatur referensi sama dengan nol derajat. Apabila temperatur referensi tidak sama dengan nol maka harus

dilakukan koreksi yang dapat dilakukan berdasarkan hukum temperatur antara yaitu GGL temperatur yang diukur = GGL yang terbaca pada alat ukur ditambah GGL temperatur referensi. Untuk pengukuran temperatur menggunakan data akusisi dengan sistem penguat, temperatur referensi diwakili oleh suatu rangkaian listrik yang dapat memberikan tegangan listrik sesuai dengan tegangan yang diberikan temperatur referensi (biasanya temperatur ruangan) sehingga penunjukkan data pengukuran sudah disesuaikan dengan data pengukuran yang sebenarnya.

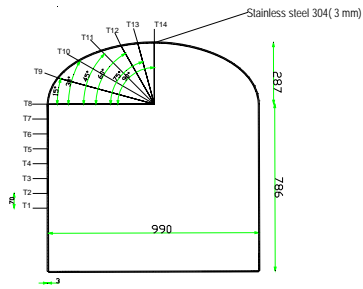
#### 4.3.3. Posisi Pengukuran

Posisi pengukuran meliputi pengukuran pada dinding tangki penyungkup, uap di dalam tangki penyungkup, pada selubung tangki penyungkup serta udara masuk dan keluar selubung tangki penyungkup. Posisi pengukuran temperatur dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

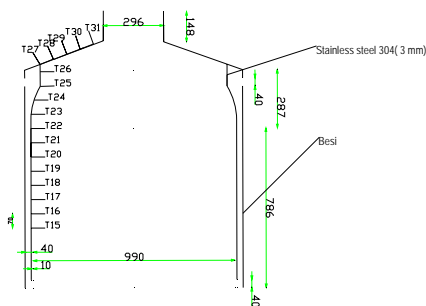
### 4.4. Rangkaian Sistem Penguat

Hasil keluaran (*output*) rangkaian termokopel adalah isyarat listrik berupa GGL. Akibat sinyal yang dikeluarkan instalasi termokopel cukup lemah sedangkan data akusisi yang digunakan mempunyai daerah kerja tertentu maka sinyal yang keluar dari termokopel perlu diperkuat menggunakan suatu rangkaian penguat (*amplifier*). Tegangan yang sudah diperkuat disambungkan pada antarmuka (*interface*) sehingga sinyal analog dari amplifier diubah menjadi digital pada antarmuka dan hasilnya dapat ditunjukkan pada layar komputer dalam bentuk beda tegangan (*volt*). Delta tegangan dapat diubah menjadi temperatur menggunakan program komputer dan konversi dari tegangan ke temperatur dilakukan dengan memasukkan data konversi ke dalam program yang dibuat.

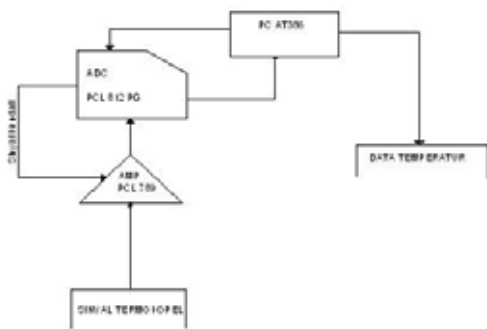
Rangkaian sistem penguat yang digunakan berbentuk "*amplifier board*" dan besarnya penguatan dapat dipilih sesuai dengan jenis termokopel yang digunakan dan daerah temperatur kerja yang akan diamati. Sistem penguat dapat digunakan untuk memperkuat sinyal input termokopel dengan jumlah sambungan sampai enam belas buah. Untuk pengukuran lebih dari enam belas titik pengukuran diperlukan beberapa rangkaian sistem penguat yang dipasang secara paralel.



Gambar 4. Posisi pengukuran temperatur pada dinding tangki penyungkup.



Gambar 5. Posisi pengukuran temperatur pada selubung tangki penyungkup



Gambar 6. Skema pengukuran temperatur menggunakan data akuisi

#### 4.5. Pengukuran Tekanan

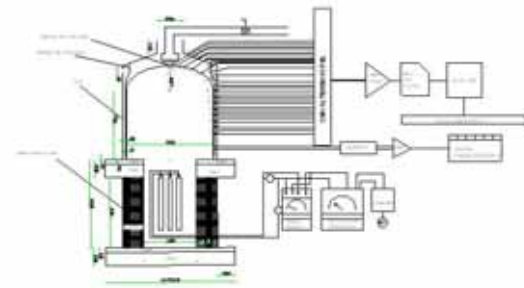
Tekanan di dalam tangki penyungkup diukur menggunakan sensor tekanan yang dipasang pada pipa saluran keluar uap. Isyarat sensor diperkuat oleh amplifier yang dihubungkan pada alat penunjuk digital.

#### 4.6. Pencatuan Daya Listrik untuk Pemanas

Daya listrik untuk pemanas berasal dari

jala-jala PLN dan besarnya daya listrik dapat diatur sesuai dengan daya yang diinginkan menggunakan regulator tegangan. Kemudian untuk mendapatkan masukan daya listrik yang stabil dan konstan digunakan stabiliser.

Besarnya daya listrik diukur menggunakan wattmeter dan diteliti kembali dengan voltmeter dan amperemeter. Skema instalasi percobaan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema instalasi pengujian

### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan model sungkup AP1000 akan diperoleh:

1. Sistem pendinginan dengan udara yang bersirkulasi alamiah pada sungkup AP1000 hanya efektif sampai batas tercapainya fluks panas kritis.
2. Fluks panas kritis untuk pendinginan dengan udara yang bersirkulasi secara alamiah menjadi batas perancangan dimana pendinginan dengan semburan air mulai dijalankan.
3. Korelasi perpindahan panas dengan menggunakan semburan air karena gaya gravitasi diperoleh setelah tercapainya fluks panas kritis sampai dengan terjadinya *film breakdown*.
4. Besar laju pendinginan semburan air agar tidak terjadi *film breakdown* pada sungkup AP1000 minimum sekitar 20 liter per menit.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. ADIWARDYO, Opsi Nuklir dalam Kebijakan Energi Nasional (Workshop Energi dan Prospek Energi Nuklir di Indonesia), Jurusan Fisika ITB, Bandung, (2006).
2. CUMMINS, W.E., CORLETTI, M.M., and SCHULZ, T.L., Westinghouse



- AP1000 Advanced Passive Plant (Proc. of ICAPP, Cordoba, Spain, 2003).
3. **MATZIE, R.A.**, “The AP1000 Reactor Nuclear Renaissance Option”, Westinghouse (2003).
  4. **HOPWOOD, J.**, The ACR-1000: Operator-Driven CANDU Development (Proc. of ICAPP, 2007).
  5. **ALIZADEH, A.**, “Nuclear Power An Improving Prospect” (2005).
  6. **SUWONO, A., DARMANTO, P.S. dan UMAR, E.**, Perpindahan Panas Konvektif dalam Berkas Pipa, Laporan Penelitian PAU-IR ITB, Bandung (1992).
  7. **UMAR, E. dan SUWONO, A.**, Model Sistem Pengaman dalam Kecelakaan Fatal Reaktor Nuklir, Laporan Akhir Penelitian, PAU-ITB, Bandung (1991).
  8. **AL-ARABI, M.**, Laminar Natural Convection Heat Transfer from the Outer Surface of a Vertical Circular Cylinder, Journal of Heat and Mass Transfer 23 (1980).
  9. **DAVIS, V.**, “Natural Convection Between Concentric Vertical Cylinder, High Speed Computing in Fluid Dynamics” (1969) 198-207.
  10. **THOMAS, R.W.**, Natural Convection in Annular and Rectangular Cavities, a Numerical Study (Proc. International Heat Transfer Conference 4, 1970).
  11. **KEYHANI, M., KULACKI, F.A. and CHRISTENSEN R.N.**, Free Convection in a Vertical Annulus with Constant Heat Flux on the Inner Wall, Journal of Heat Transfer 105 (1983) 454-459.
  12. **SHERIFF N.**, Experimental Investigations of Natural Convection in Single and Multiple Annuli (Proc. International Heat Transfer Conference 4, 1966).