

ANALISIS KETEBALAN PIPA PENDINGIN PRIMER SEBAGAI IMPLEMENTASI PEMELIHARAAN 5 TAHUNAN SISTEM PENDINGIN RSG-GAS

Aep Saepudin Catur, Pranto Busono, Syafrul

PRSG-BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KETEBALAN PIPA PENDINGIN PRIMER SEBAGAI IMPLEMENTASI PEMELIHARAAN 5 TAHUNAN SISTEM PENDINGIN RSG-GAS. Analisis ketebalan pipa sistem pendingin primer RSG-GAS sebagai implementasi kegiatan pemeliharaan interval waktu 5 tahunan. Pengukuran ketebalan pipa dilakukan dengan menggunakan *ultrasonic thickness gauge* pada beberapa posisi yang memungkinkan terjadi penipisan pipa (elbow, reducer, pipa lurus dan T join). Tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi pipa pendingin primer terkini sehingga integritas pipa terjaga dan sirkulasi pendingin primer dapat terjamin. Kegiatan ini dilakukan mulai dari penyiapan gambar, pemilihan segmen, penentuan titik pengukuran, dan proses pengukuran. Selain pengukuran juga dilakukan perhitungan untuk mengetahui tebal pipa minimum yang diijinkan. Dari hasil pengukuran ketebalan pipa diketahui bahwa distribusi ketebalan pipa minimum sebesar 6,09 mm untuk pipa DN400 dan 8,51 mm untuk DN600. Dari hasil pengukuran diketahui penipisan pipa DN400 sebesar 0,04%, dan pipa DN600 sebesar 0,15%. Berdasarkan ketentuan ASME B31.3 tentang Pedoman Pemipaan Proses, bahwa batasan penipisan pada instalasi pipa terpasang sebesar 12,5%. Dari hasil pengukuran ketebalan minimum pipa adalah 6,09 mm jika dibandingkan dengan ketebalan minimum hasil perhitungan adalah 4,12 mm, maka dapat disimpulkan bahwa pipa-pipa sistem pendingin primer belum mengalami penuaan dalam konteksnya penipisan dinding pipa.

Kata kunci : ketebalan pipa pendingin primer

ABSTRACT

COOLING PIPE THICKNESS ANALYSIS AS PRIMARY IMPLEMENTATION OF COOLING SYSTEM ANNUAL MAINTENANCE 5 RSG - GAS. The analysis of the thickness of the primary coolant system piping RSG - GAS as the implementation of the maintenance interval 5 years has been done. Measurement of the thickness of the pipe was done by using ultrasonic thickness gauge at several positions that allow thinning pipe (elbow, reducer, straight pipe and T join). The goal is to determine the current condition of the primary coolant pipe so that the pipe integrity maintained and the primary coolant circulation can be assured. The activity is carried out from preparing the image, selecting a segment, determining the point of measurement, and the measurement process. Besides measurements were also performed calculations to determine the minimum allowable thickness pipe. From the results of measurements of the thickness of the pipe is known that the distribution of the minimum pipe thickness of 6.09 mm to 8.51 mm pipe DN400 and DN600. The result of measurement has known that for DN400 pipe thinning of 0.04%, and 0.15% for DN600. Under the provisions of the ASME B31.3 Process Piping Code, that restrictions on the installation of the pipe installed depletion of 12.5%. From the results of measurements of the minimum thickness of the pipe is 6.09 mm compared with a minimum thickness of 4.12 mm of the calculation, it can be concluded that the pipes has not experienced of aging the primary cooling system in the context of pipe wall thinning.

Keyword : primary cooling pipe thickness

PENDAHULUAN

Salah satu pemanfaatan teknologi nuklir adalah pengoperasian reaktor riset atau reaktor non daya sebagai sarana pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kepentingan kesejahteraan manusia^[1]. Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset dengan daya nominal 30 MW dan untuk reaktor riset daya sebesar itu termasuk reaktor daya tinggi, oleh karena itu persyaratan-persyaratan keselamatan yang berlaku

untuk reaktor ini cukup tinggi. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk dapat menunjang keselamatan operasi reaktor, diantaranya melakukan pemeliharaan terhadap Struktur, Sistem dan Komponen (SSK) reaktor.

Pipa merupakan aset yang penting pada pengoperasian reaktor. Pada reaktor riset, selain sebagai komponen dalam sistem penyaluran air pendingin reaktor, pipa juga penting sebagai bagian dari pemindahan panas yang dibangkitkan hasil fisi. Pipa yang mengalami kegagalan akan menyebabkan

kerugian yang besar bagi semua pihak yang terkait pengoperasian reaktor tersebut. Oleh karena itu, analisis terhadap ketebalan pipa tersebut sangat dibutuhkan untuk menghindari terjadinya kegagalan pipa pada saat beroperasi. Maka sebagai implementasi kegiatan pemeliharaan interval waktu 5 (lima) tahunan, maka pengukuran ketebalan dinding pipa primer akan terus dilakukan secara rutin untuk mengetahui laju penipisan pipa.

Kegiatan pemeliharaan SSK RSG-GAS untuk interval waktu 5 (lima) tahunan adalah pemeriksaan ketebalan pipa-pipa sistem pendingin primer. Tujuan pemeriksaan adalah untuk mengetahui kondisi pipa pendingin primer terkini terhadap kemungkinan terjadinya penipisan. Pengukuran ketebalan pipa pendingin reaktor ini menjadi hal yang sangat penting dalam pengoperasian reaktor, karena sebagaimana diketahui, bahwa kecelakaan PLTN Mihama Unit 3 milik KEPCO (*Kansai Electric Power, Co.Ltd.*) adalah pecahnya pipa kondensat pada sistem sekunder^[2]. Pecahnya pipa ini terjadi setelah PLTN beroperasi selama lebih kurang 27 tahun yang disebabkan oleh penipisan pipa yang dalam istilah teknik nuklirnya disebut *Flow Accelerated Corrosion* (FAC) atau *Flow Induced Corrosion* (FIC) dan dalam istilah umumnya disebut erosi dan/atau korosi^[3].

Dari latar belakang kejadian kecelakaan tersebut dan mengacu pada Program Pemeliharaan SSK RSG-GAS, maka dilakukan pemeriksaan ketebalan pipa-pipa pendingin reaktor yang setelah beroperasi selama 27 tahun. Pemeriksaan dilakukan secara inspeksi visual dan pemeriksaan ketebalan pipa dengan menggunakan *ultrasonic thickness gauge*. Dari hasil pengukuran ini diharapkan dapat diketahui kondisi terkini ketebalan dinding-dinding pipa primer.

DASAR TEORI

Pengertian Dasar Pipa

Nomenklatur pipadidefinisikan berdasarkan suatu code/standard (ASME, DIN, API dan lain-lain). Ukuran pipa dinyatakan dengan NPS (*Nominal Pipe Size*) (menyatakan diameter luar) dan *schedule* (menyatakan ketebalan dinding). Metrik setara disebut DN atau "Nominal Diameter". Metrik sebutan sesuai dengan Standar Organization (ISO) penggunaan dan berlaku untuk semua pipa, baik itu pipa gas alam, pipa minyak pemanas, dan lain-lain pipa yang digunakan di gedung-gedung, termasuk pipa-pipa pendingin primer RSG-GAS. Tabel 1 menunjukkan ukuran penyebutan pipa ukuran nominal pipa.

Tabel 1. Diameter nominal dan ukuran normal pipa^[4]

Diameter Nominal DN (mm)	Nominal Pipe Size NPS (inches)
6	1/8
8	¼
10	3/8
15	½
20	¾
25	1
32	1 ¼
40	1 ½
50	2
65	2 ½
80	3

Diameter Nominal DN (mm)	Nominal Pipe Size NPS (inches)
100	4
150	6
200	8
250	10
300	12
350	14
400	16
450	18
500	20
550	22
600	24

Di dalam dunia industri ketebalan pipa dinyatakan dengan schedule pipa yang dinyatakan dengan angka (5, 5S, 10, 10S, 20, 20S, 30, 40, 40S, 60, 80, 80S, 100, 120, 140, 160). Pipa dengan diameter nominal yang sama, ketebalan pipanya

berbeda-beda. Sebagai contoh pipa DN400 untuk schedule 10 tebalnya 6,35 mm, schedule 20 tebalnya 7,925 mm sedangkan untuk schedule 40 tebalnya 9.525 mm. Ketebalan pipa seperti ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Ukuran diameter dan ketebalan pipa^[4]

NPS	DN	OD [in (mm)]	Wall thickness [in (mm)]						
			SCH 5s	SCH 5	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH STD/40S
10	250	10.75 (273.05)	0.134 (3.404)	0.134 (3.404)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.250 (6.350)	0.307 (7.798)	0.365 (9.271)
12	300	12.75 (323.85)	0.156 (3.962)	0.165 (4.191)	0.180 (4.572)	0.180 (4.572)	0.250 (6.350)	0.330 (8.382)	0.375 (9.525)
14	350	14.00 (355.60)	0.156 (3.962)	0.156 (3.962)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.375 (9.525)	0.375 (9.525)
16	400	16.00 (406.40)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.375 (9.525)	0.375 (9.525)
18	450	18.00 (457.20)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.437 (11.100)	0.375 (9.525)
20	500	20.00 (508.00)	0.188 (4.775)	0.188 (4.775)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.500 (12.700)	0.375 (9.525)
22	550	22.00 (558.80)	0.188 (4.775)	0.188 (4.775)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.500 (12.700)	0.375 (9.525)
24	600	24.00 (609.60)	0.218 (5.537)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.562 (14.275)	0.375 (9.525)

Sistem pemipaan pada reaktor RSG-GAS berfungsi untuk mengangkat dan mensirkulasikan air pendingin kolam reaktor. Pemipaan yang berada di dalam kolam reaktor terbuat dari AlMg₃ dan yang berada di luar kolam reaktor terbuat dari baja tahan karat berdaya tahan tinggi terhadap korosi^[5].

Pada sistem pendingin primer ini terdapat dua pipa dengan diameter yang berbeda, maka dalam spesifikasi dibedakan menjadi Jenis Pipa 1 untuk DN400 dan Jenis Pipa2 untuk DN600, dimana Pipa 1 adalah pipa dari pompa primer sampai dengan masuk ke dalam reaktor, sedangkan Pipa 2 mulai dari keluar *delay chambers* sampai dengan masuk pompa primer. Spesifikasi pipa-pipa penyusun sistem pendingin primer RSG-GAS, seperti ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini :

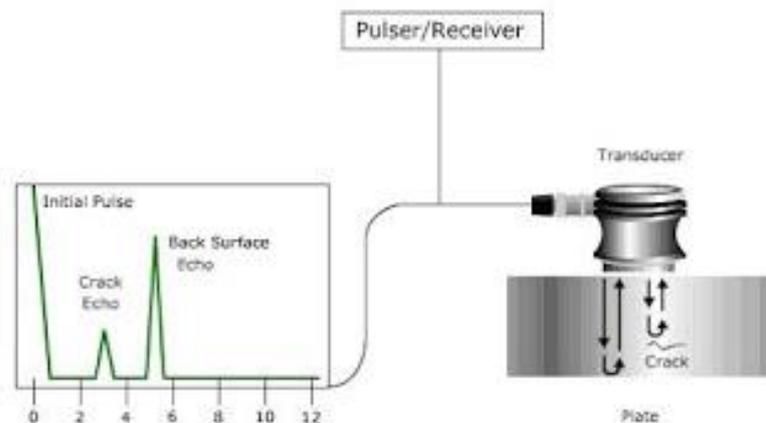
Tabel 3. Spesifikasi pipa pendingin primer RSG-GAS

	Jenis Pipa 1	Jenis Pipa 2
Material	DIN 1.4541	DIN 1.4541
NPS	DN 400 Sch 10	DN 600 Sch 10
Diamater	406.4	609.6
Ketebalan	6.35	10.0
σ_t	500 – 700 Mpa	500 – 700 Mpa
σ_v	250 Mpa	250 a

Prinsip Dasar Uji Ultrasonik

Ultrasonic Testing (UT) merupakan salah satu metode Non Destructive Testing yang menggunakan energi suara frekuensi tinggi untuk melakukan proses pengujian atau proses pengukuran. Metode UT bisa digunakan untuk deteksi cacat, evaluasi material, pengukuran dimensi, analisis karakteristik material dan lainnya. .

Pengujian ultrasonik (UT) menggunakan energi suara berfrekuensi tinggi untuk melakukan pemeriksaan dan membuat pengukuran. Pemeriksaan ultrasonik dapat digunakan untuk deteksi cacat/evaluasi, pengukuran dimensi, dan banyak lagi. Sebagai ilustrasi dari prinsip dasar inspeksi UT seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip dasar uji ultrasonik

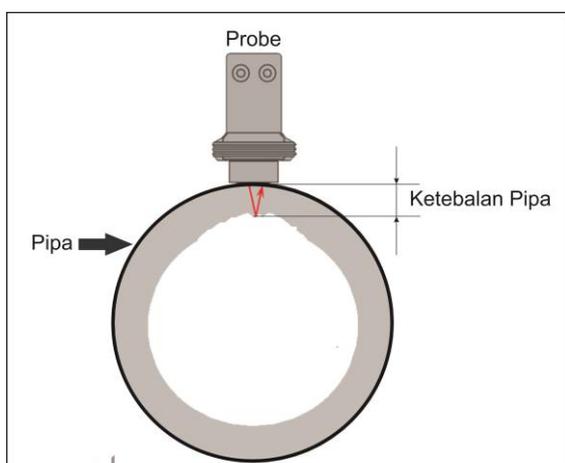
Keterangan :

- Initial Pulse* = Pulsa inisial yang pertama
- Crack Echo* = Echo cacat pada material (jarak posisi dari kecacatan yang ada pada bahan)
- Back Surface Echo* = Echo pantulan balik dari bahan (ketebalan bahan)

Prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan interpretasikan. Gelombang ultrasonik yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 – 20 MHz. Gelombang suara akan terpengaruh jika ada void, retak, atau delaminasi pada material. Gelombang ultrasonik ini dibangkitkan oleh transducer dari bahan piezoelektri yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi.

Pemeriksaan tebal bahan atau adanya cacat dalam bahan dengan gelombang ultrasonik dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu : teknik resonansi, teknik transmisi dan teknik gema. Dari ketiga teknik tersebut, teknik gema kontak langsung paling sering digunakan terutama pada pemeriksaan di lapangan.

Ilustrasi pengukuran ketebalan pipa dengan uji ultrasonik seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Pengukuran ketebalan pipa dengan uji ultrasonik

Perhitungan Ketebalan Pipa

Perhitungan ketebalan pipa bisa dilakukan dengan memakai rumus berikut:

$$t = \frac{P.D}{2.S} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- S = tegangan ijin bahan
- P = tekanan kerja pompa
- D = diameter nominal pipa
- t = ketebalan pipa

TATA KERJA

Implementasi kegiatan pemeriksaan ketebalan pipa sistem pendingin RSG-GAS dilakukan melalui beberapa tahap kegiatan, yaitu :

1. Penyiapan gambar
2. Pemilihan segmen
3. Penentuan titik pengukuran
4. Proses Pengukuran

Penyiapan Gambar

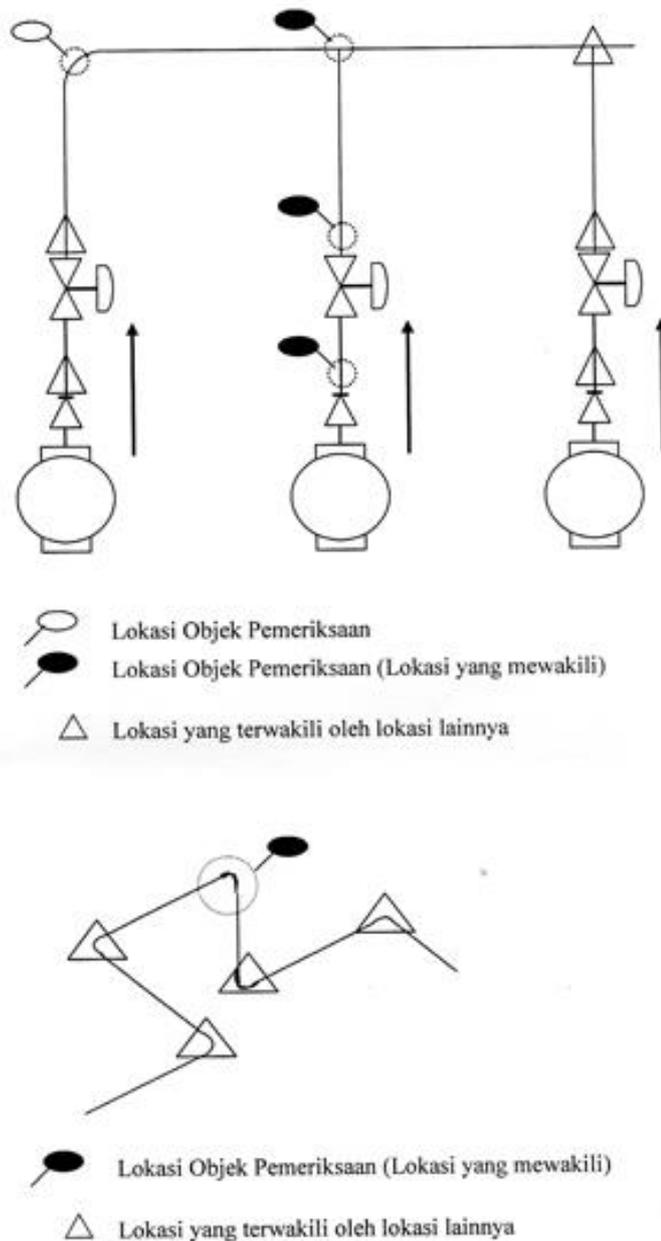
Penyiapan gambar dimaksudkan untuk memberikan gambaran kondisi aktual pemipaan di lapangan, berupa gambar isometrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini :

Pemilihan Segmen

Untuk keperluan pengukuran rangkaian pemipaan sistem pendingin primer reaktor, dibagi menjadi beberapa bagian / segmen berdasarkan konstruksi pipa. Mulai dari pipa lurus, pipa T joint, pipa elbow dan pipa reducer. Karena banyak rangkaian pipa pendingin primer, maka tidak seluruh

pipa pendingin primer dilakukan pengukuran tetapi hanya beberapa bagian/segmen saja yang mewakili untuk konstruksi pipa sejenis.

Segmen atau bagian yang mewakili pengukuran berdasarkan konstruksi pipa tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini :



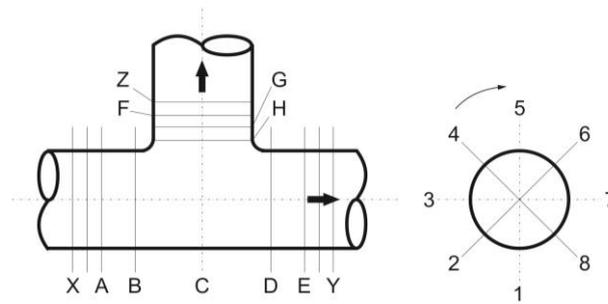
Gambar 4. Segmen pengukuran pipa

Penentuan Titik Pengukuran

Titik-titik pengukuran pada lokasi yang dipilih sebagai objek pemeriksaan ketebalan adalah jenis pipa DN400 dan DN600. Penetapan titik-titik pengukuran ini dilakukan berdasarkan konstruksi

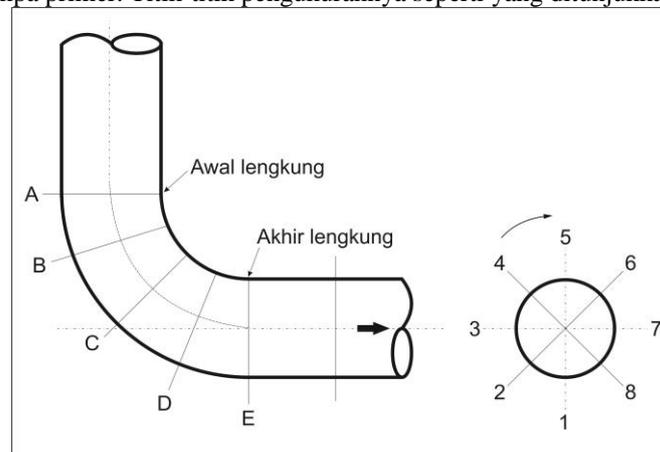
pemipaan yang mewakili untuk konstruksi pipa sejenis.

Titik pengukuran untuk jenis pipa dengan konstruksi T-joint, dilakukan pada bagian aliran sebelum masuk pompa primer. Titik-titik pengukurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik pengukuran konstruksi pipa T-Join

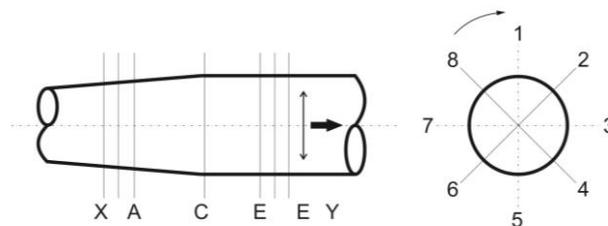
Titik pengukuran untuk jenis pipa dengan konstruksi elbow, dilakukan pada bagian aliran sebelum masuk dan sesudah pompa primer. Titik-titik pengukurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Titik pengukuran konstruksi pipa elbow sebelum dan sesudah pompa

Sedangkan titik pengukuran untuk jenis pipa dengan konstruksi reducer, dilakukan pada bagian aliran sebelum masuk dan sesudah pompa primer.

Titik-titik pengukurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini



Gambar 7. Titik pengukuran konstruksi pipa reducer sebelum dan sesudah pompa

Proses Pengukuran

Pengukuran ketebalan dilakukan dengan alat ukur ketebalan ultrasonik yang bekerja berdasarkan pantulan pulsa gelombang ultrasonik. Alat yang digunakan merek StressTell tipe T-MIKE EL. Probe yang digunakan adalah probe normal dengan kristal ganda (*twin probe*). Kuplan berupa jeli atau oli, adalah media perambat gelombang dari probe ke benda uji.

Sebelum dilakukan pengukuran, alat dikalibrasi untuk menentukan kecepatan rambat gelombang ultrasonik di dalam material pipa. Untuk memperoleh hasil yang tepat, kalibrasi dilakukan menggunakan pipa dengan spesifikasi yang sama serta ketebalan yang sudah diketahui. Proses kalibrasi seperti ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini.



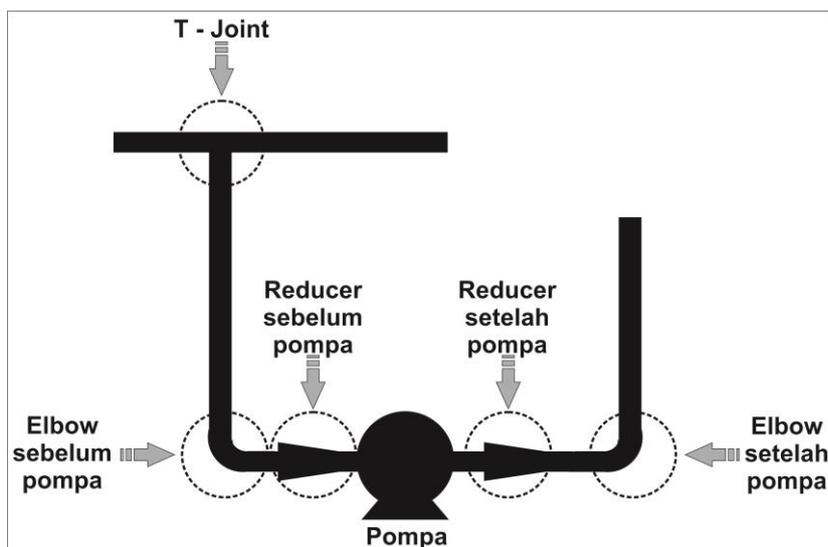
Gambar 8. Proses kalibrasi ultrasonik tes

Pengukuran dilakukan dimulai dari pipa sambungan T, ke jalur yang menuju pompa JE01 AP002. Kemudian pengukuran dilakukan pada jalur pipa yang keluar dari JE01 AP003 sampai dengan pipa sambungan T, dilanjutkan dengan jalur pipa yang menuju penakar panas /Heat Exchanger(HE). Selanjutnya pengukuran dilakukan pada jalur pipa yang keluar dari HE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karena banyaknya jumlah pipa yang merangkai sistem pendingin primer, maka tidak seluruh pipa dilakukan pengukuran tetapi hanya beberapa bagian/segmen saja yang mewakili untuk konstruksi pipa sejenis.

Untuk keperluan pengukuran ketebalan pipa, maka dibuat rangkaian sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut :



Gambar 9. Segmen/bagian pengukuran pipa pendingin primer RSG-GAS

Bagian-bagian pipa yang dipilih merupakan bagian yang diprediksikan terjadinya penipisan, dimana pada bagian-bagian tersebut terjadi perubahan laju aliran air dan turbulensi aliran, disamping itu juga mempertimbangkan apakah

lokasi pipa tersebut berada sebelum atau sesudah pompa.

Dari pengukuran maka diperoleh data-data hasil pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 4a s/d Tabel 4e berikut :

Tabel 4a. Hasil pengukuran ketebalan pipa untuk konstruksi (T) joint

TITIK	1	2	3	4	5	6	7	8
A	9.92	9.91	10.04	8.62	8.58	8.60	8.54	8.51
B	8.56	8.58	8.64	8.64	10.01	10.04	9.94	9.87
C	9.97	10.03	10.06	-	-	10.05	10.05	9.93
D	10.00	10.02	10.07	10.09	10.11	10.02	9.98	9.90
E	10.07	10.04	9.99	10.06	10.06	10.05	10.07	9.95
F	6.10	6.15	6.23	6.14	6.15	6.19	6.09	6.11

Keterangan : (-) tidak dapat dilakukan pengukuran

Tabel 4b. Hasil pengukuran ketebalan pipa untuk konstruksi elbow sebelum pompa

TITIK	1	2	3	4	5	6	7
A	6.91	6.93	6.99	6.97	6.95	6.95	6.96
B	6.93	7.19	7.15	7.10	7.00	7.10	6.82
C	6.90	7.15	6.86	7.06	6.89	6.82	6.76
D	6.35	7.13	6.99	7.02	6.94	6.86	6.82
E	7.15	6.98	7.06	6.94	6.90	6.90	7.02

Tabel 4c. Hasil pengukuran ketebalan pipa untuk konstruksi reducer sebelum pompa

TITIK	1	2	3	4	5	6	7	8
A	8.35	7.99	8.09	7.97	7.85	8.05	8.09	8.01
B	8.13	8.01	8.01	7.93	7.97	8.01	7.94	8.01
C	8.25	8.05	7.97	7.93	8.05	8.01	8.04	7.84

Tabel 4d. Hasil pengukuran ketebalan pipa untuk konstruksi reducer setelah pompa

TITIK	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7.99	7.97	7.93	7.89	8.01	7.93	8.01	8.01
B	8.01	7.93	7.97	7.84	7.93	7.89	7.93	7.93
C	7.97	7.97	7.89	7.72	7.85	7.80	8.03	7.97

Tabel 4e. Hasil pengukuran ketebalan pipa untuk konstruksi elbow setelah pompa

TITIK	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6.94	7.23	7.10	7.06	7.06	6.86	6.90	6.98
B	6.70	7.31	7.11	6.86	6.98	6.82	6.82	7.02
C	6.58	7.31	7.02	6.95	6.97	6.64	6.82	7.10
D	6.61	7.30	7.15	6.98	7.02	8.78	6.90	7.10
E	6.77	7.16	7.10	7.06	7.06	7.15	6.98	6.90

Berdasarkan hasil-hasil pengukuran sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 4a s/d 4e, dapat diketahui bahwa nilai-nilai hasil pengukuran masih mendekati nilai yang tertuang dalam spesifikasi pipa pendingin primer (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa nilai ketebalan pipa pendingin primer belum mengalami penipisan dinding pipa.

Distribusi ketebalan pipa hasil pengukuran, diketahui bahwa ketebalan pipa minimum sebesar 6,09 mm untuk jenis pipa DN400. Sedangkan untuk

jenis pipa DN600 ketebalan minimum sebesar 8,51 mm. Dari hasil pengukuran diketahui penipisan pipa untuk DN400 sebesar 0,04%, sedangkan untuk DN600 terjadi penipisan pipa sebesar 0,15%. Berdasarkan ketentuan ASME B31.3 tentang Pedoman Pemipaan Proses, bahwa batasan penipisan pada instalasi pipa terpasang sebesar 12,5%^[7]. Maka dari hasil pengukuran ketebalan minimum pipa masih dinyatakan aman. Dengan demikian implementasi kegiatan pemeliharaan 5 (lima)

tahunan terhadap pipa-pipa sistem pendingin primer masih baik dan layak dengan interval waktu pemeliharaan tersebut.

Dari hasil pengukuran tadi dapat disimpulkan bahwa pipa-pipa sistem pendingin primer belum mengalami penuaan dalam konteksnya penipisan dinding pipa, terlebih lagi jika kita bandingkan dengan hasil perhitungan ketebalan pipa, sesuai ketentuan rumus (1) :

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S}$$

Dimana :

S = tegangan ijin bahan

$\sigma_{y \text{ pipa}} = 250 \text{ MPa} = 250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Ak = angka keselamatan beban dinamis (2,5 s/d 7) diambil nilai 5

$$\left(\frac{\sigma_y}{Ak}\right) = \left(\frac{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{5}\right) = 50 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

P = tekanan kerja pompa

$$10 \text{ bar} = 10 \times 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$= 1,0133 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

D = diameter nominal pipa (DN400)

$$406,4 \text{ mm} = 0,4064 \text{ m}$$

t = ketebalan pipa,

maka diperoleh nilai ketebalan pipa, adalah :

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S} = \frac{(1,0133 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}) \times 0,4064 \text{ m}}{2 \times (50 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})} = 4,12 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan yang sama maka untuk pipa DN600 diperoleh nilai ketebalan pipa sebesar 6,20 mm.

Dari hasil perhitungan tersebut nilai aktual ketebalan pipa pendingin primer dibuat jauh melebihi batasan minimum tebal pipa yang dipersyaratkan, hal ini menunjukkan bahwa tingkat keamanan pipa terhadap penipisan sangat terjaga karena nilai yang tertuang dalam spesifikasi pipa pendingin primer diatas hasil perhitungan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran ketebalan pipa diketahui bahwa distribusi ketebalan pipa minimum sebesar

6,09 mm untuk pipa DN400 dan 8,51 mm untuk DN600. Dari hasil pengukuran diketahui penipisan pipa untuk DN400 sebesar 0,04%, sedangkan untuk DN600 sebesar 0,15%. Berdasarkan ketentuan ASME B31.3 tentang Pedoman Pemipaan Proses, bahwa batasan penipisan pada instalasi pipa terpasang sebesar 12,5%. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pipa-pipa sistem pendingin primer masih baik dan layak. Dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan, maka dapat disimpulkan bahwa pipa-pipa sistem pendingin primer belum mengalami penuaan dalam konteksnya penipisan dinding pipa.

DAFTAR PUSTAKA

1. **BAPETEN**, Peraturan Kepala Bapeten Nomor 5 Tahun 2011, Tentang Ketentuan Perawatan Reaktor Non Daya, 2011.
2. **ANONYMOUS**, "Investigation Report of KEPCO's Nuclear Power Plants Mihama Unit.3 Accident", Nuclear and Industrial Safety Agency (Japan), 2004
3. **K. HASEGAWA**, "Recent Pipe Wall Thinning Trouble Cases in Japanese Power Plants", ASME Codes and Standards Committee Meetings, WG Pipe Flaw Evaluation (Sec XI), Louisville, KY, 30th October, 2006.
4. **ASME**, Standard ASME B36.19M-2004. Revision of ANSI/ASME B36.19M-1985.
5. **LAK**(Laporan Analisis Keselamatan), Revisi 9 Tahun 2005 No. Identifikasi : TRR.KK.01.04.63.05
6. **ROZIQ HIMAWAN, SRIYONO, SYAFRUL, HENDRA PRASETYA**, "Analisis Ketebalan Pipa Pendingin Sekunder RSG-GAS" Sigma Epsilon Volume 12 No 3. Tahun 2008 ISSN 0853 - 9103.
7. **ASME B31.3** Process Piping Guide Revision 2 Chapter 17 Pressure Safety Section D20-B31.3-G Rev. 2, 3/10/09.