

PENGUKURAN KETEBALAN PIPA PENDINGIN SEKUNDER UNTUK PEMANTAUAN ASPEK PENUAAN PIPA PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS

Pranto Busono, Aep Saepudin Catur, Amril, Royadi

ABSTRAK

PENGUKURAN KETEBALAN PIPAPENDINGIN SEKUNDER UNTUK PEMANTAUAN ASPEK PENUAAN PIPA PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS. Sistem pendingin sekunder didesain untuk membuang panas yang dilepaskan sistem primer termasuk panas yang ditimbulkan oleh pompa primer dan sekunder pada operasi reaktor dengan daya nominal ke atmosfer melalui menara pendingin *evaporatif*. Untuk menunjang keselamatan operasi reaktor, maka harus dilakukan pemeliharaan terhadap Struktur, Sistem dan Komponen (SSK) reaktor. Pipa pendingin sekunder merupakan aset yang penting pada pengoperasian reaktor, yaitu sebagai komponen dalam sistem penyaluran air pendingin reaktor. Tujuan penulisan untuk mengetahui kondisi pipa pendingin sekunder, laju penipisan pipa sekunder, prediksi umur pipa dalam rangka pemantauan aspek penuaan pipa. Pengukuran ketebalan pipa menggunakan metode Non Destructive Testing berupa Ultrasonic Testing (UT). Dari data hasil pengukuran diperoleh tebal rata-rata 7,323 mm (tahun 2009) dan tebal rata-rata 6,956 mm (tahun 2015). Perhitungan ketebalan pipa minimum dilakukan dengan memperhitungkan bahan pipa, tekanan kerja dan dimensi pipa. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa ketebalan pipa minimum yang masih diizinkan adalah 4,766 mm. Perhitungan laju penipisan didasarkan pada perubahan ketebalan pipa berbanding waktu operasi. Besarnya laju penipisan pipa adalah 0,061 mm/tahun. Pipa pendingin sekunder diprediksi mampu berumur 35,9 tahun lagi.

Kata kunci : sistem pendingin sekunder, laju penipisan pipa, prediksi umur pipa.

ABSTRACT

THICKNESS MEASUREMENT OF SECONDARY COOLING PIPE FOR MONITORING ASPECTS OF AGING OF THE RSG-GAS SECONDARY COOLING Secondary cooling system is designed to remove the heat that is released by primary system including the heat generated by the primary and secondary pumps in operation of the reactor with nominal power to the atmosphere through evaporative cooling tower. To support the safe operation of the reactor, then it should do the maintenance of the structures, systems and components (SSCs) reactor. Secondary coolant pipe is an important asset to the operation of the reactor at which the function is to deliver the water coolant system. The purpose of this paper is to determine the condition of the secondary coolant pipe, the rate of depletion of the secondary pipe, the pipe life prediction in order to monitor aspects of aging pipes. Measurement of the thickness of the pipe is using a method such as Non Destructive Testing Ultrasonic Testing (UT). From the measurement data obtained average thickness 7.323 mm (2009) and the average thickness 6.956 mm (2015). The calculation of minimum pipe thickness is done by calculating the pipe material, work pressure and pipe dimensions. From the calculation it is obtained that the minimum thickness of the pipe is still permitted of 4.766 mm. The calculation of the rate of depletion is based on changes in the pipe thickness versus operating time. The magnitude of the rate of depletion of the pipe is 0.061 mm / year. Secondary coolant pipe predicted to operate 35.9 years old.

Keywords: secondary cooling system, the rate of depletion of the pipe, the pipe life prediction.

1. PENDAHULUAN

Salah satu pemanfaatan teknologi nuklir adalah pengoperasian reaktor riset atau reaktor non daya sebagai sarana pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kesejahteraan manusia. Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset dengan daya nominal 30 MW yang dalam pengelolaannya harus memenuhi persyaratan keselamatan. Struktur, Sistem dan Komponen (SSK) reaktor harus senantiasa dalam kondisi baik sehingga persyaratan keselamatan tetap terpenuhi.

Sistem pendingin sekunder merupakan rangkaian terbuka yang menyediakan air dingin untuk memindahkan dan membuang panas dari sistem pendingin primer hasil reaksi di teras reaktor, ke atmosfer melalui modul menara pendingin dengan cara penguapan. Sistem pendingin sekunder dilengkapi beberapa komponen antara lain: 2 unit menara pendingin (7 modul), 3 buah pompa dan sistem perpipaan. Pipa sistem sekunder terdiri atas pipa isap utama yang paralel PA-01 BR-01 dan PA-02 BR-01.

Pipa merupakan aset yang penting pada pengoperasian reaktor, yaitu sebagai komponen dalam sistem penyaluran air pendingin reaktor. 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. Pengukuran ketebalan dinding pipa sekunder akan terus dilakukan secara rutin untuk mengetahui laju penipisan pipa. Pemantauan ketebalan pipa ini sebagai implementasi dari:

- Program Perawatan RSG-GAS Nomor: 001.001/ RN 00 02 / RSG 3, tertanggal, 21 Desember 2015.
- Program Penuaan RSG-GAS Nomor: 002.001/ RN 00 02 / RSG 3, tertanggal 1 April 2015.
- Penilaian Keselamatan Berkala (PKB) bab V tentang Aspek Penuaan

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui kondisi pipa pendingin sekunder, sehingga dapat diketahui laju penipisan pipa sekunder berdasarkan hasil pengukuran yang pernah dilakukan pada tahun 2009 dan 2015. Dengan diketahui laju penipisan pipa dan ketebalan minimum pipa, maka dapat diprediksi umur pipadalam rangka pemantauan aspek penuaan pipa.

Pemeriksaan dilakukan secara inspeksi visual dan pemeriksaan ketebalan pipa dengan menggunakan *ultrasonic thickness gauge*. Berdasarkan pengukuran ketebalan pipayang telah dilakukan (terutama di daerah kritis, *elbow, T-joint, atau reducer*) dan spesifikasi pipa sekunder maka ruang lingkup penulisan dibatasi pada perhitungan ketebalan minimum pipa yang diperbolehkan, perhitungan laju penipisan pipa dan prediksi umur pipa sekunder.

Sistem perpipaan pada reaktor RSG-GAS berfungsi untuk mengangkut dan mensirkulasikan air pendingin reaktor. Sistem pendingin sekunder menggunakan pipa baja karbon ASTM A53-B DN 500 Sch 10 dengan diameter nominal 508 mm. Spesifikasi pipa-pipa penyusun sistem pendingin sekunder RSG-GAS, ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pipa pendingin sekunder RSG-GAS

	Jenis Pipa
Material	Baja karbon
Standard	ASTM A53-B
NPS	DN 500 Sch 10
Diameter (mm)	20"
Ketebalan (mm)	9
σ_{UTS} (N/mm ²)	401
σ_{YS} (N/mm ²)	236

2. DASAR TEORI

2.1. Pengertian Dasar Pipa

Nomenklatur pipadidefinisikan berdasarkan suatu code/standard (ASME, DIN, API dan lain-lain). Ukuran pipadinyatakan dalam NPS (*Nominal Pipe Size*), dimana NPS menyatakan diameter luar dan *schedule* menyatakan ketebalan pipa. Dalam skala Metrik NPS setara dengan DN atau "Nominal Diameter". Dalam standar ISO penggunaan metrik berlaku untuk semua pipa, baik itu pipa gas alam, pipa minyak, dan pipa lain-lain. Tabel 2 menunjukkan ukuran penyebutan pipa ukuran nominal pipa.

Tabel 2. Diameter nominal dan ukuran normal pipa

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

Schedule menyatakan ketebalan pipa, dimana schedule tersebut 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 bisa mempunyai ketebalan yang berbeda sesuai

dengan schedule. Sebagai contoh pipa dengan NPS 20 atau DN500 dengan schedule 10 maka tebalnya 6,350 mm, sedangkan schedule 20 tebalnya 9,525 mm dan schedule 30 tebalnya 12,700 mm. Ketebalan pipa seperti ditunjukkan pada tabel 3 di bawah.

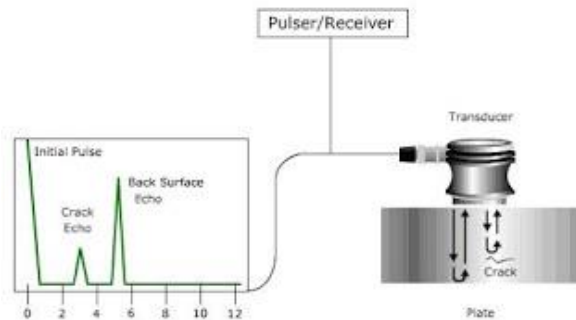
Tabel 3. Ukuran diameter dan ketebalan pipa

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)

2.2. Prinsip Dasar Uji Ultrasonik

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

Prinsip dasar pengujian ultrasonik (UT) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji, kemudian sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan interpretasikan. Gelombang ultrasonik yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 – 20 MHz. Gelombang ultrasonik ini dibangkitkan oleh transducer dari bahan piezoelektrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi.



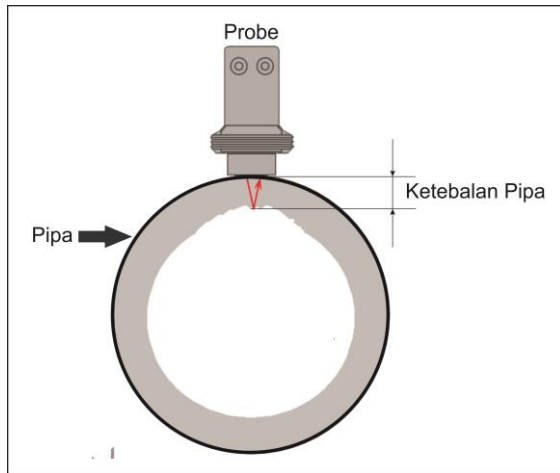
Gambar 1. Prinsip dasar uji ultrasonik

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)

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 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

2.3. Perhitungan Ketebalan Pipa Minimum dan Laju Penipisan Pipa

Perhitungan ketebalan pipa minimum dapat dilakukan dengan memakai rumus berikut:

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

Dimana :

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

Sedangkan untuk menghitung besarnya laju penipisan pipa dapat dihitung dengan cara :

$$L = \frac{t_1 - t_2}{s} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- L = laju penipisan
- t₁ = ketebalan pipa pengukuran awal
- t₂ = ketebalan pipa pengukuran akhir
- s = selang waktu pengukuran

3. TATA KERJA

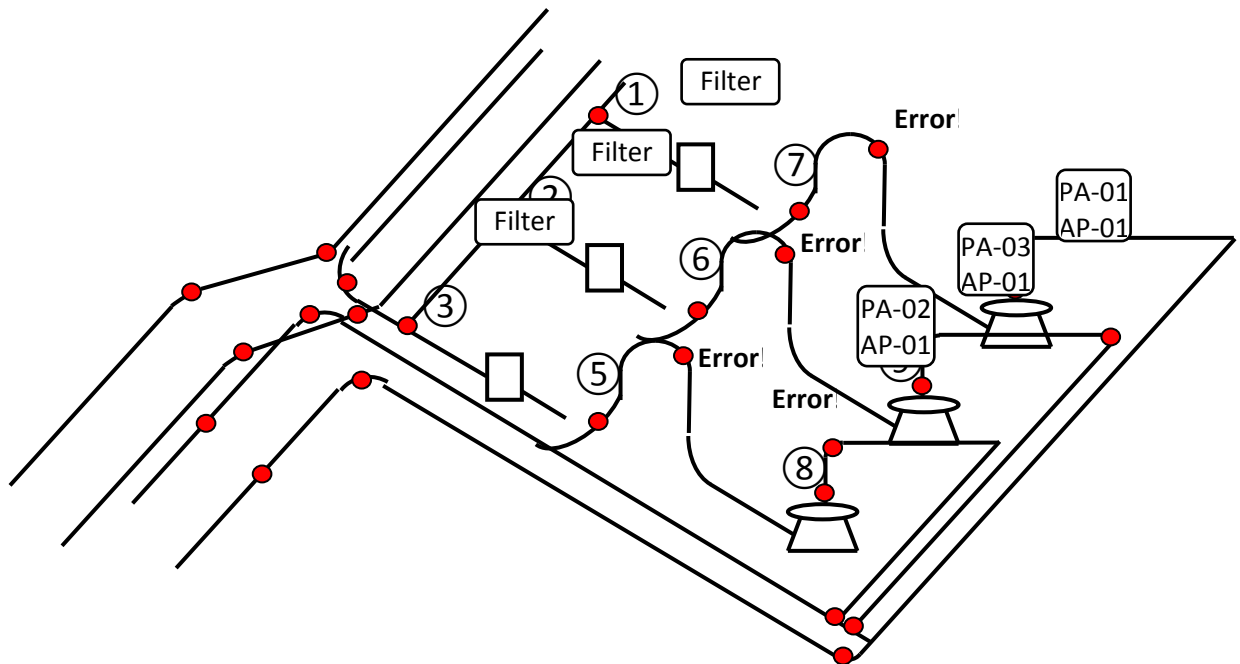
Implementasi kegiatan pemeriksaan ketebalan pipa dan perhitungan laju penipisan pipa sistem pendingin RSG-GAS dilakukan melalui beberapa tahap kegiatan, yaitu :

1. Pemilihan segmen
2. Penentuan titik pengukuran
3. Proses Pengukuran
4. Perhitungan ketebalan pipa minimum
5. Perhitungan laju penipisan dan prediksi umur

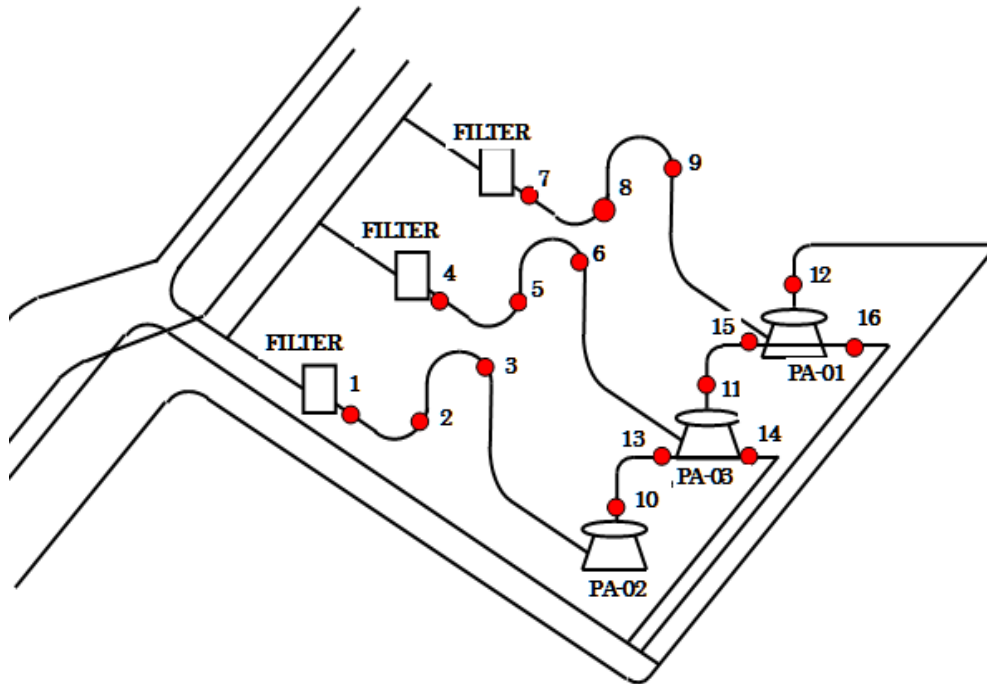
3.1. Pemilihan Segmen

Untuk keperluan pengukuran rangkaian pemipaan sistem pendingin primer reaktor, dibagi menjadi beberapa bagian / segmen berdasarkan konstruksi pipa. Mulai dari pipa lurus, *T-Joint*, *elbow*, *expansion* dan *reducer*. Karena banyak rangkaian pipa pendingin sekunder, maka tidak seluruh pipa dilakukan pengukuran tetapi hanya beberapa bagian/segmen saja yang mewakili untuk konstruksi pipa sejenis. Pemilihan segmen didasarkan pada bagian pipa yang mengalami laju penipisan paling besar atau daerah kritis. Daerah kritis tersebut adalah: *elbow*, *T-joint*, *expansion* atau *reducer*.

Segmen atau bagian yang mewakili pengukuran berdasarkan konstruksi pipa tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4 di bawah ini :



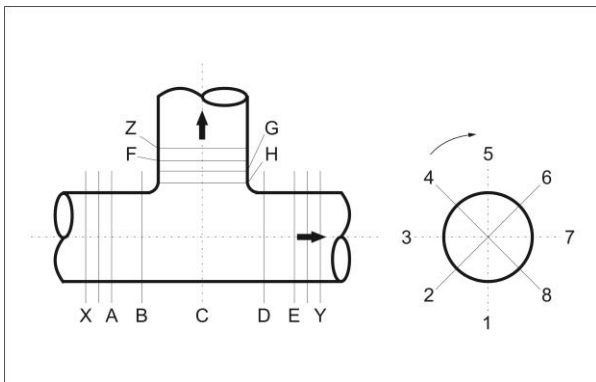
Gambar 3. Segmen pengukuran pipa pada pengukuran tahun 2009



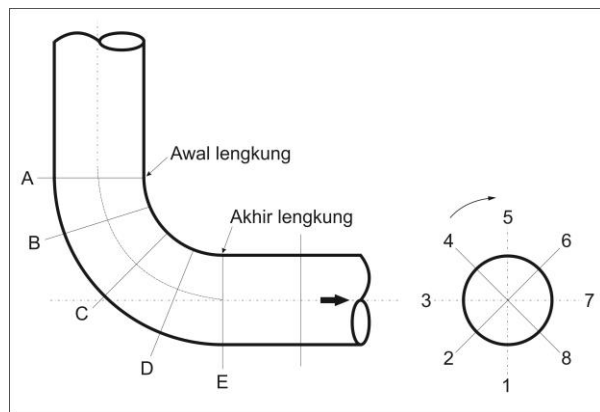
Gambar 4. Segmen pengukuran pipa pada pengukuran tahun 2015

3.2. Penentuan Titik Pengukuran

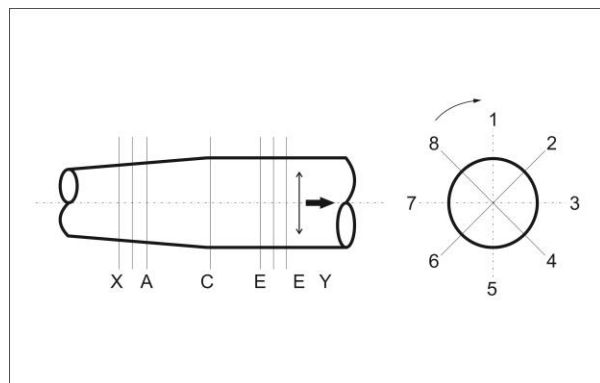
Penetapan titik pengukuran dilakukan berdasarkan konstruksi pemipaan yang mewakili konstruksi pipa sejenis. Gambar 5 menunjukkan penentuan titik pengukuran pada *T-joint*. Gambar 6 menunjukkan penentuan titik pengukuran pada *elbow*. Sedangkan untuk penentuan titik pengukuran pada *reducer*, ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Titik pengukuran konstruksi pipa T-Join



Gambar 6. Titik pengukuran konstruksi pipa elbow

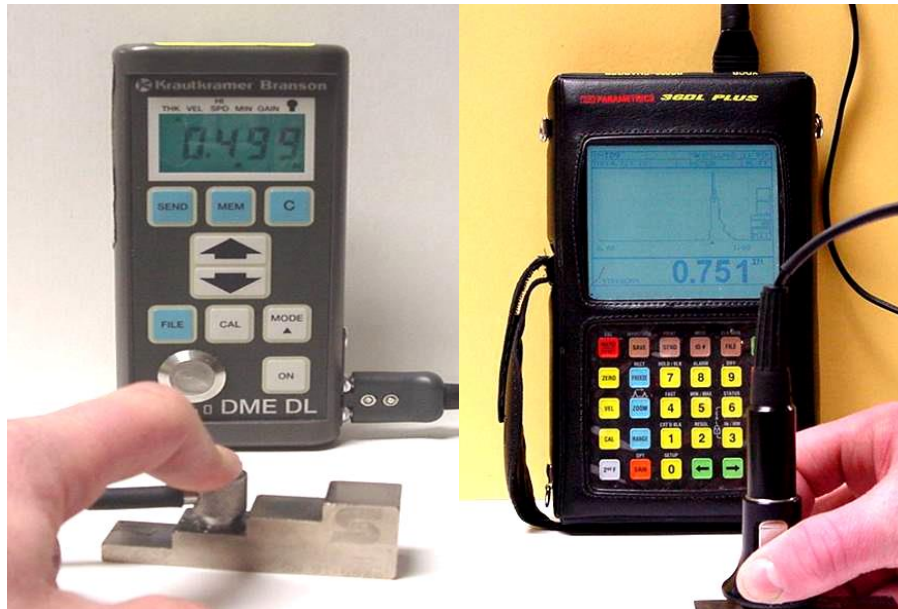


Gambar 7. Titik pengukuran konstruksi pipa reducer

3.3. 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 T-Joint, elbow, atau reducer yang telah ditentukan berdasarkan point 3.1 dan 3.2.

3.4. Perhitungan ketebalan pipa minimum

Perhitungan ketebalan minimum pipa menggunakan persamaan 1

3.5. Perhitungan laju penipisan dan prediksi umur pipa

Perhitungan laju penipisan dan prediksi umur pipamenggunakan persamaan 2.

4.1. Hasil

Telah dilakukan pengukuran ketebalan pipa pendingin sekunder pada berbagai posisi. Pengukuran ketebalan pipa pendingin sekunder yang dilakukan pada tahun 2009 dapat dilihat pada tabel 4. Sedangkan hasil pengukuran ketebalan pipa pendingin sekunder yang dilakukan padatahun 2015 dapatdilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Hasil pengukuran ketebalan pendingin sekunder pada tahun 2009

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

No. Identifikasi : 5

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7,85	7,06	7,62	8,25	8,64	7,49	7,25	8,13
B	7,46	7,08	7,34	7,94	7,75	7,54	6,95	7,64
C	7,58	6,96	7,34	8,06	7,66	7,78	7,21	7,45
D	7,47	7,11	7,60	7,89	7,75	7,65	7,24	7,49
E	7,35	6,93	7,19	7,43	7,72	7,45	7,33	7,29

No. Identifikasi : 6

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7,98	7,28	8,38	8,27	8,31	7,35	7,75	8,25

B	7,85	7,06	7,58	7,50	7,38	7,04	6,98	6,85
C	7,04	7,38	7,15	7,54	7,82	7,80	7,32	7,09
D	7,46	6,96	7,12	7,65	7,90	7,75	7,25	7,34
E	7,10	7,29	7,21	6,88	7,62	7,62	7,03	7,06

No. Identifikasi : 7

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6,65	6,73	6,82	6,44	7,01	7,16	7,11	7,01
B	6,74	6,65	6,72	6,94	7,18	7,34	7,12	6,71
C	6,86	7,02	6,66	7,01	7,14	7,15	7,15	6,82
D	6,91	6,85	6,81	6,85	6,95	7,15	7,36	6,75
E	6,87	6,76	6,52	6,85	6,85	6,72	6,90	6,59

No. Identifikasi : 8

Reducer

	1	2	3	4
A	9,60	8,73	9,49	9,76
C	10,19	10,62	9,93	9,80
E	10,75	10,93	11,05	10,42

No. Identifikasi : 9

Reducer

	1	2	3	4
A	9,71	9,62	8,89	9,50
C	9,45	8,92	8,58	8,63
E	7,82	7,77	7,63	7,58

No. Identifikasi : 10

Reducer

	1	2	3	4
A	11,82	12,25	12,14	12,07
C	11,09	11,05	11,31	11,21
E	9,89	10,23	9,91	9,93

No. Identifikasi : 21

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	8,86	7,09	6,93	7,59	6,80	6,86	7,03	7,70
B	7,04	6,96	6,80	6,86	6,91	6,79	7,18	7,29
C	7,15	6,80	6,83	6,78	6,87	6,65	7,15	7,25
D	7,98	6,82	6,76	6,69	7,01	6,85	7,16	7,06
E	7,00	6,68	6,83	6,72	7,50	6,83	7,01	7,20

No. Identifikasi : 22

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7,65	7,33	7,09	4,92	7,30	6,83	7,24	7,53
B	7,76	7,55	7,28	7,02	7,47	7,05	7,7	7,86
C	7,69	7,59	7,53	7,21	7,44	7,01	8,30	7,93
D	7,13	7,69	7,32	6,89	7,35	7,08	7,41	7,66
E	7,32	7,30	7,13	6,70	7,56	7,33	7,25	7,30

No. Identifikasi : 23

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	7,72	7,48	6,68	7,20	6,53	7,04	7,46	7,87
B	8,08	8,09	7,42	7,35	6,73	7,08	7,89	8,12
C	8,19	7,31	7,18	7,58	6,90	6,93	7,27	8,11
D	8,07	7,23	7,03	6,65	7,38	7,56	7,35	7,97
E	7,28	7,22	7,12	7,07	7,66	7,40	7,41	7,91

No. Identifikasi : 24

Elbow : 90°

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	9,15	10,30	10,45	9,48	9,76	9,70	9,38	9,52
B	9,69	10,12	10,43	9,61	10,04	9,79	9,73	9,42
C	9,47	10,09	10,38	10,10	9,81	9,98	9,86	9,48

Tabel 5. Hasil pengukuran ketebalan pendingin sekunder pada tahun 2015

No. Identifikasi : 1

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,98	6,70	6,67	6,68

No. Identifikasi : 2

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,73	6,67	6,96	6,59

No. Identifikasi : 4

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,89	7,10	8,40	6,63

No. Identifikasi : 5

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,75	6,44	6,65	7,14

No. Identifikasi : 7

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,35	6,67	6,71	6,78

No. Identifikasi : 8

Elbow : 90°

Nomor	1	2	3	4
HasilPengukuran	6,71	6,36	6,30	6,57

4.2. Pembahasan

Dari data hasil pengukuran, ternyata tidak semua segmen dapat diukur. Sehingga hanya beberapa segmen saja yang memiliki data pengukuran yang lengkap (data pengukuran tahun 2009 dan 2015)

berdasarkan pemilihan lokasi. Segmen yang bersesuaian tersebut terdapat pada *elbow* setelah keluar dari filter mekanik. Tebal rata-rata hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 6, berikut.

Tabel 6. Segmen yang bersesuaian pada pengukuran tahun 2009 dan 2015.

Jenis segmen	Pengukuran tahun 2009	Pengukuran tahun 2015	Tebal rata-rata tahun 2009	Tebal rata-rata tahun 2015
<i>elbow</i>	Segmen no 5	Segmen no 2	7,523	6,738 + 0,300 ^{*)}
<i>elbow</i>	Segmen no 6	Segmen no 5	7,471	6,745 + 0,300 ^{*)}
<i>elbow</i>	Segmen no 7	Segmen no 8	6,974	6,485 + 0,300 ^{*)}
<i>reducer</i>	Segmen no 8	Segmen no 10	10,105	Tidak ada data
<i>reducer</i>	Segmen no 9	Segmen no 11	8,673	Tidak ada data
<i>reducer</i>	Segmen no 10	Segmen no 12	11,075	Tidak ada data
<i>elbow</i>	Segmen no 21	Segmen no 9	7,213	Tidak ada data
<i>elbow</i>	Segmen no 22	Segmen no 6	7,664	Tidak ada data
<i>elbow</i>	Segmen no 23	Segmen no 3	7,712	Tidak ada data
	Rata-rata		7,323	6,656 + 0,300 ^{*)}

Keterangan ^{*)} adalah tebal lapisan cat.

Dari data pengukuran diperoleh tebal rata-rata pada segmen yang saling bersesuaian adalah: 7,323 mm (hasil pengukuran tahun 2009) dan 6,956 mm (hasil pengukuran tahun 2015)

Perhitungan laju penipisan pipa

Berdasarkan hasil pengukuran di atas maka yang bisa ditentukan laju penipisan hanya pada segmen no 5, 6 dan 7 (pengukuran tahun 2009) dengan segmen no 2, 5 dan 8 (pengukuran tahun 2015). Dengan menggunakan persamaan 2, besarnya laju penipisan pipa yaitu sebesar :

$$L = \frac{t_1 - t_2}{s}$$

Dimana :

L = laju penipisan

t_1 = ketebalan pipa pengukuran awal = 7,323 mm

t_2 = ketebalan pipa pengukuran akhir = 6,656 mm

s = selang waktu pengukuran = 2015 – 2009 = 6 tahun

Sehingga besarnya laju penipisan pipa $L = (7,323 - 6,956) \text{ mm} / 6 \text{ tahun} = 0,061 \text{ mm/tahun}$.

Perhitungan tebal minimum pipa

Untuk menghitung tebal minimum pipa yang diijinkan dapat digunakan persamaan 1, yaitu :

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

Dimana :

S = tegangan ijin bahan

$\sigma_{y \text{ pipa}} = 270 \text{ N/mm}^2$

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

S = tekanan ijin bahan = $\left(\frac{\sigma_y}{Ak}\right) = 270 \text{ N/mm}^2 / 5 = 54$

$\text{N/mm}^2 = 54 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

P = tekanan kerja pompa

= 10 bar = $10 \times 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,0133 \cdot 10^6$

N/m^2

D = diameter nominal pipa (DN500)

= 508 mm = 0,508 m

t = ketebalan pipa,

maka diperoleh nilai ketebalan pipa, adalah :

$$\begin{aligned} t &= \frac{P \cdot D}{2 \cdot S} \\ &= (1,0133 \cdot 10^6 \times 0,508) / (2 \times 54 \cdot 10^6) \\ &= 0,004766 \text{ m} = 4,766 \text{ mm} \end{aligned}$$

Prediksi umur pipa

Dengan kondisi tebal pipa hasil pengukuran tahun 2015 rata-rata sebesar 6,956 mm, tebal minimum yang diijinkan sebesar 4,766 mm dan laju penipisan sebesar 0,061 mm/tahun, maka dapat diprediksi umur pipa mampu bertahan selama :

Prediksi umur pipa = $(6,956 - 4,766) \text{ mm} / 0,061 \text{ mm/tahun} = 35,9 \text{ tahun}$

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Laju penipisan pipa sekunder pada bagian bagian yang paling kritis yaitu pada *elbow* sebesar 0,061 mm/tahun.
- Dengan laju penipisan pada ketiga *elbow* sebesar 0,061 mm/tahun maka diprediksi umur pipa mampu bertahan selama 35,9 tahun.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ASME, Standard ASME B36.19M-2004. Revision of ANSI/ASME B36.19M-1985.
2. ROZIQ HIMAWAN, SRIYONO, SYAFRUL, HENDRA PRASETYA, "Analisis Ketebalan Pipa Pendingin Sekunder RSG-GAS" Sigma Epsilon Volume 12 No 3. Tahun 2008 ISSN 0853 - 9103.
3. ASME B31.3 Process Piping Guide Revision 2 Chapter 17 Pressure Safety Section D20-B31.3-G Rev. 2, 3/10/09.
4. Laporan hasil pengukuran ketebalan pipa pada sistem pendingin sekunder reaktor serba guna G.A. Siwabessy tahun 2009 dan tahun 2015.