

PENENTUAN DEGRADASI KEMAMPUAN SISTEM PEMIPAAN PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS

Djaruddin Hasibuan, Yan Bony Marsahala, Putut Hery Setiawaan
Badan Tenaga Nuklir Nasional-Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-Kawasan Puspiptek
Gedung 71, Tangerang Selatan 15310

ABSTRAK

PENENTUAN DEGRADASI KEMAMPUAN SISTEM PEMIPAAN PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS, Telah dilakukan penelitian penentuan degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder di Reaktor serba Guna-G.A.Siwabessy (RSG-GAS) Serpong. Penelitian yang dilakukan meliputi: pengujian kekerasan material dinding pipa dan inspeksi ketebalan dinding pipa. Hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh nilai kekerasan minimum adalah 139 BHN dan tebal minimum pipa (t_m) is 1,085 mm. Kedua data ini digunakan untuk menentukan degradasi kemampuan pada kondisi operasi normal saat ini. Perbandingan tegangan maksimum hasil penelitian ini dengan tegangan maksimum pada rancangan awal adalah merupakan besaran degradasi kemampuan sistem pemipaan tersebut. Dengan diketahuinya degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder ini, maka sistem manajemen perawatan sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS dapat ditentukan, dan pengoperasian reaktor yang aman dan handal dapat dipertahankan.

Kata kunci: *degradasi, kemampuan, sistem pemipaan, pendingin sekunder.*

ABSTRACT

A DETERMINATION OF DEGRADATION CAPABILITY OF RSG-GAS PIPING SECONDARY COOLING SYSTEM. A research of degradation capabilities of RSG-GAS secondary cooling piping system has been done in G.A. Siwabessy Multy Purpose Reactor Serpong. The research involved hardness test and thickness inspection of the pipe wall. The results of the research are 139 BHN and 1,085 mm for minimum hardness and minimum thickness of the pipe wall respectively. Booth of these data were used to determine the current maximum stress of the pipe. The magnitude of degradation capability is defined as the ratio of current stress and design time stress value. By knowing (measuring) the degradation capability of the RSG-GAS secondary cooling system, better maintenance management system could be established in order to maintain safe and reliable operation of the reactor.

Key words: *degradation, capability, piping system. Secondary cooling system.*

1. PENDAHULUAN

Sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS adalah bagian penting dari reaktor riset RSG-GAS, karena bagian ini adalah bagian yang berperan untuk mensirkulasikan air pendingin sekunder. Pemipaan sistem pendingin sekunder ini terbuat dari bahan baja karbon dengan tebal pipa $t = 6,3$ mm. Air pendingin sekunder ini berfungsi untuk mengambil panas dari pendingin primer melalui penukar panas. Panas ini berasal dari reaksi fisi di dalam teras reaktor, yang disirkulasikan dari kolam reaktor melalui pipa pendingin primer, tangki tunda (*delay chamber*) hingga penukar panas (*heat exchanger*). Dari penukar panas ini, panas diangkut ke menara pendingin oleh air pendingin sekunder untuk selanjutnya dibuang ke udara bebas^[1]. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen reaktor lainnya, sistem pemipaan pendingin sekunder ini juga akan mengalami degradasi kemampuan sejalan dengan berlalunya waktu.

Degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS ini dapat terjadi sebagai akibat pengikisan (*erotion*), pengkaratan (*corroton*), pembebanan berlebih maupun akibat kelelahan (*fatigue*)^[2]. Setelah beroperasi selama lebih dari 22 tahun, pemipaan sistem pendingin sekunder ini perlu diteliti agar degradasi kemampuannya dapat diketahui secara pasti. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan jaminan keselamatan dalam pengoperasian reaktor pada usia yang sudah melewati paruh umur ini. Untuk mengetahui besarnya nilai degradasi tersebut telah dilakukan kegiatan yang meliputi pengujian kekerasan dinding pipa dengan menggunakan peralatan "*Brinnel Hardnes Tester*" dan pemeriksaan ketebalan dinding pipa dengan menggunakan "*Ultrascan 5 Ultrasonic*".

Dari hasil penelitian kekerasan yang dilakukan akan diperoleh angka kekerasan (BHN) dari material dinding pipa tersebut yang berguna untuk menentukan tegangan putus (*Ultimate tensile strength*) terkini. Sedangkan dari hasil pengukuran ketebalan diperoleh ketebalan minimum dinding pipa terkini. Keseluruhan hasil penelitian yang diperoleh ini akan digunakan sebagai dasar perhitungan dengan menggunakan persamaan NB-3640 ASME Code 31.1^[3] untuk menentukan kemampuan terkini dari sistem pemipaan tersebut. Selisih perbandingan kemampuan terkini dengan kemampuan rancangan awalnya adalah merupakan besaran degradasi kemampuan dari sistem pemipaan tersebut.

Dengan diketahuinya besaran degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder ini, maka arah kebijakan perawatan sistem pemipaan pendingin sekunder ini dapat ditentukan, sehingga pengoperasian reaktor yang aman dan handal dapat dipertahankan.

2. TEORI

Parameter yang dibutuhkan pada penentuan degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder ini adalah karakteristik dari sistem pemipaan itu sendiri pada kondisi awal dan pada kondisi sekarang. Dalam kegiatan penelitian ini bagian sistem pemipaan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah pipa distribusi (DIN 2673) yang mengalirkan air pendingin sekunder dari penukar panas menuju ke menara pendingin (pipa A dan B), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 (terlampir).

Sesuai dengan rancangan awalnya yang diperoleh dari dokumen rancangan yang diberikan oleh pemasok,

karakteristik bagian sistem pemipaan yang diukur ini ditunjukkan pada Tabel 1^[1] berikut.

Tabel 1. Karakteristik pipa sistem pendingin sekunder

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Material | R St 37,2 |
| Standar | DIN 2673 |
| Diameter luar Pipa [mm] | 508 |
| Ketebalan pipa [mm] | 6,3 |
| UTS [N/mm ²] | 360 |
| Yield stress [N/mm ²] | 235 |

Setelah beroperasi lebih dari 22 tahun sistem pemipaan ini secara umum akan mengalami penurunan kemampuan sebagai akibat penuaan^[2], sehingga untuk mengetahui karakteristik pipa saat ini perlu dilakukan penelitian berupa pengukuran ketebalan dan kekerasan dari dinding pipa.

Untuk menentukan besarnya tegangan patah (*ultimate tensile stress* = *UTS*) terkini digunakan persamaan (1)^[4] berikut.

$$UTS = 500 \text{ BHN psi} \dots \dots \dots (1)$$

$$UTS = \textit{Ultimate tensile stress}$$

$$BHN = \text{Angka kekerasan Brinnel (Brinnel Hardnes Test)}$$

Data-data lain yang diperlukan dalam penentuan degradasi sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS ini adalah karakteristik dari pompa penggerak air pendingin sekunder yang mengalir di dalam pipa sekunder tersebut seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tasbel 2. Karakteristik pompa pemasok^[1]

(PA-01/AP001/AP002)

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| Tipe | Sentrifugal, <i>single stage</i> |
| Media alir | Air tanah |
| Tekanan desain | 8 bar, gauge |
| Temperatur desain | 50°C |
| Head total | 28 m |
| Debit | 1950 m ³ /jam |

Dari Tabel 2 di atas, terlihat bahwa tekanan desain pompa (P_{DP}) = 8 Bar, tekanan ini merupakan tekanan maksimum yang mungkin terjadi di dalam pipa, sehingga dibuat menjadi dasar perhitungan.

Untuk melakukan penentuan degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS ini digunakan persamaan NB-3640 ASME Code 31.1, seperti ditunjukkan pada persamaan (2) berikut:

$$t_m = \frac{PD_o}{2(S_m + P.y)} + A \dots \dots \dots (2)^{[3]}$$

dengan t_m = tebal minimum pipa

P = tekanan dalam yang direncanakan, sama dengan tekanan desain pompa sekunder = 8 bar.

D_o = diameter luar pipa sekunder
= 508 mm

S_m = tegangan ijin maksimum dari material pipa baja karbon yang baru pada suhu operasi dibawah 200°F atau 93,3°C = 16200 psi^[5]. Sedangkan tegangan ijin maksimum sesudah beroperasi beberapa lama ditentukan dari *Ultimate Tensile Strength* /k, dimana k = 1,8 untuk *service level B*, k = 2,25 untuk *service level C* dan k = 3,33 untuk *service level D (Non Safety clas)*^[3].

A = tambahan ketebalan yang diperuntukkan untuk mengantisipasi penguliran dan erosi = 0,05 in.

y = 0,4

Persamaan (2) ini digunakan untuk menentukan tebal minimum pipa yang akan digunakan pada saat awal perancangan. Hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan ini merupakan ketebalan minimum pipa pada saat awal rancangan.

Jika pada persamaan (2) di atas, disubsitusikan harga ketebalan pipa yang dipilih pada saat awal dan ketebalan pipa dari hasil pengukuran, maka akan diperoleh besarnya tekanan maksimum yang dapat diterima dinding pipa pada saat awal desain dan pada saat ini.

Penentuan degradasi kemampuan pipa dilakukan dengan cara membandingkan kemampuan pipa terhadap tekanan pada saat desain awal, dengan kemampuan pipa terhadap tekanan dengan ketebalan pipa minimum setelah beroperasi (tebal minimum terkini).

3. METODE PELAKSANAAN

Untuk menentukan degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder reaktor RSG-GAS ini perlu dilakukan tahapan tahapan sebagai berikut:

- 1) Pengukuran ketebalan material dinding pipa.
- 2) Pengujian kekerasan material dinding pipa
- 3) Penentuan kemampuan pipa pada kondisi awal dan kondisi terkini
- 4) Penentuan degradasi kemampuan pipa

3.1 Pengukuran ketebalan material dinding pipa

Untuk mengetahui ketebalan dinding pipa pendingin sekunder telah dilakukan pengukuran ketebalan pipa tersebut dengan menggunakan peralatan ukur ketebalan "Ultrascan 5 Ultrasonik". Pemilihan lokasi pengukuran dilakukan secara acak (random) pada dua bentangan pipa pendingin sekunder yang mengalirkan air pendingin menuju menara pendingin. Pengukuran dilakukan pada 8 titik pengukuran dengan jarak setiap titik pengukuran adalah ± 4 m. Kedua bentangan pipa yang diukur dinamai pipa A dan pipa B seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data hasil pengukuran untuk pipa A untuk setiap titik pengukuran diberi nama: BGA1, BGA2, BGA3, BGA4, BGA5, BGA6, BGA7, BGA8, sedangkan untuk pipa B diberi nama: BGB, BGB2, BGB3, BGB4, BGB5, BGB6, BGB7 dan BGB8. Pada setiap titik pengukuran, luas permukaan yang diukur adalah 30 x 30 cm, dengan jarak setiap titik yang diukur adalah 0,5 cm.

3.2 Pengujian kekerasan

Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat fisik yang dimiliki bahan baja karbon yang sangat berguna dalam menentukan pemanfaatan logam tersebut dalam satu kegiatan teknologi. Dengan mengetahui kekerasan baja karbon kita dapat menentukan sifat-sifat lain dari material baja karbon tersebut

Untuk menentukan tegangan putus terkini dari dinding pipa sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS, terlebih dahulu dilakukan pengujian kekerasan dari material dinding pipa tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan dengan Gambar 2. Cuplikan Uji kekerasan

Cuplikan ini diuji kekerasannya agar diketahui kekerasannya setelah beroperasi pada jangka waktu tertentu. Pengujian yang dilakukan menggunakan peralatan Uji kekerasan Vickers, namun hasil ini dapat dikonversi dalam bentuk BHN.

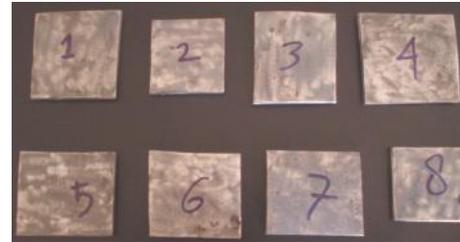
3.3 Penentuan kemampuan pipa pada kondisi awal dan kondisi terkini.

Kemampuan pipa pada kondisi awal dan kondisi sekarang adalah merupakan kemampuan pipa tersebut menahan tekanan zat alir dari dalam pada masing-masing keadaan. Pada keadaan yang masih baru, kemampuan pipa pendingin sekunder diperoleh dengan menggunakan persamaan (2). Dengan mensubstitusikan nilai-nilai parameter pipa pada masing-masing keadaan (t_m , D_o , S_m , A dan Y), maka akan diperoleh nilai kemampuan pipa terhadap tekanan yang timbul pada setiap keadaan.

Penentuan degradasi kemampuan pipa

Degradasi kemampuan adalah merupakan selisih kemampuan pada saat rancangan awal (baru) dengan

cara mengambil 8 buah cuplikan secara random dari pipa tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



kemampuan terkini, setelah beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Setelah kemampuan pipa diperoleh pada saat baru dan pada saat setelah beroperasi dalam kurun waktu tertentu, maka kedua hasil ini diperkurangkan sehingga selisih keduanya dapat diketahui. Selisih hasil pengurangan ini dalam persen adalah nilai degradasi kemampuan pipa tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

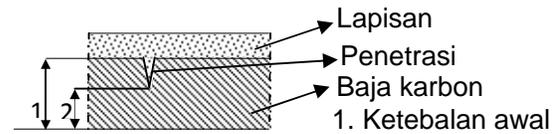
Dari uraian-uraian yang dikemukakan di atas diketahui bahwa, pada kondisi awal (baru) dinding pipa sistem pendingin sekunder yang diteliti adalah $t = 6,3$ mm. Setelah beroperasi lebih dari 22 Tahun, dilakukan pengukuran dan diperoleh hasil pengukuran ketebalan dengan tebal pipa yang bervariasi antara 8,25 mm s/d 1,085 mm, dengan ketebalan rata-rata $t_r = 4,6675$ mm, contoh hasil pengukuran lihat lampiran 2. Hal ini berarti bahwa terjadi perubahan ketebalan pipa secara signifikan. Daerah yang mengalami penebalan dari ketebalan awal, diperkirakan terjadi karena endapan atau pengerakan yang disebabkan oleh pembentukan lapisan anti karat (alumina) yang dibentuk sebagai akibat penambahan zat kimia pencegah karat (*inhibitor*) kedalam air pendingin sekunder

secara berkesinambungan. Oleh karena itu, kondisi pipa saat ini terdiri dari 2(dua) lapisan. Lapisan pertama adalah merupakan bentukan anti karat (alumina), lapisan kedua terdiri dari baja karbon yang merupakan dinding pipa. Jika diamati dari variasi ketebalan pipa tersebut yang diperoleh dari hasil pengukuran, terlihat adanya bagian dinding pipa yang sudah menipis di beberapa titik tertentu. Titik titik yang mengalami penipisan ini adalah merupakan titik yang disebabkan proses pengkaratan yang tersebar secara acak pada seluruh permukaan pipa. Jika

Dari Gambar 3 di atas, terlihat bahwa lapisan Alumina dan dinding pipa merupakan satu lapisan yang menyatu. Lapisan alumina yang berasal dari proses pengkaratan yang mengandung zat besi (Fe), akan terdeteksi sebagai baja karbon. Sedangkan yang berasal dari luar berupa kotoran yang terikut dalam air seperti lumpur atau endapan lain yang bersal dari lumut dan bakteri tidak terdeteksi sebagai bagian dari pipa walaupun sifatnya keras mendekati baja karbon. Lapisan Alumina ini terletak di bagian dalam pipa dengan ketebalan yang bervariasi antara 1 s/d 1,7 mm, dengan permukaan bergelombang.

Sedangkan bagian dinding pipa yang mengalami penipisan sampai melebihi batas yang diijinkan < 3,11 mm, diperkirakan sebagai akibat terjadinya pengikisan akibat pengkaratan. Bagian ini terisi kerak lumpur yang mengakibatkan terjadinya pembentukan peneterasi sempit (*fitting corrosion*) pada titik-titik tertentu. Kalau diperhatikan secara seksama penetrasi sempit ini ditutupi oleh kerak yang keras, sehingga seakan-akan tidak berpengaruh pada pengurangan kemampuan bahan pipa. Hal ini terlihat karena sampai saat ini sistem pemipaan pendingin sekunder masih aman dioperasikan. Namun tidak dapat dipungkiri, bahwa keadaan seperti ini perlu mendapat perhatian yang serius,

diamati secara teliti, terlihat bahwa titik-titik yang menipis ini merupakan penetrasi sempit (*fitting corrosion*), yang pada permukaan atasnya ditutupi oleh lapisan Alumina anti karat, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Penetrasi sempit (*Fitting corrosion*)

karena bagian ini berpotensi menimbulkan kegagalan pengoperasian reaktor. Demikian juga dari hasil pengujian kekerasan yang dilakukan, diperoleh hasil pengujian seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Angka kekerasan cuplikan

| Spesimen No. | Vickers | Brinnel |
|--------------|---------|------------|
| 1 | 148 | 146 |
| 2 | 150 | 149 |
| 3 | 146 | 144 |
| 4 | 144 | 144 |
| 5 | 141 | 139 |
| 6 | 144 | 144 |
| 7 | 148 | 146 |
| 8 | 154 | 153 |

Dari Tabel 3 di atas, terlihat bahwa nilai kekerasan minimum adalah 139 BHN, yaitu pada cuplikan No.5. Nilai kekerasan minimum ini adalah nilai kekerasan yang paling rendah, sehingga dalam evaluasi, nilai ini digunakan sebagai dasar perhitungan karena dianggap sebagai nilai

paling kritis. Dengan menggunakan persamaan (1), diperoleh tegangan patah material pipa pendingin sekunder RSG-GAS adalah $UTS = 69500$ psi, sedangkan pada kondisi awal, $UTS = 360 \text{ N/mm}^2$, $= 3600 \text{ N/cm}^2 = 52920$ psi. Hal ini berarti bahwa kekerasan bahan pipa semakin meningkat, sebagai akibat terjadinya kenaikan suhu pada saat reaktor beroperasi dan penurunan suhu pada saat reaktor di shutdown. Jika tegangan patah material dinding pipa kondisi terkini adalah $UTS = 69500$ Psi, maka Tegangan maksimum yang diijinkan (*allowable stress*) pada dinding pipa adalah $S_m = \frac{UTS}{3,333} = 20852$ Psi.

Jika dilakukan perhitungan kemampuan pipa pada keadaan awal, dengan menggunakan persamaan (2), diperoleh kemampuan pipa terhadap tekanan $P = 403,37$ Psi atau sama dengan $P = 27,5$ Bar. Dalam pengoperasiannya, pipa ini mengalami tekan maksimum sama dengan tekanan maksimum pompa, $P = 8$ Bar atau sama dengan $P = 117,6$ Psi. Jika nilai tekanan ini disubsitusikan pada persamaan (2), diperoleh tebal dinding pipa minimum (t_m) = 3,11 mm. Namun demikian, pemilihan pipa tidak hanya didasarkan pada hasil perhitungan, tapi juga dipengaruhi oleh kondisi ketersediaan barang di pasar serta kesesuaiannya dengan standar pipa yang tersedia. Dalam hal ini Interatom sebagai pemasok memilih penggunaan pipa dengan standar DIN 2673, material R St 37,2 dengan diameter luar $D_o = 508$ mm atau sama dengan $D_o = 20$ in dengan ketebalan dinding 6,3 mm.

Jika ketebalan minimum hasil pengukuran (t_m) = 1,085 dan $S_m = 20852$ Psi, disubsitusikan pada persamaan (2), maka diperoleh kemampuan pipa terhadap tekanan yang timbul dari dalam pipa adalah $P = 6,082$ Bar. Kemampuan pipa ini lebih rendah dari kemampuan pipa

pada operasi maksimum sebesar $P = 8$ Bar. Namun karena bagian pipa yang mengalami peneterasi sempit ini tertutupi oleh lapisan kerak yang keras, maka pengoperasian reaktor sampai saat ini masih dalam keadaan aman. Selain itu, jika tingkat kekritisitas telah mencapai puncaknya, pipa hanya mengalami keboran kecil pada bagian peneterasi sempit yang terdeteksi. Keadaan ini akan menjadi indikator untuk pergantian pipa secara keseluruhan.

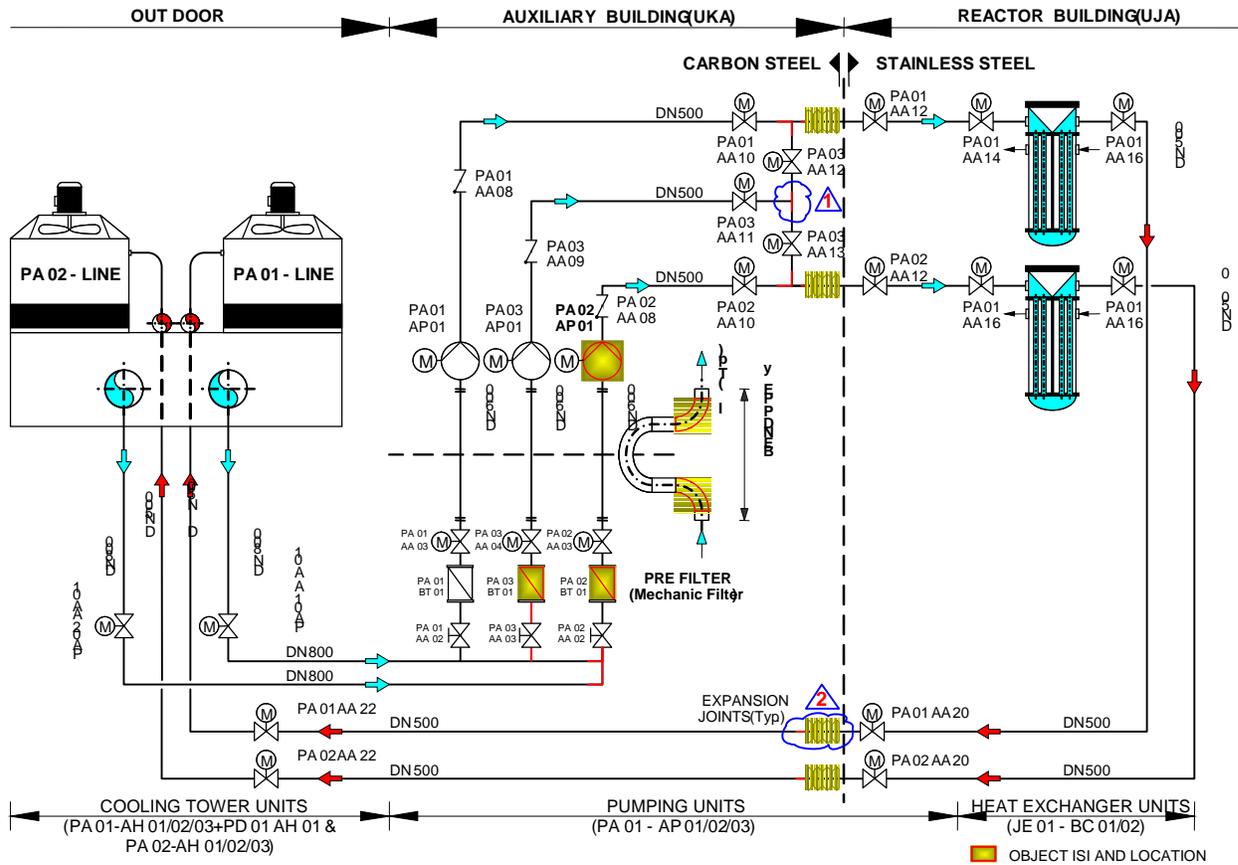
5. KESIMPULAN

Dari uraian-uraian yang dikemukakan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Degradasi kemampuan sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS telah mengalami kekritisitas.
2. Arah kebijakan pemeliharaan sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS perlu diarahkan pada rencana pergantian pipa.
3. Setelah beroperasi selama 22 tahun lebih, degradasi kemampuan pipa mencapai 77,9%

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonymous, MPR 30. G.A. Siwabessy Safety Analysis Report, Vol:2, 1989.
2. PAUL STARTHES, Methodology for Management of Ageing Reactor Mechanical Coumponent, ANSTO, Australia 2005
3. Anonimous, ASME, Boiler and Pressure Vessel code section III Devision 1, sub section NF 1989 edition, including 1989 addenda.
4. AARON D. DEUTSCHMAN, WALTER J MICHELS, CHARLES E WILSON, Machine Design, Theory and Practice, Macmillan Publishing Co, INC, New York 1975.
5. HOWARD F. RASE and JAMES R. HOLMES, Piping Design for Process Plants, John Wiley and sons, Austin Texas 1963.



Gambar 1. Skema sistem pemipaan pendingin sekunder RSG-GAS, A dan B adalah object penelitian

Contoh hasil pengukuran ketebalan dinding pipa

Hasil pengukuran pada Titik BGB 7

Hasil pengukuran pada Titik BGB 7

X = arah radial, Y = arah tangensial

| Y \ X | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 295 | 6.183 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 3.797 | 8.027 | 1.085 | 6.183 | 6.075 | 2.06 | 6.183 | 8.244 | 5.641 | 2.061 | 6.075 |
| 290 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 1.085 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 8.19 | 1.52 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.085 | 6.075 |
| 285 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.302 | 3.851 | 2.929 | 6.183 | 3.363 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 5.315 | 6.183 |
| 280 | 1.953 | 1.302 | 6.183 | 2.061 | 8.136 | 6.183 | 1.085 | 3.2 | 8.136 | 7.919 | 6.075 | 7.81 | 3.254 | 6.183 | 4.068 | 6.183 | 7.973 |
| 275 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.953 | 6.075 | 3.959 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 3.308 | 7.973 | 8.081 | 7.919 | 7.864 | 1.085 | 6.183 | 6.183 |
| 270 | 6.183 | 8.081 | 1.302 | 3.471 | 4.068 | 3.308 | 2.983 | 1.736 | 2.983 | 4.881 | 7.756 | 1.09 | 3.851 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 4.881 |
| 265 | 6.075 | 2.983 | 6.183 | 1.302 | 1.302 | 8.081 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 8.136 | 1.085 | 6.183 | 1.41 | 1.953 | 1.953 |
| 260 | 8.081 | 8.027 | 4.664 | 7.919 | 4.719 | 4.773 | 2.983 | 4.827 | 6.183 | 1.519 | 6.183 | 1.52 | 3.2 | 6.075 | 1.519 | 1.085 | 3.525 |
| 255 | 7.539 | 8.081 | 2.929 | 6.075 | 2.983 | 1.302 | 2.929 | 2.929 | 1.736 | 2.169 | 2.169 | 3.417 | 1.519 | 3.092 | 8.081 | 1.953 | 1.953 |
| 250 | 2.929 | 6.183 | 7.647 | 7.485 | 6.183 | 8.027 | 4.176 | 4.176 | 8.027 | 7.973 | 3.2 | 8.407 | 3.308 | 1.193 | 8.19 | 3.905 | 6.183 |
| 245 | 2.929 | 2.603 | 1.519 | 4.447 | 2.929 | 4.881 | 8.027 | 8.027 | 8.081 | 8.081 | 8.081 | 3.092 | 8.244 | 1.085 | 6.183 | 1.953 | 1.953 |
| 240 | 7.919 | 4.176 | 7.973 | 7.973 | 4.176 | 3.308 | 3.959 | 7.919 | 8.081 | 1.193 | 6.183 | 6.183 | 5.424 | 6.183 | 2.169 | 4.068 | 1.519 |

Hasil pengukuran pada Titik BGB 7

Hasil pengukuran pada Titik BGB 7

X = arah radial, Y = arah tangensial

| Y \ X | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 295 | 6.183 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 3.797 | 8.027 | 1.085 | 6.183 | 6.075 | 2.06 | 6.183 | 8.244 | 5.641 | 2.061 | 6.075 |
| 290 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 1.085 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 8.19 | 1.52 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.085 | 6.075 |
| 285 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.302 | 3.851 | 2.929 | 6.183 | 3.363 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 5.315 | 6.183 |
| 280 | 1.953 | 1.302 | 6.183 | 2.061 | 8.136 | 6.183 | 1.085 | 3.2 | 8.136 | 7.919 | 6.075 | 7.81 | 3.254 | 6.183 | 4.068 | 6.183 | 7.973 |
| 275 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.953 | 6.075 | 3.959 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 3.308 | 7.973 | 8.081 | 7.919 | 7.864 | 1.085 | 6.183 | 6.183 |
| 270 | 6.183 | 8.081 | 1.302 | 3.471 | 4.068 | 3.308 | 2.983 | 1.736 | 2.983 | 4.881 | 7.756 | 1.09 | 3.851 | 6.183 | 6.075 | 6.183 | 4.881 |
| 265 | 6.075 | 2.983 | 6.183 | 1.302 | 1.302 | 8.081 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 8.136 | 1.085 | 6.183 | 1.41 | 1.953 | 1.953 |
| 260 | 8.081 | 8.027 | 4.664 | 7.919 | 4.719 | 4.773 | 2.983 | 4.827 | 6.183 | 1.519 | 6.183 | 1.52 | 3.2 | 6.075 | 1.519 | 1.085 | 3.525 |
| 255 | 7.539 | 8.081 | 2.929 | 6.075 | 2.983 | 1.302 | 2.929 | 2.929 | 1.736 | 2.169 | 2.169 | 3.417 | 1.519 | 3.092 | 8.081 | 1.953 | 1.953 |
| 250 | 2.929 | 6.183 | 7.647 | 7.485 | 6.183 | 8.027 | 4.176 | 4.176 | 8.027 | 7.973 | 3.2 | 8.407 | 3.308 | 1.193 | 8.19 | 3.905 | 6.183 |
| 245 | 2.929 | 2.603 | 1.519 | 4.447 | 2.929 | 4.881 | 8.027 | 8.027 | 8.081 | 8.081 | 8.081 | 3.092 | 8.244 | 1.085 | 6.183 | 1.953 | 1.953 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 240 | 7.919 | 4.176 | 7.973 | 7.973 | 4.176 | 3.308 | 3.959 | 7.919 | 8.081 | 1.193 | 6.183 | 6.183 | 5.424 | 6.183 | 2.169 | 4.068 | 1.519 |
| 235 | 4.773 | 7.973 | 4.176 | 7.973 | 4.719 | 4.827 | 4.773 | 2.929 | 3.254 | 8.081 | 3.037 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 1.953 | 6.183 | 6.183 |
| 230 | 4.231 | 4.068 | 4.339 | 7.919 | 7.864 | 7.864 | 1.953 | 2.983 | 3.254 | 4.827 | 4.881 | 8.081 | 3.363 | 6.075 | 1.519 | 1.736 | 2.169 |
| 225 | 4.285 | 7.973 | 7.919 | 7.81 | 4.664 | 4.664 | 7.864 | 3.308 | 6.075 | 3.092 | 2.061 | 6.183 | 1.519 | 2.929 | 6.183 | 6.183 | 1.302 |
| 220 | 4.122 | 4.176 | 2.929 | 7.647 | 1.519 | 8.027 | 4.122 | 3.2 | 3.959 | 3.146 | 1.519 | 2.169 | 2.169 | 8.19 | 4.014 | 6.183 | 6.183 |
| 215 | 4.176 | 3.308 | 7.973 | 3.688 | 4.719 | 2.983 | 8.027 | 4.176 | 7.864 | 1.519 | 8.136 | 7.864 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.953 |
| 210 | 3.58 | 4.664 | 7.864 | 7.864 | 4.285 | 4.773 | 4.393 | 3.092 | 7.973 | 4.068 | 8.081 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 2.169 | 2.169 | 1.085 |
| 205 | 4.176 | 4.664 | 4.719 | 4.719 | 1.736 | 4.827 | 2.983 | 4.827 | 8.081 | 8.027 | 2.169 | 6.075 | 1.085 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 |
| 200 | 4.231 | 3.525 | 7.919 | 2.766 | 7.973 | 7.81 | 3.471 | 3.308 | 7.973 | 5.966 | 7.593 | 6.183 | 6.075 | 1.519 | 6.183 | 1.302 | 6.183 |
| 195 | 3.2 | 7.864 | 8.027 | 7.864 | 3.2 | 6.183 | 8.027 | 8.027 | 8.027 | 8.136 | 8.19 | 6.183 | 6.075 | 1.302 | 6.075 | 2.169 | 1.519 |
| 190 | 2.712 | 2.169 | 7.81 | 3.58 | 3.308 | 3.2 | 7.431 | 8.027 | 1.953 | 1.302 | 1.953 | 8.136 | 8.19 | 8.136 | 8.027 | 4.881 | 3.363 |
| 185 | 3.254 | 7.864 | 7.864 | 4.231 | 2.875 | 3.471 | 8.081 | 6.075 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 4.068 | 8.136 | 8.081 | 4.881 | 4.827 |
| 180 | 4.122 | 4.176 | 7.973 | 8.027 | 7.973 | 7.539 | 3.363 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.953 | 8.19 | 8.081 | 7.919 | 8.081 | 4.936 | 4.393 |
| 175 | 4.936 | 2.983 | 7.539 | 4.068 | 8.081 | 6.183 | 3.525 | 8.136 | 8.19 | 6.075 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 3.471 | 3.471 | 4.881 |
| 170 | 3.417 | 4.231 | 4.014 | 7.973 | 8.081 | 8.19 | 8.136 | 8.19 | 6.183 | 1.302 | 6.183 | 2.983 | 4.881 | 8.027 | 7.973 | 7.864 | 7.864 |
| 165 | 8.027 | 6.183 | 8.081 | 8.081 | 3.959 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 4.014 | 6.183 | 6.183 | 4.719 | 8.027 | 7.756 | 7.973 | 3.2 | 7.864 |
| 160 | 8.027 | 7.973 | 7.919 | 1.302 | 1.519 | 6.183 | 8.081 | 7.973 | 7.973 | 4.773 | 7.756 | 7.973 | 7.919 | 7.919 | 3.308 | 3.254 | 2.983 |
| 155 | 3.959 | 7.973 | 7.973 | 1.519 | 1.519 | 6.075 | 6.183 | 6.075 | 8.136 | 8.027 | 6.075 | 3.417 | 4.827 | 7.919 | 2.82 | 4.176 | 7.864 |
| 150 | 7.973 | 3.797 | 6.183 | 6.183 | 8.19 | 1.519 | 5.858 | 1.302 | 3.417 | 7.105 | 4.936 | 4.827 | 3.742 | 7.647 | 7.702 | 3.2 | 3.525 |
| 145 | 6.183 | 6.183 | 1.085 | 6.183 | 1.519 | 3.959 | 6.183 | 1.085 | 8.136 | 8.136 | 1.302 | 1.085 | 6.183 | 4.122 | 3.58 | 7.81 | 2.929 |
| 140 | 8.081 | 8.081 | 1.085 | 2.169 | 8.081 | 8.081 | 7.973 | 8.081 | 8.081 | 3.634 | 2.169 | 4.827 | 7.81 | 7.81 | 7.864 | 7.864 | 7.864 |
| 135 | 3.905 | 8.19 | 1.302 | 1.085 | 3.525 | 7.919 | 6.183 | 7.919 | 4.827 | 4.881 | 4.881 | 8.027 | 6.183 | 1.302 | 6.075 | 7.973 | 7.919 |
| 130 | 6.183 | 7.919 | 8.027 | 3.959 | 7.864 | 7.756 | 7.919 | 7.919 | 7.919 | 7.973 | 8.027 | 3.905 | 4.285 | 3.254 | 7.81 | 3.742 | 2.712 |
| 125 | 1.953 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 8.027 | 6.183 | 7.973 | 8.081 | 6.183 | 1.085 | 6.075 | 6.183 | 3.254 | 7.973 | 3.308 | 7.81 | 2.983 |
| 120 | 6.183 | 6.183 | 7.431 | 7.919 | 7.864 | 4.176 | 7.973 | 6.183 | 6.183 | 7.973 | 3.363 | 7.864 | 7.919 | 7.864 | 7.864 | 3.797 | 2.658 |
| 115 | 1.844 | 1.736 | 6.183 | 8.081 | 8.081 | 2.169 | 6.183 | 6.183 | 6.183 | 1.519 | 6.183 | 2.929 | 7.919 | 7.864 | 1.953 | 7.919 | 7.702 |
| 110 | 3.851 | 8.136 | 8.081 | 8.081 | 1.953 | 1.844 | 6.183 | 6.183 | 1.953 | 3.797 | 3.2 | 7.81 | 7.81 | 7.864 | 3.2 | 7.702 | 7.81 |