

PENGUJIAN LAS-LASAN BAJA KARBON A 139 - GRADE B7 PADA EKONOMISATOR PIPA GANDA

Soedardjo, Renaningsih Setjo, Histori, Farokhi, Ari triyadi, Dwijo Mulyanto*
Pusat Penelitian Teknologi Keselamatan Reaktor

ABSTRAK

PENGUJIAN LAS-LASAN BAJA KARBON A 139 - GRADE B7 PADA EKONOMISATOR PIPA GANDA. Telah dilakukan uji tidak merusak dengan teknik radiografi pada las-lasan baja karbon A 193 Grade B7 di ekonomisator pipa ganda. Pengujian dengan menggunakan perangkat sumber radioaktif Iridium 192 yang beraktivitas 47,2 Curi. Sebagai benda uji adalah las-lasan pada pipa berdiameter 1,5" sch. 40 dengan tebal 6 mm dan pipa berdiameter 2,5" sch. 40 tebal 8,25 mm. Pemaparan dilakukan sejauh S.F.D = 12" dari film radiografi D7 - Agfa. Dengan tebal bagian muka dan belakang Sreen (f/b) = 0,125 mm (Pb), densitas 2,0 dengan kawat penetrometer 10 FE DIN. Waktu pemaparan untuk pipa berdiameter 1,5" adalah 20 detik dan yang berdiameter 2,5" selama 30 detik. Pencucian film dilakukan selama 5 menit pada suhu 20° Celsius. Hasil yang diperoleh pada pemaparan pertama masih terdapat beberapa cacat yang perlu perbaikan mutu las. Setelah diperbaiki dengan pemaparan kedua, mutu las sudah dapat diterima walau mutu las-lasan belum sempurna.

ABSTRACT

TEST OF CARBON STEEL A 139 GRADE B7 WELDING USED IN DOUBLE PIPE ECONOMIZER. Non destructive welding test by radiography technique of A 193 Grade B7 carbon steel on double pipe economizer has been done. Radioactive source Iridium 192 with activity 47,2 Ci was used in this test. The first specimen is 1.5" sch. 40 pipe diameter with thickness 6mm and the second one is 2.5" sch. 40 pipe with thickness 8.25 mm. The exposure arrangement will be chosen by S.F.D = 12" from D7 - Agfa radiography film. The screen of film made of Pb with front and back thickness (f/b) = 0,125 mm, 2.0 density and embedded by 10 FE DIN wire penetrometer indicator. Exposure time for 1.5" pipe was 20 second and for 2,5" pipe was 30 second. The duration of film developing was 5 minute in 20° centigrade (ambient temperature). The result in the first exposure showed several defects. After having been repaired the result could be accepted, event though the quality was not satisfy enough.

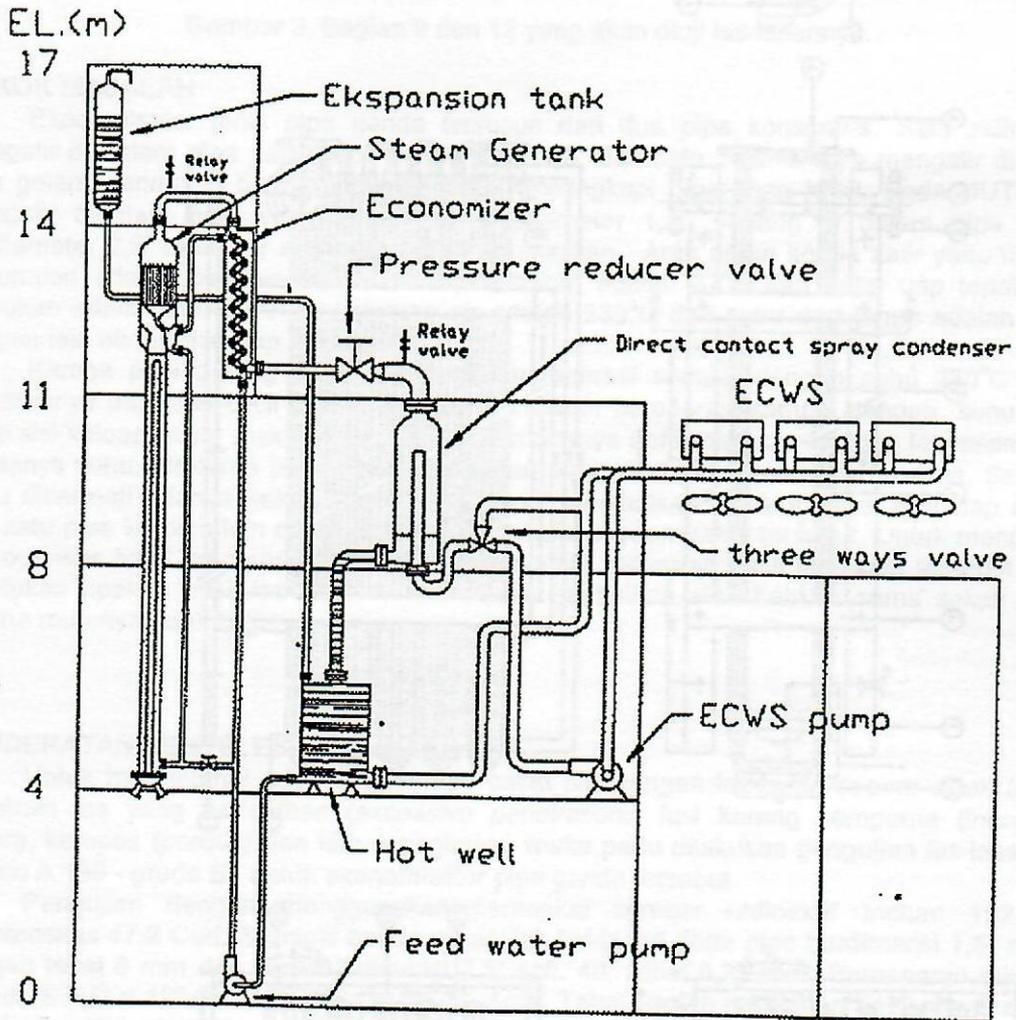
PENDAHULUAN

Ekonomisator adalah suatu penukar panas. Misalnya pada Engineering Loop Nilo I yang berada di PPTN Bandung, ekonomisator bertugas untuk menukar panas air dari pompa dan masuk ke pemanas pemula (*pre heater*) [1]. Ekonomisator termasuk satu komponen dalam sistem sekunder UUTR di PPTKR - BATAN. Ekonomisator merupakan suatu komponen tambahan yang diperlukan untuk menaikkan suhu air umpan dengan cara memanaskannya dengan uap keluaran pembangkit uap. Dengan adanya komponen ini dapat diperoleh kapasitas uap yang lebih besar untuk daya yang sama. Jenis yang dipilih adalah penukar panas pipa ganda, dimana air umpan mengalir di pipa sebelah dalam berdiameter 1,5" sch. 40 dan uap di pipa gelang (*annulus*) berdiameter 2,5" sch. 40 dengan arah aliran berlawanan. Jenis ini dipilih karena efektivitasnya yang tinggi, sederhana dan mudah dibuat [2]. Pada rancangan yang baru, uap mengalir di dalam pipa yang kecil (1½" sch.40) dan air yang akan dipanaskan mengalir di dalam anulus (pipa yang lebih besar berukuran 2½" sch.40) [3]. Ekonomisator jenis pipa ganda lebih ekonomis karena memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding ekonomisator jenis lain.

Rancangan dasar sistem uap di UUTR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dan rancangan ekonomisatornya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut, yang akan diuji las-lasannya secara radiografi adalah nomor bagian 9 dan 12 saja. Dimana nomor bagian 9 adalah pipa kecil sambungan lengkung (*elbow*) berdiameter 1,5" sch. 40 jenis A 193 Grade B7. Sedang nomor bagian 12 adalah "TEE" dari pipa berdiameter 2,5" sch. 40, dari baja karbon A 193 Grade B7, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada makalah ini akan dibahas pengujian las-lasan dengan teknik radiografi bersumber Iridium 192. Dari segi radiografer, akan dibahas beberapa kekurangan yang dilakukan oleh radiografer, sedang dari ekonomisator akan dibahas beberapa cacat las yang dijumpai beserta sedikit uraian tentang beberapa cacat las dan cara memperbaikinya.

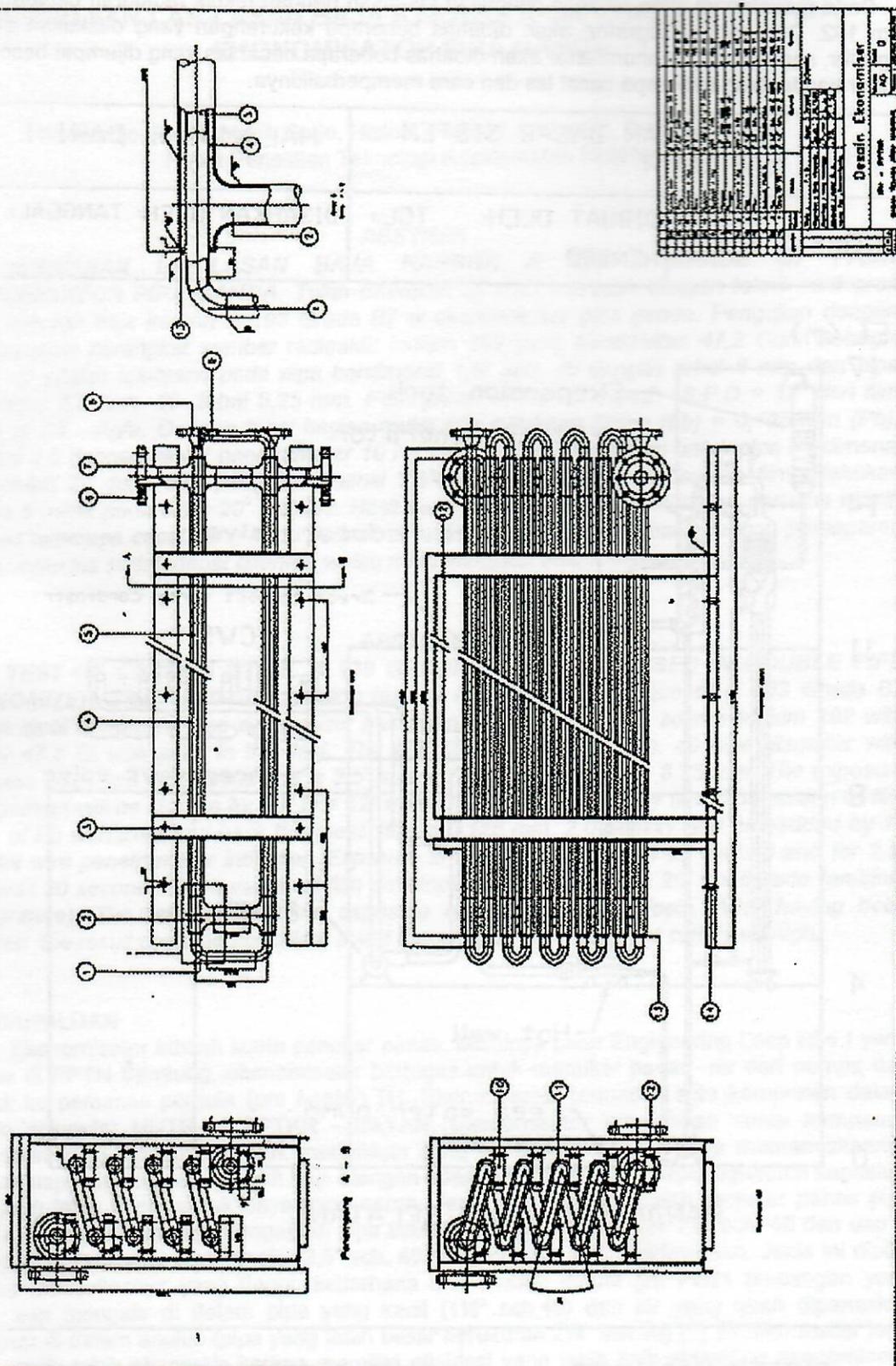
TITLE: RANCANGAN DASAR SISTEM UAP UUTR		HALAMAN 1 DARI 1
PROYEK: RUT3	DIBUAT OLEH: TGL: HENDRO	DISAHKAN OLEH: TANGGAL:



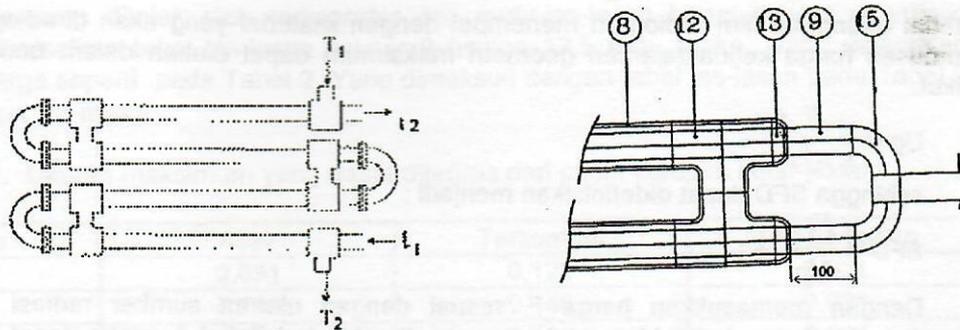
PANDANGAN ARAH SELATAN

SISTEM UAP UUTR	NOMOR: RUT3-SYS-01, REV.B
-----------------	---------------------------

Gambar 1. Rancangan dasar sistem uap UUTR



Gambar 2 Rancangan ekonomisator



Gambar 3. Bagian 9 dan 12 yang akan diuji las-lasannya.

POKOK MASALAH

Ekonomisator jenis pipa ganda tersusun dari dua pipa konsentris. Satu zalir (*fluid*) mengalir di dalam pipa yang kecil berdiameter 1,5" dan satu zalir lainnya mengalir di dalam pipa gelang (*annulus*) berdiameter 2,5" yang melingkupi pipa yang kecil. Pada UUTR, uap mengalir didalam pipa yang lebih kecil berdiameter 1,5", sedang di dalam pipa gelang berdiameter 2,5" mengalir air umpan yang dipanaskan. Arah aliran kedua zalir yaitu uap dan air umpan adalah berlawanan. Suhu air masukan adalah 37°C dan suhu uap tepat jenuh masukan adalah 280°C. Suhu keluaran air adalah 230°C dan suhu uap jenuh adalah 280°C dengan laju alir air dan uap 2,02 kg/detik.

Karena pipa gelang atau pipa "TEE" beroperasi sampai dengan suhu 230°C di sisi keluarannya dan pipa kecil "elbow" dari ekonomisator beroperasi sampai dengan suhu 280°C pada sisi keluarannya, maka perlu diperhatikan adanya deformasi sambungan las-lasan akibat panasnya suhu, terutama pada sisi-sisi keluaran pipa ganda ekonomisator tersebut. Selain itu perlu dicermati adanya kekeroposan yang dapat menjadikan tercampurnya zalir uap dan air dari satu pipa ke pipa lain dalam sistem pipa ganda ekonomisator tersebut. Untuk mengetahui homogenitas hasil las-lasan, maka perlu diuji secara radiografi hasil las-lasan tersebut, untuk menentukan apakah hasil las-lasan itu baik, perlu perbaikan atau bahkan sama sekali ditolak karena mutunya tidak baik.

PENDEKATAN PENYELESAIAN MASALAH

Untuk mengetahui adanya beberapa cacat sambungan las-lasan seperti retak (*crack*), penetrasi las yang berlebihan (*excessive penetration*), fusi kurang sempurna (*incomplete fusion*), keropos (*porous*) dan lain sebagainya, maka perlu dilakukan pengujian las-lasan baja karbon A 139 - grade B7 untuk ekonomisator pipa ganda tersebut.

Pengujian dengan menggunakan perangkat sumber radioaktif Iridium 192 yang berintensitas 47,2 Curi. Sebagai benda uji adalah las-lasan pada pipa berdiameter 1,5" sch. 40 dengan tebal 6 mm dan pipa berdiameter 2,5" sch. 40 tebal 8,25 mm. Pemaparan dilakukan sejauh S.F.D = 12" dari film radiografi D7 - Agfa. Tebal bagian muka dan belakang Screen f/b: 0,125 mm (Pb), densitas 2,0 dengan kawat penetrometer 10 F DIN. Waktu pemaparan untuk pipa berdiameter 1,5" adalah 20 detik dan yang berdiameter 2,5" selama 30 detik. Pencucian film dilakukan selama 5 menit pada suhu 20° Celsius.

Dalam tulisan ini digunakan standar ASME Section V edisi 1992 sebagai dasar acuan kualitas radiografi. Standar ini mendefinisikan harga ketidaktajaman geometri (*Unsharpness geometry*) maksimal yang diizinkan dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$U_g = \frac{F \cdot d}{D} \quad (1)$$

dengan, F adalah dimensi sumber radiasi (mm), yaitu untuk sumber berbentuk silinder diambil harga diameternya, sedangkan untuk sumber berbentuk persegi diambil harga sisi terpanjangnya. Sedang d adalah jarak antara obyek pada sisi sumber yang akan diradiografi dengan film (mm), dan D adalah jarak antara sumber ke obyek yang akan diradiografi (mm). Hargaketidaktajaman geometri maksimum yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dengan memasukkan asumsi bahwa jarak antara sumber radiasi ke obyek yang akan diradiografi didekati dengan mengurangkan harga SFD (*Source to Film Distance*) dengan tebal

material (dianggap film radiografi menempel dengan material yang akan diradiografi), maka perumusan harga ketidaktajaman geometri maksimum dapat diubah dalam bentuk sebagai berikut:

$$U_g = \frac{F t}{SFD - t} \quad (2)$$

sehingga SFD dapat didefinisikan menjadi :

$$SFD = \frac{F t}{U_g} + t \quad (3)$$

Dengan memasukkan harga F sesuai dengan ukuran sumber radiasi yang akan digunakan dan harga ketidaktajaman geometri diambil dari Tabel 1, maka dapat dibuat tabel hubungan antara ketebalan material yang akan diradiografi dengan besarnya harga SFD minimum yang diperlukan. Dengan digunakannya tabel ini diharapkan hasil radiografi akan memenuhi kualitas dari segi ketidaktajaman geometri yang terbentuk, sehingga dalam pembacaan film hasil radiografi tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan baik-tidaknya suatu material.

Tabel 1. Hubungan tebal material dan U_g maksimum berdasarkan standar ASME

Tebal material (t) dalam inchi	U_g maksimum dalam inchi
$t < 2$	0,020
$2 \leq t \leq 3$	0,030
$3 < t \leq 4$	0,040
$t > 4$	0,070

Perlu diketahui bahwa tebal pipa kecil adalah 6 mm dan pipa gelang (*annulus*) adalah 8,25 mm dengan tebal las-lasan sama dengan tebal pipa ± 3 mm. Untuk menentukan waktu pemaparan, digunakan hubungan:

$$[SFD \text{ actual} / SFD \text{ skala}]^2 \times [Ci\text{-menit skala} / Ci \text{ actual}] \quad (4)$$

dengan SFD *actual* adalah SFD yang diterapkan dilapangan atau jarak sumber film (*Source Film Distance*) yang sebenarnya dan ditentukan oleh para radiografer berdasarkan pengalamannya dan keterbatasan ruang gerak penempatan sumber dan film.

Jika diketahui tebal las-lasan pada absis diagram SFD skala seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, maka dapat ditarik garis tegak yang memotong garis grafik pada diagram SFD skala. Dari titik perpotongan tersebut, dapat ditarik garis mendatar, untuk menentukan besarnya Curi - menit. $Ci \text{ actual}$, adalah harga intensitas sumber Iridium - 192, pada Tabel peluruhan yang disertakan sebagai sertifikat sumber dari fabrikasi sumber radioaktif CIS-US, Inc.

Pada saat pemaparan, aktivitas sumber Iridium - 192 adalah 47,2 Ci. Pada uji sambungan las-lasan ekonomisator, diambil sebagai SFD *actual* adalah 12" atau 304,8 mm. Sehingga untuk pipa yang kecil berdiameter 1,5" dengan ketebalan 6 mm, perlu waktu pemaparan kira-kira selama 20 detik dan untuk pipa gelang berdiameter 2,5" dengan ketebalan 8,25 mm perlu waktu pemaparan kira-kira selama 30 detik.

Untuk mendapatkan bayangan elipstik agar bayangan las-lasan dari kedua sisi atas dan bawah kelihatan dalam sekali pemaparan, maka pada pipa dengan diameter $\leq 3,5$ " jarak sumber digeser secara mendatar dengan jarak antara sumber mula-mula dan sumber terakhir adalah:

$$\text{Pergeseran mendatar sumber} = 1/5 SFD \text{ actual} + 2 \text{ lebar las-lasan} \quad (5)$$

Yang dimaksud dengan lebar las-lasan yaitu lebarnya daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone, HAZ*), sedang tebal las ialah tingginya las-lasan, atau tebalnya benda yang dilas ditambah tingginya las-lasan bagian atas dan akar las-lasan.

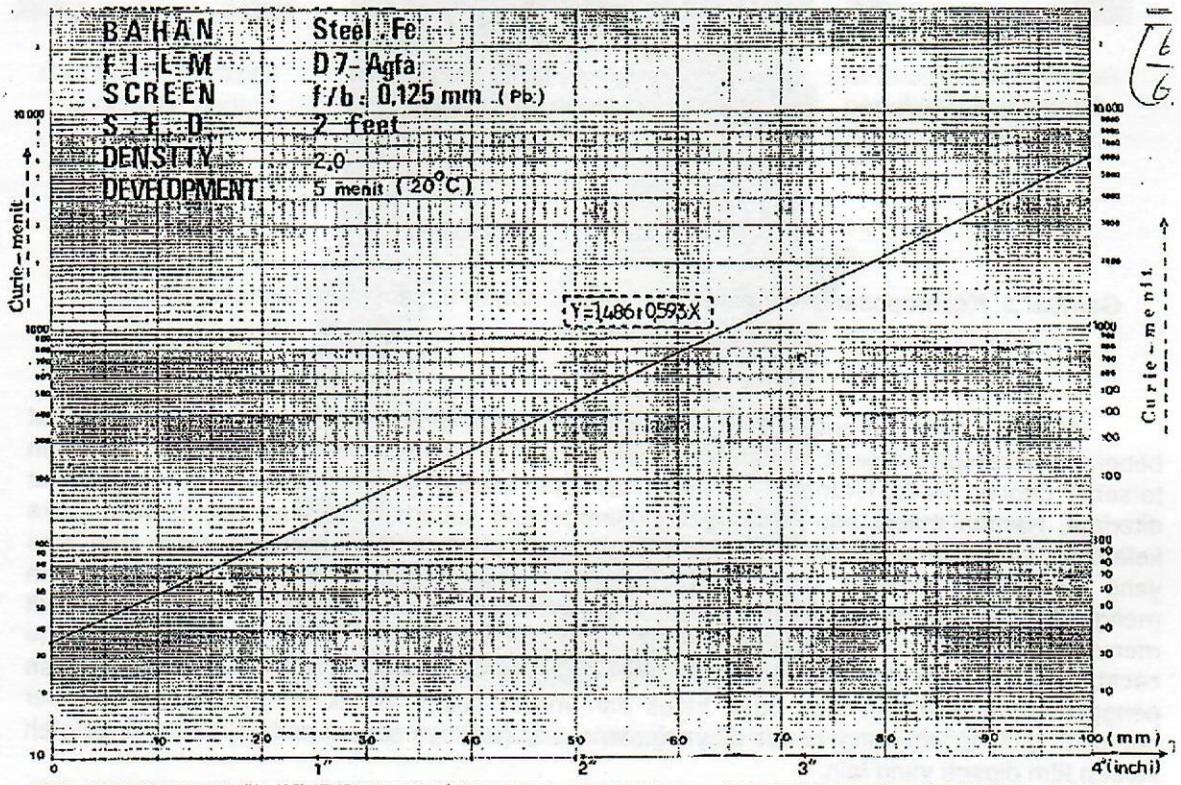
Karena dalam kasus uji radiografi las-lasan yang dilaksanakan dari pihak yang mempunyai atau yang merancang benda uji tidak menentukan standar tertentu, maka pihak radiografer menganggap pipa-pipa ekonomisator mengacu standar *pressure vessel*.

Dengan alasan bahwa ekonomisator beroperasi pada tekanan sekitar 70 bar, sehingga radiografer menentukan kriteria mutu las-lasan diterima atau tidak berdasarkan ASME SECTION VIII DIVISION I, B31.8-1992 Chapter II, B 31.3 -1993 Chapter VI, APPENDIX 4, 1986, untuk pipa-pipa yang bertekanan. Yang terpenting jika ada cacat las seperti tidak berfusi dengan sempurna (*lack of fusion, incomplete fusion*), ketidak sempurnaan akar las (*concavity*),

retak (*crack*) langsung ditolak oleh radiografer dan mutu-las-lasan harus segera diperbaiki (*repair*). Jika dimisalkan tebal las-lasan sekitar 9 hingga 12,5 mm, maka yang diperlukan hanya harga-harga seperti pada Tabel 2. Yang dimaksud dengan tebal las-lasan pada Tabel 2 adalah tebal pipa ± 3 mm.

Tabel 2. Ukuran maksimum yang dapat diterima dari cacat keropos bulat (*inchi*)

Tebal las	Acak	Terkumpul	Tak berkaitan
3/8	0,091	0,125	0,031
7/16	0,109	0,146	0,031
1/2	0,125	0,168	0,031

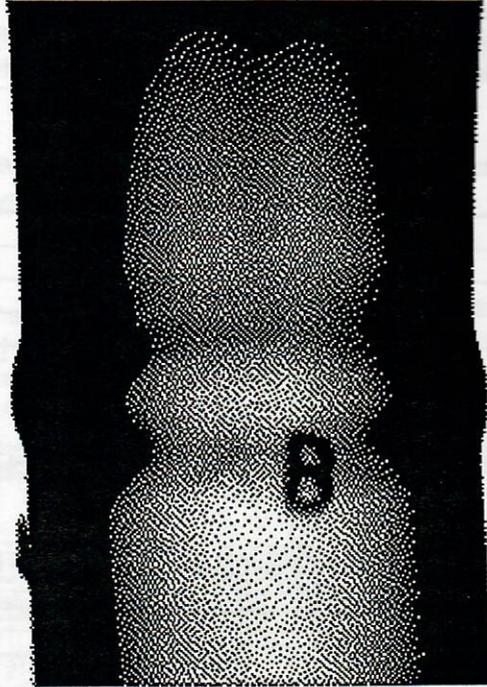


Gambar 4. Diagram SFD skala

ANALISIS MASALAH

Gambar-gambar yang disajikan pada makalah ini adalah gambar photo kertas positif, sehingga tidak cocok untuk menganalisis cacat las yang sesungguhnya. Gambar-gambar tersebut hanyalah untuk keperluan penyajian makalah. Tetapi analisis cacat las-lasan yang sesungguhnya dilakukan pada kertas film D7 - Agfa. Pada makalh ini akan disajikan hasil pengujian yang penting saja, terutama yang berhubungan dengan cacat las-lasan yang dijumpai.

Untuk pipa kecil berdiameter 1,5", dijumpai beberapa cacat seperti ditunjukkan pada Gambar 5, 6 dan 7. Dari Gambar 5 nampak adanya kekeroposan yang sifatnya tersebar secara acak dengan total diameter tidak lebih dari 8,5 mm, maka hasil las-lasan tersebut dapat diterima. Dari segi radiografer, terdapat ketidakcermatan meletakkan tanda huruf B, karena mengganggu hasil bayangan las-lasan.



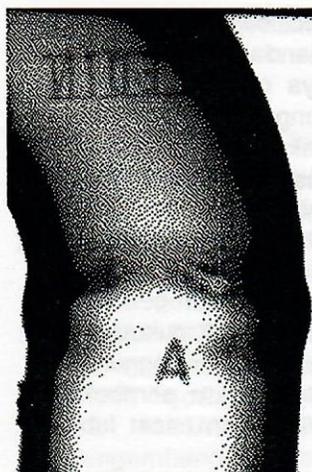
Gambar 5. Kekeroposan pada pipa kecil "elbow" nomor 9, yang hasil las-lasannya dapat diterima.

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil las-lasan pada pipa kecil *elbow* nomor 9 terdapat beberapa kekeroposan serta kurangnya isi las pada akar las-lasan (*concavity*). Maka las-lasan tersebut ditolak. Pada Gambar 7, adalah las-lasan perbaikan dari Gambar 6, yang dapat diterima. Namun masih ada isi las yang ditambahkan secara berlebihan (*excessive*). Jika kelebihan isi las tersebut ingin diperbaiki lagi, justru dikhawatirkan material dasar dari pipa yang berkali-kali dikenai panas dari las-lasan, akan berubah struktur mikronya dan mengakibatkan kurang homogen, sehingga antara isian las dan material dasar pipa sulit menyatu. Jika ada sesuatu yang menyerupai cacat pada Gambar 7, hal tersebut bukan suatu cacat, tetapi *screen* dari film radiografi bocor karena tertekan dan robek yang diakibatkan pengerindaan las-lasan pipa tidak halus dan masih tajam. Untuk itu pemaparan sumber radioaktif diulang lagi untuk benda uji yang sama, dan hasilnya seperti pada Gambar 8, setelah *screen* film diganti yang lain.

Untuk pipa gelang (*annulus*), juga ada hasil las-lasan dengan kekeroposan yang menyebar dan diameter totalnya kurang dari 8,5 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan hasil las-lasan tersebut dapat diterima.

Pada Gambar 10 adalah hasil las-lasan pada pipa *annulus* yang ditolak karena kurang berfusi (*lack of fusion*). Setelah diperbaiki, hasilnya seperti pada Gambar 11, yang memenuhi persyaratan las-lasan dapat diterima.

Sebaiknya, sebelum pengelasan benda uji, perlu diadakan pemeriksaan perijinan dari tukang las (*welder*), serta mutu dari tukang las. Dari segi benda uji perlu benda uji contoh yang sudah di las, dilakukan beberapa uji mekanik dan uji tidak merusak lainnya. Hal tersebut untuk melihat komposisi dari bahan dasar dan bahan las-lasan masih baik atau tidak. Sebab fungsi dari radiografi, hanya untuk melihat homogenitas dari bahan dasar dan bahan las. Jika homogen diharapkan pipa tidak mudah retak atau bocor dengan asumsi telah dilakukan uji tidak merusak sebelumnya. Jika tidak homogen, maka daerah las-lasan akan menjadi sumber keretakan atau kebocoran pipa-pipa pada ekonomisator.



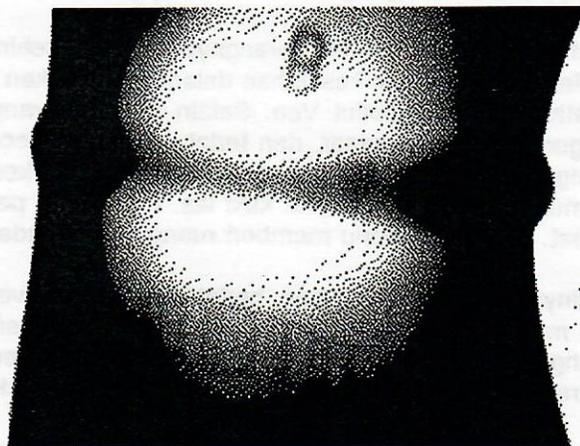
Gambar 6. Porosity, concavity, perlu diperbaiki



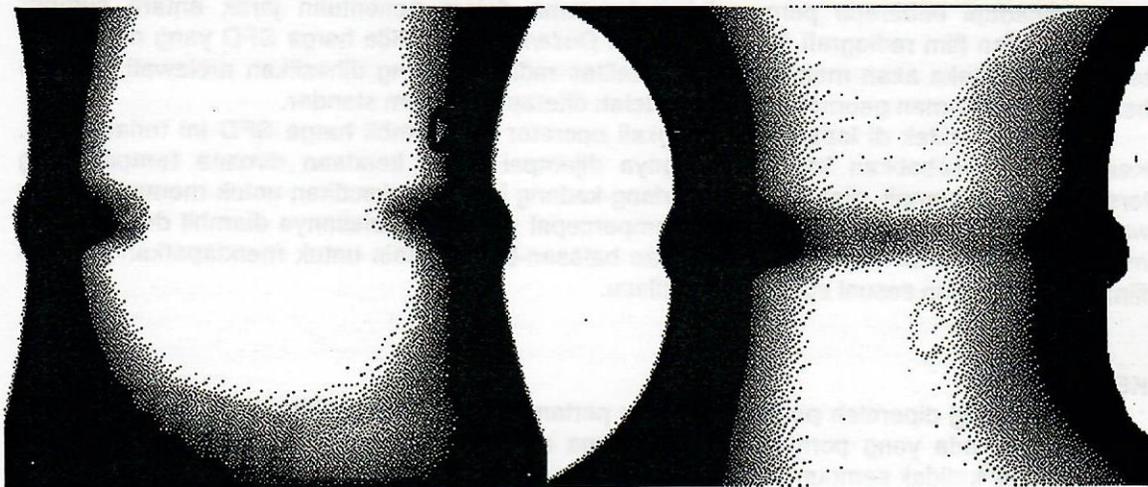
Gambar 7. Sreen berlubang, kekeroposan dapat diterima, concavity tidak ada lagi.



Gambar 8. Sreen tidak berlubang lagi setelah diganti.



Gambar 9. Contoh dari las-lasan pada pipa *annulus* yang diterima



Gambar 10. Pipa *annulus* ada cacat kurang berfusi

Gambar 11. Cacat kurang berfusi dari gambar 10 setelah diperbaiki.

Masalah ketentuan prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification, WPS*) perlu ditetapkan dulu oleh pemilik atau pemberi perintah benda uji, dengan standar kualitas tertentu yang dipersyaratkan. Setelah itu, pengelas (*welder*) diuji kualifikasinya oleh inspektur las. Kualifikasi dari pengelas, dituangkan pada catatan kualifikasi pengelas (*Performance Qualification Record, PQR*) [5],[6]. Tanpa adanya WPS dan PQR, maka kualitas benda uji (ekonomisator) belum dapat dipertanggungjawabkan. Pengujian las-lasan secara radiografi pada baja karbon A 139 - grade B7 untuk ekonomisator pipa ganda hanyalah membantu untuk mendeteksi las-lasan seperti kekeroposan, kurang berfusi, kurang isi las pada akar las dan sebagainya, sehingga mutu las dapat diperbaiki.

Sebab-sebab terjadinya kekeroposan las-lasan adalah adanya hidrogen yang terperangkap akibat busur api (*arc*) terlalu pendek, dan waktu pembekuan tidak cukup, serta arus yang digunakan kurang tepat. Hal tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan elektroda yang tepat untuk memberikan busur api yang cukup panjang. Waktu pembekuan harus cukup untuk memberikan kesempatan gas keluar. Untuk menghilangkan cacat lubang jarum (*pin hole*) dilakukan gerakan menggelombang (*weaving*).

Sebab - sebab terjadinya kurang fusi (*Lack of Fusion*) adalah kurang bersatunya bagian las terhadap logam induk pada bagian akar las atau muka dari sambungan. Sebab-sebab fusi tidak sempurna antara lain kecepatan pengelasan yang salah, penggunaan arus yang kurang benar dan ukuran elektroda yang tidak benar. Cara memperbaikinya dengan mengurangi kecepatan pengelasan, menggunakan arus yang cukup untuk penetrasi, gerakan *weaving* harus cukup waktu untuk mencairkan bagian sisi dari sambungan, besar elektroda perlu dipilih dengan benar serta besarnya sudut Vee yang akan diisi las perlu dibuat dengan perhitungan yang tepat.

Sebab - sebab terjadinya *concavity* adalah kurangnya isian las, sehingga akar las terjadi kecacatan. Hal ini dapat diakibatkan karena kesalahan dalam menyiapkan material yang akan dilas, seperti ketidak tepatan membuat sudut Vee. Selain itu, arus yang digunakan terlalu rendah, elektroda yang digunakan terlalu besar, dan terlalu cepatnya kecepatan pengelasan. Hal ini dapat diperbaiki dengan cara menggunakan arus las yang cukup, kecepatan pengelasan diperlambat sehingga memungkinkan penetrasi ke kaki las. Perlu pula perhitungan penetrasi dari elektroda dengan tepat. Selain itu perlu memberi ruang bebas pada bagian bawah dari las.

Sebab-sebab terjadinya penetrasi las yang berlebihan (*excessive penetration bead*) adalah kelebihan las yang menonjol pada bagian bawah. Hal ini sulit diperbaiki, kecuali dapat menggerinda bagian yang berlebihan. Jika diperbaiki dengan mengelas berkali-kali, dikhawatirkan struktur mikro bahan dasar berubah dan malahan sulit untuk bersatu dengan isi las-lasan.

Standar acuan dalam teknik radiografi sektor industri di Indonesia, pada umumnya berdasarkan pada standar ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*). Dalam standar ini diberikan batasan minimal untuk mendapatkan suatu hasil yang akan menjamin kualitas secara menyeluruh. Dalam praktek pengujian dengan teknik radiografi di lapangan, sering dihadapi beberapa permasalahan terutama dalam penentuan jarak antara sumber radiasi dengan film radiografi (*Source to Film Distance, SFD*). Bila harga SFD yang digunakan terlalu kecil, maka akan mengakibatkan kualitas radiografi yang dihasilkan melewati batasan harga ketidaktajaman geometri (*Ug*) yang telah ditetapkan dalam standar.

Dalam praktek di lapangan, seringkali operator mengambil harga SFD ini terlalu kecil. Keadaan ini disebabkan karena seringkali dijumpai suatu keadaan dimana tempat yang tersedia sangat sempit, disamping itu kadang-kadang juga dimaksudkan untuk memperpendek waktu pemaparan. Jalan pintas untuk mempercepat pekerjaan, biasanya diambil dengan cara memperpendek SFD tanpa memperhatikan batasan-batasan lain untuk mendapatkan kualitas film radiografi yang sesuai standar yang diacu.

KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh pada pemaparan pertama ada yang langsung dapat diterima tetapi dibagian lain ada yang perlu diperbaiki karena masih terdapat beberapa cacat antara lain kekeroposan, ketidak sempurnaan fusi, kelebihan isi las, dan cacat pada akar las.

Pembuatan ekonomisator belum dilengkapi dengan WPS dan PQR, serta mutu las-lasan belum mengalami uji mekanik atau uji merusak. Pengujian las-lasan baja karbon A 139 - grade B7 untuk ekonomisator pipa ganda dengan teknik radiografi pada dasarnya hanya untuk

mengetahui homogenitas bagian las-lasan saja, dan tidak menjamin kekuatan sambungan las dari ekonomisator.

DAFTAR PUSTAKA

1. EFRISON UMAR, "Kegiatan Penelitian Pda Instalasi Uji Termohidrolika PPTN", Risalah Lokakarya Termohidrolika Reaktor III, PPTKR -BATAN, 1996.
2. HENDRO TJAHOJONO dan ANHAR R. ANTARIKSAWAN, Penyempurnaan Untai Uji Termohidrolika Reaktor melalui Perancangan Sistem Sekunder sebagai Sistem Uap', Risalah Lokakarya Termohidrolika Reaktor II, PPTKR - BATAN, 1995.
3. ANHAR RIZA ANTARIKSAWAN DAN ALIQ," "Rancangan Termal Ekonomisator Untai Uji Termohidrolika Reaktor ", Kertas Kerja RUT 1996/ 1997.
4. ASME Section V, " Nondestructive Examination", Boiler and Pressure Vessel Code,1992.
5. A.C. SUHARDI, "Persiapan dan Aplikasi Pengelasan", Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri bahan dan Barang Teknik, halaman 1 s/d 5.
6. ASME, "Boiler and Brazing Qualification", Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, American, Society of Mechanical Engineers, 1989.