

## Investigation of Possible Causes of Failure of Economizer Tubes in Boiler

WANDA DEDE CHARDINAL, LEGISNAL HAKIM, AHMAD KAFRAWI NASUTION\*

### ABSTRACT

This investigation explored the potential causes of the failure of the economizer tube weld joint in the boiler. Nondestructive analysis is utilized, which involves comprehensive visual inspection, dye penetrant inspection, and radiography testing. It adheres to the ASME Section IX standard for destructive testing, which comprises a tensile test and a bending test. Observations made by reading the radiography film at an angle of 0 degrees indicate that the slag inclusion faults are positioned at an angle of 160 degrees. It is likely that slag inclusion defects caused the failure in the bending test; neglecting this will result in weld joint failure and more serious problems in the future. Cold cracks are another possible cause of the failure of weld joints in economizer pipes. Measures to prevent such failures are provided.

**Keywords:** Failure analysis, economizer tube, welding, slag inclusion, cold cracks.

### PENDAHULUAN

Sumber kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen meliputi banyak aspek seperti; desain, pemilihan material, ketidaksempurnaan material, fabrikasi dan pemrosesan, pengerjaan ulang, perakitan, inspeksi, pengujian, kontrol kualitas, kondisi servis, pemeliharaan, dan paparan tak terduga terhadap beban berlebih atau kerusakan mekanis atau kimia dalam servis (Saha et al., 2010). Berbagai sumber menyebutkan bahwa kegagalan prematur komponen adalah penyebab utama *shutdown* paksa pada *boiler* (Lamping & Arrowood, 1985). Sedangkan Saha, A., et. al. mengungkapkan pentingnya untuk menyelidiki penyebab kegagalan dalam hal desain, kualitas material, dan prosedur fabrikasi/pelayanan (Saha et al., 2010). *Economizer* adalah salahsatu komponen penting dalam *boiler* yang merupakan alat pemindah panas berbentuk tubular yang digunakan untuk memanaskan air umpan *boiler* sebelum masuk ke *steam drum*. Dalam kasus ini, investigasi mencatat enam kali kebocoran yang terjadi pada sambungan pengelasan pada pipa *economizer* setelah mengalami pergantian material dari *ASTM A210 Grade A1* menjadi *GB5310 Grade 20G*. Dari analisis awal adanya perbedaan jenis material yang digunakan pada pipa *economizer* dan ditemukan adanya retak pada sambung las pipa *economizer* yang mengakibatkan pipa

tersebut mengalami kebocoran (Gambar 1). Maka dari itu perlu dilakukannya analisis lebih dalam terkait kegagalan pada sambungan las dalam pipa *economizer GB5310 Grade 20G*. Pada saat deteksi kegagalan, parameter berikut dicatat: temperatur gas buang yang masuk ke *economizer* adalah 365 °C dan temperatur keluar dari *economizer* adalah 228 °C. Temperatur air umpan masuk ke *economizer* adalah 180°C. Kegagalan berulang terjadi di sambungan las di *economizer* (enam kasus kegagalan dicatat mulai dari tahun 2017). Pekerjaan yang dijelaskan di sini menyajikan analisis kegagalan sambungan pengelasan pipa *economizer* untuk mengidentifikasi akar penyebab dan mengusulkan rekomendasi untuk pencegahan insiden tersebut.



GAMBAR 1. Kebocoran pada pipa *economizer*

## DETAIL EKSPERIMEN

Pipa baja *GB5310 Grade 20G* yang gagal digunakan untuk berbagai evaluasi. Pertama, dilakukan pengelasan terhadap pipa baja *GB5310 Grade 20G* dengan menggunakan prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification, WPS*) untuk material sebelumnya (*ASTM A210 Grade A1*). Kedua, evaluasi dari hasil pengelasan dilakukan evaluasi tak merusak dan evaluasi merusak mengikuti standar *ASME Section IX*. Untuk evaluasi tak merusak dilakukan inspeksi visual, inspeksi *dyepenetrant* dan pemeriksaan radiografi. Sedangkan evaluasi merusak dilakukan dengan pengujian tarik dan pengujian *three-point bending*.

## HASIL

### PENGAMATAN VISUAL

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan terhadap hasil pengelasan pipa *economizer*, terdapat cacat las seperti *spatter*, *surface undercut*, serta lebar las yang tidak seragam. Hasil pengukuran untuk penguatan las (*weld reinforcement*) diperoleh sebesar 1.85 mm, sedangkan pengukuran untuk cacat *undercut* sebesar 0.34 mm.

## ANALISIS KIMIA

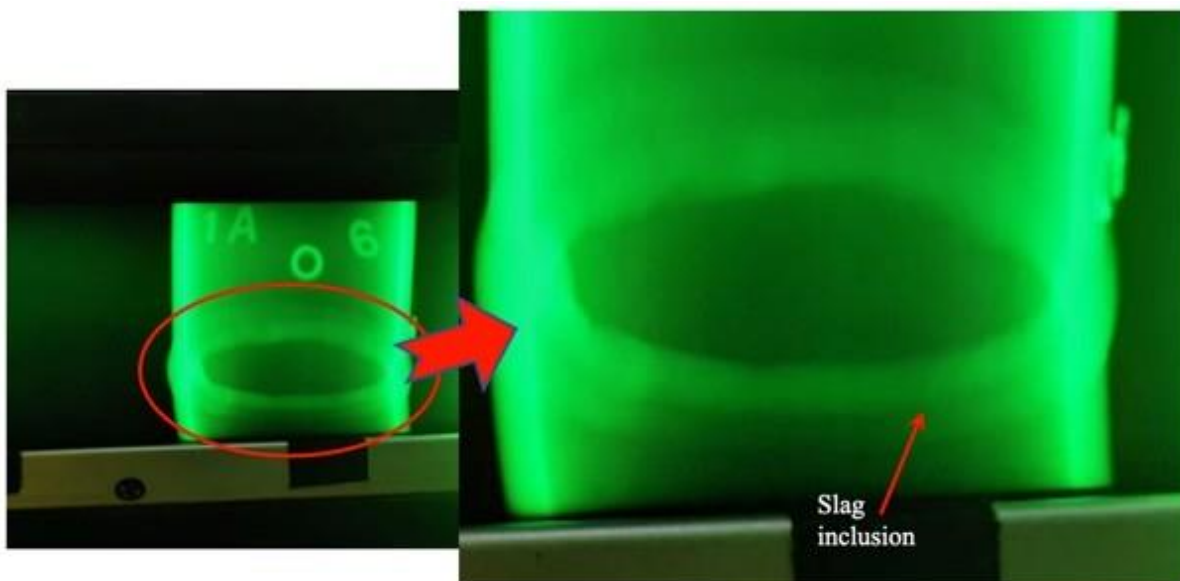
Komposisi kimia sampel yang terdahulu (*ASTM A210 Grade A1*) dan material pengganti pipa *economizer* (*GB5310 Grade 20G*) yang digunakan ditabulasikan pada Tabel 1.

### PENGUJIAN RADIOGRAFI

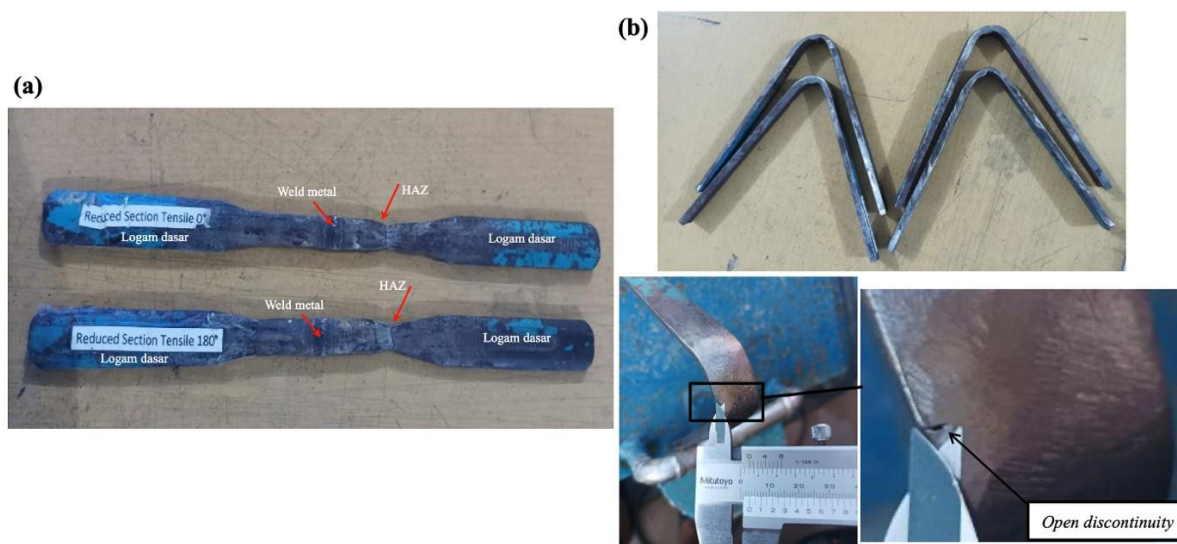
Hasil pengujian radiografi dimana dibagi menjadi dua film dengan sudut  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Pada Gambar 2, hasil pembacaan film dari sudut  $0^\circ$  terlihat indikasi cacat *slag inclusion* yang terletak pada sudut  $160^\circ$ .

### PENGUJIAN MEKANIK

Hasil uji tarik yang dilakukan mengikuti standar *ASME Section IX* dengan mengambil spesimen pada posisi *top* (sudut  $0^\circ$ ) dengan kekuatan tarik sebesar 539,88 MPa dan untuk posisi *bottom* (sudut  $180^\circ$ ) sebesar 535,42 MPa. Sedangkan untuk uji *bending* diambil dari empat posisi yakni dua posisi pada *face bend* dan dua posisi pada *root bend*. Kekuatan *bending* yang tinggi diperoleh sebesar 360.01 MPa untuk posisi *face bend* (sudut  $315^\circ$ ) dan yang terendah diperoleh sebesar 300.56 MPa untuk posisi *root bend* (sudut  $135^\circ$ ).



GAMBAR 2. Hasil uji radiografi (Film  $0^\circ$ )



GAMBAR 3. (a) lokasi patahan *specimen* uji tarik (b) hasil uji *bending* dan posisi *open discontinuity*

TABEL 1. Komposisi kimia pipa *economizer* (wt%).

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	V	Fe
ASTM A210 Grade A1	Max 0.27	Max 0.93	Min 0.10	Max 0.035	Max 0.035	-	-	-	-	-	Bal.
GB5310 Grade 20G	0.17 – 0.24	0.70 – 1.00	0.17 – 0.37	Max 0.03	Max 0.03	0.25	0.15	0.2	0.25	0.08	Bal.

### DISKUSI

Pipa *economizer* yang diamati kebocoran setelah lima tahun dilakukan pergantian material dari ASTM A210 Grade A1 ke GB5310 Grade 20G. Selama pengamatan visual terhadap hasil pengelasan pipa tersebut, terlihat adanya cacat las seperti *spatter* dan *surface undercut* serta lebar las yang tidak seragam. Berdasarkan standar ASME B 31.1 untuk cacat *undercut* tidak boleh melebihi 1 mm, sedangkan *undercut* yang diperoleh sebesar 0.34 mm (ASME, 2017). Demikian juga terhadap penguatan las (*weld reinforcement*) yang diperoleh adalah 1.85 mm dan nilai ini masih di bawah nilai yang diperbolehkan yakni sebesar 3 mm. Untuk cacat *slag inclusion* diperoleh sebesar 1 mm yang berada di posisi *filler capping welding* di kedalaman 1 – 2 mm dari permukaan pengelasan. Jika merujuk kepada standar ASME IX untuk dimensi maksimum yang diizinkan terhadap indikasi bulat harus 20% dari ketebalan atau 1/8 in (3 mm) (ASME, 2017). Hasil uji tarik sambungan las yang diambil dari dua posisi pengambilan *specimen* terjadi

peningkatan  $\pm 30\%$  dari logam dasar. Patahan *specimen* uji tarik terjadi pada daerah terpengaruh panas (*heat-affected zone*, HAZ), sedangkan berdasarkan pemeriksaan pipa *economizer* yang bocor banyak terjadi di daerah ini. Jika diperhatikan tanda terjadinya retak dingin terjadi pada material dasar dan kadang-kadang merujuk ke daerah terpengaruh panas (HAZ) atau retak yang dibantu hidrogen. Sehingga kemungkinan penyebab kegagalan sambungan las pada pipa *economizer* adalah retak dingin (*cold cracks*). Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Pokhodnya, I.K. dan V.I. Shvachko tentang retak dingin pada sambungan las baja struktural (Pokhodnya & Shvachko, 1996). Pendapat lain yang menguatkan kemungkinan penyebab kegagalan sambungan las adalah retak dingin dari Radaj, D. yang mengungkapkan bahwa retak dingin termasuk retakan akibat adanya pengendapan (Radaj, 1990). Setelah dilakukan penghitungan terhadap *Carbon Equivalent* (CE) diperoleh nilainya lebih dari 0.40%. Pernyataan ini juga dikuatkan oleh *American Welding Society* (AWS) yang menyatakan bahwa untuk kandungan *Carbon Equivalent* di atas 0.40% ada potensi retak di daerah

terpengaruh panas (HAZ) (AWS, 2015; Lancaster, 1999).

Kekuatan *bending* yang terendah diperoleh pada posisi *root bend* (sudut 135°) dan menurut Fitriyus, G., et al. daerah ini adalah bagian kritis dalam proses pengelasan (Fitriyuset al., 2022). Disamping itu pengamatan terhadap specimen hasil pengujian bending ditemukannya ada *slag inclusion* atau adanya benda asing yang terjebak pada logam las. Biasanya, hal ini terjadi dari kondisi pengelasan dengan banyak lapisan (*multi pass*). Setelah dilakukan pengukuran maka open discontinuity tidak melebihi 3 mm berdasarkan kriteria penerimaan dari ASME Section IX (Gambar 3 (b)).

### KESIMPULAN

Pipa economizer yang diganti menjadi GB5310 Grade 20G mengalami kebocoran pada daerah terpengaruh panas (*heat-affected zone*, HAZ) karena kualitas lasan yang buruk dengan menghasilkan retak dingin (*cold cracks*) dan mengandung cacat las *slag inclusion*.

### REKOMENDASI

Investigasi ini menunjukkan bahwa kurangnya pemahaman tentang pergantian material yang mengarah kepada peningkatan nilai *Carbon Equivalent* (CE) sehingga ada potensi retak di daerah terpengaruh panas (HAZ). Kualitas las dapat ditentukan melalui penggunaan prosedur pengelasan yang tepat, proses pemeriksaan pasca las, dan mempekerjakan juru las (*welder*) yang berkualitas. Oleh karena itu, direkomendasikan bahwa perlu dilakukannya uji radiografi atau uji ultrasonik ulang ke seluruh sambungan las pipa *economizer* pada saat *overhaul*, untuk melihat cacat internal pada sambungan las yang lebih spesifik dan lebih akurat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung penuh secara finansial melalui Skema Penelitian Dasar dengan nomor kontrak: 009/LL10/PG.AK/2022 dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.

### DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (2017). BPVC Section IX-Welding, Brazing, and Fusing Qualifications. In *Qualification Standard For Welding, Brazing, And Fusing Procedures; Welders; Brazers; And Welding, Brazing, And Fusing Operators* (pp. 403). New York, USA: ASME.
- AWS. (2015). Structural Welding Code—Steel. In *AWS D1.1/D1.1M:2015* (pp. 603). USA: AWS.
- Fitriyus, G., Zulkarnain, Istana, B., & Nasution, A. K. (2022). Comparative Study on Welding Characteristics of FCAW and SMAW Welded ASTM A106 Grade B Based ASME Standard. International Conference on Science, Technology, and Interdisciplinary Research 2021, Bandar Lampung.
- Lamping, G. A., & Arrowood, J., R. M. (1985). *Manual for investigation and correction of boiler tube failures. Final report*.  
<https://www.osti.gov/biblio/5843816>
- Lancaster, J. F. (1999). *Metallurgy of Welding* (Sixth ed.). Woodhead.
- Pokhodnya, I. K., & Shvachko, V. I. (1996). Cold cracks in welded joints of structural steels. *Materials Science*, 32(1), 45-55.  
<https://doi.org/10.1007/BF02538924>
- Radaj, D. (1990). 2 - Fatigue strength for infinite life of welded joints in structural steel. In D. Radaj (Ed.), *Design and Analysis of Fatigue Resistant Welded Structures* (pp. 36-65). Woodhead Publishing.  
[https://doi.org/10.1533/978184569875\\_1.36](https://doi.org/10.1533/978184569875_1.36)
- Saha, A., Roy, H., & Shukla, A. K. (2010). Investigation into the Probable Cause of Failure of Economizer Tube of a Thermal Power Plant. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 10(3), 187-190.  
<https://doi.org/10.1007/s11668-010-9336-9>

PENULIS:

Wanda Dede Chardinal

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru.

Legisnal Hakim

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru.

Ahmad Kafrawi Nasution

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru.

Email: [ahmadkafrawi@umri.ac.id](mailto:ahmadkafrawi@umri.ac.id)