

M3-021 Kegagalan Boiler Tube akibat Thermal Fatigue

Husaini Ardy

Program Studi Teknik Material
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 41032, Indonesia
Phone: +62-22-250-2265, Fax: +62-22-250-2265, E-mail: husaini@material.itb.ac.id

ABSTRAK

Boiler tube mengalami kegagalan pada bulan Juli dan Desember 2008. Bentuk kegagalan yang terjadi sama, yaitu terjadinya retak melintang pada posisi antara jam 10.00 sampai jam 13.00. Retakan terjadi pada beberapa lokasi. Boiler tube ini terletak pada bagian roof. Material boiler tube adalah SA 192, seamless. Pemeriksaan struktur mikro menunjukkan bahwa retakan yang terjadi adalah retak transgranular yang berawal dari sisi air. Deposit oksida ditemukan pada celah retakan. Retakan seperti ini merupakan ciri khas retakan akibat beban fatigue. Analisa kondisi operasi menunjukkan bahwa level air dalam water drum terlalu rendah, sehingga hanya 75% dari tube saja yang terisi air. Hal ini mengakibatkan bagian atas tube yang tidak terisi air mengalami temperatur lebih tinggi dari bagian bawahnya, sehingga terjadi perbedaan temperatur yang besar dan menghasilkan ekspansi termal yang berbeda.

Keywords : Boiler tube, thermal fatigue, overheating, creep, retak transgranular

1. Latar Belakang

Boiler tube merupakan komponen penting pada sistem boiler. Perubahan air menjadi uap terjadi akibat efek pemanasan melalui dinding *boiler tube*. Kegagalan *boiler tube* sering terjadi sehingga mengakibatkan terganggunya operasi *boiler*. Salah satu jenis kegagalan *boiler tube* adalah akibat beban *fatigue*, baik *thermal fatigue* atau *corrosion fatigue*. Secara statistik, kegagalan akibat beban *fatigue* ini dapat mencapai 13.9% dari total penyebab kegagalan boiler tube [1]. Kegagalan akibat *thermal fatigue* dapat berawal dari tegangan (stress) yang terjadi akibat fluktuasi temperatur, atau adanya perbedaan temperatur yang menghasilkan regangan akibat perbedaan ekspansi material. *Thermal fatigue* dapat juga terjadi pada waktu pembersihan permukaan luar tube yang masih panas dengan semprotan air [2]. Ciri khas retakan akibat *thermal fatigue* adalah retakan berbentuk prisma (*wedge*) yang berawal dari permukaan dan celah retakan diisi oleh oksida. *Corrosion fatigue* adalah retakan akibat kombinasi dari lingkungan korosif dan beban (stress) yang berfluktuasi. Retakan akibat *corrosion fatigue* adalah retakan yang diawali oleh *pitting corrosion* pada permukaan, dan ujung retakan mempunyai kelengkungan tertentu [3]. Makalah ini akan membahas tentang kasus kegagalan water tube *Boiler* yang terletak pada bagian atas (*roof*) dari *water wall tube*. *Boiler tube* ini mengalami kegagalan berupa retakan melintang dari jam 10.00 sampai jam 13.00. Kegagalan yang sama ini terjadi pada bulan Juli dan Desember 2008.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Kegagalan *boiler tube* yang berulang-ulang sangat mengganggu sistem penyediaan daya di pabrik, sehingga perlu dilakukan analisis untuk mencari penyebab kegagalannya.

Analisis kegagalan *boiler tube* dilakukan melalui pemeriksaan material, pengamatan bentuk retakan/patahan, sehingga dapat ditemukan hubungan antara kondisi operasi dengan kegagalan tersebut.

2. Tujuan

Tujuan analisis kegagalan ini adalah untuk mencari penyebab retaknya *boiler tube*.

3. Prosedur Analisis

Analisis kegagalan dilakukan dengan terlebih dahulu memeriksa standar material melalui uji komposisi kimia dengan alat *optical emission spectroscopy*, pemeriksaan visual retakan, pemeriksaan struktur mikro material dan retakan dengan *mikroskop optik*, pemeriksaan kondisi operasi *boiler*, uji keras material *tube* dengan alat uji keras mikro Vickers, dan pengukuran tebal *tube* dengan jangka sorong digital.

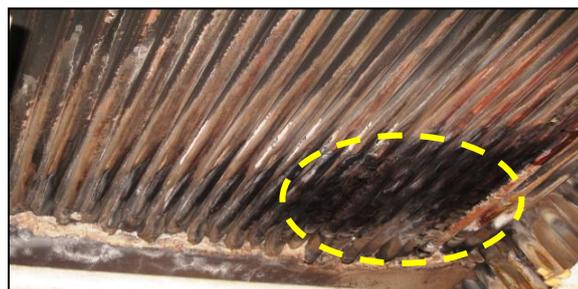
4. Hasil dan Diskusi

Hasil pemeriksaan komposisi kimia material *tube* ditunjukkan dalam Tabel 1. Material *tube* adalah baja karbon rendah dan memenuhi spesifikasi ASME SA 192, *seamless tube*.

Table 1. Komposisi Kimia *Boiler Tube* (% berat)

	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
<i>Tube</i>	0.10	0.22	0.01	0.02	0.51	0.13	0.12	Si sa
SA 192	0.06-	0.25	0.035	0.035	0.7-	---	---	Si sa
<i>Specs.</i>	0.18	(max)	(max)	(max)	0.63	---	---	Si sa

Gambar 1 menunjukkan lokasi *tube yang retak*, yaitu pada bagian atas (*roof*) dari *water tube wall*. Gambar 2 menunjukkan lokasi *boiler tube yang gagal* pada bulan Juli 2008. Retakan yang terjadi adalah retakan melintang pada posisi antara jam 10.00 sampai 13.00.



Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Gb 1. Lokasi boiler tube yang retak

Gambar 3 menunjukkan permukaan dalam *boiler tube* yang telah dibersihkan, tidak terlihat adanya korosi (*pitting corrosion*) pada dinding dalam *tube*, kemudian terlihat juga adanya batas antara bagian yang mengalami temperatur tinggi (berwarna gelap) dan yang tidak mengalami temperatur tinggi (berwarna merah bata). Retakan terjadi pada bagian yang pernah menerima temperatur tinggi.

Di samping retak, ada juga bagian dari *boiler tube* yang mengalami *bulging* (menggelembung), yaitu pada bagian yang menerima temperatur tinggi. Pengukuran tebal dinding pada penampang *tube* menunjukkan bahwa telah terjadi penipisan dinding *tube* akibat *bulging*; tebal dinding normal adalah antara 4,0 sampai 4,12 mm, sedangkan tebal tube pada bagian yang *bulging* adalah 3,64 mm.



Gb 2. Retakan pada posisi antara jam 10.00 sampai 13.00

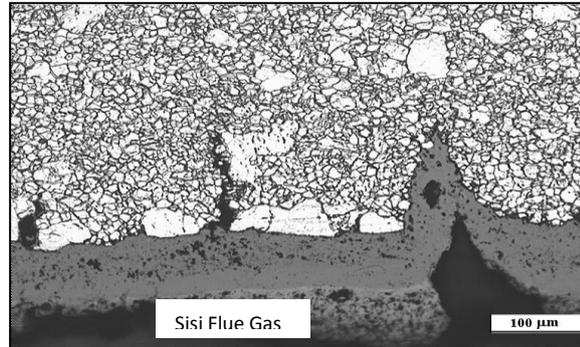


Gb 3. Permukaan dalam *boiler tube*

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

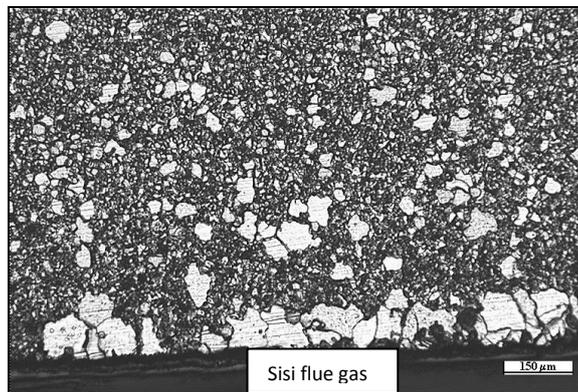
Gambar 4 menunjukkan foto struktur mikro *tube* pada sisi *flue gas* yang menggelembung. Ditemukan retak mikro akibat *creep* karena tube terekspose ke temperatur tinggi (*local overheating*). Retakan yang terjadi adalah retakan melalui batas butir (*intergranular crack*), yang merupakan karakteristik dari retak akibat *creep*. Pengaruh *overheating* terlihat juga dari membesarnya butir-butir.



Gb 4. Struktur mikro pada bagian yang menggelembung

Gambar 5 menunjukkan struktur mikro *tube* yang tidak menggelembung dan tidak retak. Butir-butir pada sisi *flue gas* telah membesar, yang membuktikan bahwa daerah tersebut pernah mengalami temperatur tinggi.

Dari data di atas jelaslah bahwa menggelembungnya tube disebabkan oleh *creep* akibat *overheating*. *Overheating* dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu temperatur nyala burner yang terlalu tinggi atau air di dalam tube tidak penuh.



Gb 5. Struktur mikro pada bagian yang tidak menggelembung

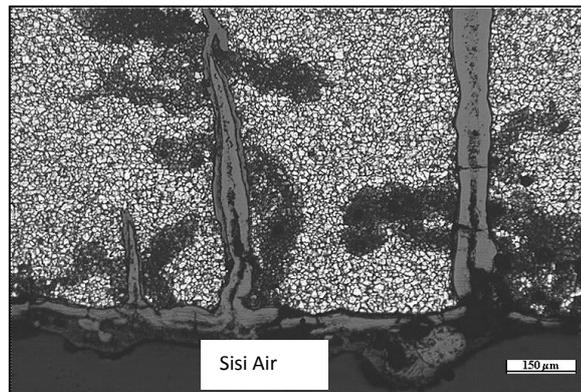
Gambar 6 menunjukkan struktur mikro *tube* yang mengalami retak melintang. Retakan dimulai dari permukaan sisi air (*water side*) dan retakan diisi oleh deposit/oksida. Retakan merambat melalui butir (*transgranular crack*). Retakan yang seperti ini merupakan ciri khas retakan yang disebabkan oleh *thermal fatigue*. *Thermal fatigue* dapat terjadi jika ada fluktuasi temperatur yang disebabkan oleh dua hal, yaitu nyala *burner* tidak stabil atau jumlah air

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

dalam *tube* tidak stabil; sehingga bagian yang retak mengalami fluktuasi temperatur yang besar.

Penyebab lain dari *thermal fatigue* adalah adanya perbedaan temperatur yang besar antara bagian yang terisi air dan bagian yang tidak terisi air seperti ditunjukkan oleh adanya perbedaan warna pada permukaan sisi air antara kedua bagian tersebut (Gb 3). Adanya *gradient* temperatur ini menyebabkan perbedaan ekspansi material yang selanjutnya mengawali retakan.



Gb 6. Struktur mikro pada bagian yang retak

Uji keras mikro Vickers dilakukan pada lokasi *tube* yang menggelembung dan yang masih bagus. Hasil uji keras menunjukkan bahwa bagian yang menggelembung mempunyai kekerasan yang lebih rendah (145 VHN) dari bagian yang masih bagus (151 VHN). Pelunakan ini terjadi akibat *overheating*.

5. Rangkuman Analisis

5.1 Tube yang Menggelembung

Hasil pemeriksaan laboratorium terhadap *tube* yang menggelembung menunjukkan bahwa *tube* telah mengalami *creep* akibat *overheating*, seperti ditunjukkan oleh adanya retak antarbutir pada permukaan sisi *flue gas*. *Overheating* terjadi akibat dari dua penyebab, yaitu tidak stabilnya nyala *burner* atau kurangnya jumlah air dalam *tube*.

Hasil pengamatan terhadap *burner tip* (Gambar 7) menunjukkan bahwa *tip* tersebut dalam kondisi bersih dan tidak ada penyumbatan. Dengan demikian, *overheating* tidak disebabkan oleh masalah pada *burner*.

Kurangnya jumlah air dalam *tube* menjadi penyebab *overheating*. Jumlah air dalam *tube* memang lebih sedikit berdasarkan oleh dua fakta, yaitu bagian yang menggelembung terjadi pada bagian atas *tube* (lokasi antara jam 10.00 sampai 12.00), dan adanya perbedaan warna permukaan dalam *tube* seperti ditunjukkan dalam Gb. 3 (warna merah bata dan hitam). Warna merah bata adalah bagian *tube* yang terisi air, sehingga tidak mengalami *overheating*, sedangkan permukaan berwarna hitam adalah bagian yang tidak terisi air, sehingga mengalami *overheating*.



Gb 7. *Burner tip* yang masih bersih dan tidak ada penyumbatan

5.2 Tube yang Retak

Retakan yang terjadi pada *tube* adalah retakan melintang dan terletak pada bagian atas *tube* (lokasi antara jam 10.00 sampai 13.00). Gambar struktur mikro menunjukkan bahwa retakan yang terjadi mulai dari permukaan dalam (*water side*), retakan ini menjalar dengan memotong butir (*transgranular crack*), dan retakan berisi deposit/oksida. Retakan yang seperti ini adalah retakan akibat *thermal fatigue*. *Thermal fatigue* disebabkan oleh fluktuasi temperatur yang tinggi atau perbedaan temperatur yang besar dari material yang mengalami pemanasan berlebihan dan yang tidak. Penelusuran kondisi operasi boiler menunjukkan bahwa tidak terjadi fluktuasi temperatur selama operasi. Hal ini diperkuat dengan tidak adanya masalah pada *burner tip*.

Dengan demikian penyebab *thermal fatigue* tersebut adalah terjadinya *gradient* temperatur yang sangat besar antara bagian *tube* yang terisi air (bagian bawah) dan bagian yang tidak terisi air (bagian atas). Kurangnya jumlah air ini ditandai oleh adanya perbedaan warna pada permukaan dalam *tube* (warna merah bata dan warna hitam), serta retakan yang hanya terjadi pada bagian atas *tube* (lokasi antara jam 10.00 sampai 13.00) yang tidak terisi air.

Hasil diskusi lebih lanjut dengan pemilik boiler menunjukkan bahwa kurangnya air dalam *tube* dapat terjadi akibat *setting* sistem kontrol level air dalam *water drum* yang terlalu rendah. Masalah retaknya boiler *tube* telah dapat diatasi dengan menaikkan level air dalam *water drum*.

6. Kesimpulan

1. Retakan melintang pada *boiler tube* disebabkan *thermal fatigue* akibat kurangnya jumlah air dalam *tube*
2. Tidak terjadi *pitting corrosion* pada permukaan dalam *tube*
3. Menggelembungnya *tube* disebabkan oleh *creep* akibat kurangnya jumlah air dalam *tube*.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

4. Material *boiler tube* memenuhi spesifikasi ASME SA 192.

References

- [1] French, D. N., *Metallurgical Failures in Fossil Fired Boilers*, 2nd Edition, John Wiley, 1993.
- [2] Ots, A., *Rapid Water Quenching and Formation of Thermal Fatigue Cracks on the Surface of a Tube*, *Materials Science*, Vol. 35, No. 4, pp. 541-551, 1999.
- [3] ASM International, *ASM Handbook Vol. 13 : Corrosion*, 1990.