



## ANALISA KEGAGALAN RETAK PADA PIPA FITTING BAJA KARBON JENIS TEE

Cahya Sutowo, ST, MT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : csutowo@yahoo.com<sup>1</sup>

Masuk : 12 Agustus 2019

Direvisi : 12 Agustus 2019

Disetujui : 16 Agustus 2019

**Abstract:** *Damage to the pipe fitting components will disrupt the operation of the production system. In this study, pipe fittings that experienced failures were examined using a failure analysis method to find the cause of the damage. Some checks and tests are carried out to obtain complete data for analysis. Examination of pipe fitting includes visual observation, analysis of chemical composition, metallography, hardness test and fractography using SEM (scanning electron microscopy). This type of tee pipe fitting material is carbon steel according to ASTM grade A-234 WPB. The results of the inspection and analysis showed that the pipe fitting was cracked due to residual stress and decarburization. Residual stress and decarburization arise due to improper temperature control of the heat treatment process during the manufacturing process. Both of these result in an inhomogeneity of grain size and structural differences in the outer and inner diameter of the components. This will cause a high stress concentration in the grain in the pipe fitting component.*

**Key words:** *Pipe fitting, failure analysis, decarburization, residual stress*

**Abstrak:** Terjadinya kerusakan pada komponen pipa fitting ini akan menyebabkan terganggunya operasi sistem produksi. Pada penelitian ini pipa fitting yang mengalami kegagalan dilakukan pemeriksaan dengan metode analisa kerusakan untuk menemukan penyebab kerusakannya. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data yang lengkap dan selanjutnya dilakukan analisa terhadap kegagalan yang terjadi. Pemeriksaan pada pipa fitting meliputi pengamatan visual, analisa komposisi kimia, metalografi, uji kekerasan dan fraktografi menggunakan SEM (scanning electron microscopy). Material pipa fitting jenis tee ini adalah baja karbon sesuai dengan ASTM grade A-234 WPB. Hasil pemiksaan dan analisa menunjukkan bahwa pipa fitting mengalami retak yang diakibatkan oleh tegangan sisa dan dekarburisasi. Tegangan sisa dan dekarburisasi timbul akibat pengontrolan temperatur yang tidak tepat dari proses perlakuan panas saat proses manufaktur. Kedua hal tersebut mengakibatkan ketidakhomogenan besar butir serta perbedaan struktur pada diameter luar dan dalam komponen. Hal ini akan menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi dalam butir pada komponen pipa fitting.

**Kata Kunci:** Pipa fitting, analisa kegagalan, dekarburisasi, tegangan sisa

### PENDAHULUAN

Pipa fitting merupakan salah satu jenis komponen yang sering digunakan pada sistem perpipaan, fitting pun memiliki perbedaan mulai dari ukurannya, bentuknya sampai karakternya. Bagian ini merupakan bagian penting dalam sistem perpipaan. Dan tentunya memiliki fungsi yang berbeda-beda. Pipa fitting biasanya terbuat dari baja seamless (pipa tanpa sambungan) dan dari plat strip baja yang disambung atau di las menjadi pipa yang biasa disebut welded. Jenis – jenis pipa fitting antara lain elbow, tee, reducer dan cap. Telah terjadi kegagalan material pada komponen pipa fitting (straight tee 2”) dengan bahan baja karbon, kegagalan berupa retak (crack) yang mengakibatkan terjadinya kebocoran pada saat beroperasi. Penyebab terjadinya kerusakan pipa diakibatkan karena beberapa hal seperti akibat adanya kesalahan operasi, kondisi lingkungan, kesalahan dalam pemasangan pipa atau sambungannya serta pemilihan material yang tidak sesuai dan lain-lain. Pada instalasi pipa ini mempunyai peranan yang cukup penting sehingga tidak diinginkan mengalami kerusakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisa sehingga dapat

diketahui penyebab kerusakan komponen pipa fitting. Sehingga diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan langkah pencegahan dan perawatan agar tidak terjadi kerusakan yang serupa [1].

## TINJAUAN PUSTAKA

Pipa didefinisikan sebagai silinder yang panjang dan berlubang yang berfungsi untuk memindahkan fluida hasil suatu proses seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Pipa juga dapat digunakan untuk aplikasi struktur. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak, diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan, tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon dan baja paduan[2]. Sistem perpipaan (piping system) digunakan untuk memindahkan fluida kerja dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses bisa berlangsung. Komponen– komponen lain dalam sistem perpipaan diantaranya adalah katup, flens, elbow, fitting, reducer, dan lain-lain. Jenis pipa yang sering digunakan pada industri proses dan pembangkit listrik (power Plant) yaitu pipa baja (steel pipe) dan pipa besi (iron pipe). Beberapa jenis pipa seperti : - Spiral welding pipe yaitu pipa yang terbuat dari strip logam yang dibuat menjadi bentuk spiral yang dilas pada tiap ujung sambungan satu dengan yang lainnya sehingga membentuk sebuah pipa. - Seamless steel merupakan pipa yang dibuat tanpa ada sambungan yang dibuat melalui proses penusukan batang baja dengan mandrel pada temperatur tinggi. - Butt-welded pipe yang terbuat dari plat baja melalui proses pengerolan menjadi bentuk batangan pipa yang berlubang. Dalam memilih material pipa harus disesuaikan dengan metode pembuatannya dengan mengacu pada standar ASTM (American Society of Testing Materials) serta ANSI (American National Standard Institute). Sambungan pipa (fitting) pada suatu instalasi perpipaan berfungsi sebagai penyambung pipa, perubah arah aliran, pembagi aliran ataupun sebagai akhir dari sistem perpipaan. Beberapa jenis pipa fitting diantaranya adalah elbow, tee dan reducer. Penyambungan pipa dapat dilakukan dengan beberapa teknik yaitu penyambungan dengan las (butt weld joint), ulir (trhreaded) ataupun menggunakan flens (flange). Kegagalan pada sistem perpipaan dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti penghentian operasi suatu plan atau pabrik karena perbaikan yang tidak terjadwal, atau bahkan kerusakan lingkungan yang menyebabkan kerugian. Kegagalan pada struktur bisa terjadi akibat adanya konsentrasi tegangan pada saat pembebanan di suatu titik akibat dari bentuk struktur tersebut. Akibat dari konsentrasi tegangan, maka tegangan di titik konsentrasi tersebut lebih besar daripada tegangan nominalnya.

Beberapa jenis kegagalan yang biasa terjadi pada pipa adalah: a) Kegagalan yang terjadi karena tegangan yang melebihi tegangan luluh pada material pipa sampai melebihi batas deformasi plastisnya. b) Kegagalan karena terjadi kerusakan sebelum sampai batas tegangan luluhnya, kegagalan ini meliputi : □ Brittle Fracture : terjadi pada material yang getas dan mudah patah ataupun pecah □ Fatigue : akibat adanya beban yang berulang ataupun fluktuatif. Salah satu cara yang efisien untuk dapat memilih material yang tepat adalah dengan menganalisis kegagalan pada material tersebut apabila komponen atau material tersebut ternyata tidak memenuhi umur pakai yang telah direncanakan. Analisis kegagalan memerlukan pemahaman tentang berbagai aspek, seperti: fungsi komponen sebagai bagian dari suatu sistem peralatan, kondisi operasi dan gejala yang teramati menjelang terjadinya kegagalan[3,4].

## METODE

Pengumpulan data awal sebagai data pendukung penelitian mutlak diperlukan. Data-data yang diperlukan antara lain spesifikasi dari data material dan instalasi serta operasional. Adapun tahapan pengujian yang akan dilakukan meliputi :

a. Pengamatan visual. Pemeriksaan dilakukan secara visual pada komponeen pipa fitting jenis tee dengan diamter 2” yang mengalami kegagalan menggunakan teknik non destructive test (NDT) untuk mengetahui retakan secara makro dengan metode radiografi xray sesuai dengan standard ASME Sect.V.

c. Analisa komposisi kimia. Analisa komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandunga unsur pada material pipa fitting yang mengalami kegagalan, data hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan standar ASTM A-234 WPB [5]. Analisa komposisi kimia ini dilakukan dengan pengujian metode Spark Optical Emission Spectrometer (Spark OES). untuk mengetahui apakah material yang digunakan untuk komponen pipa fitting sudah sesuai dengan standar yang disyaratkan.

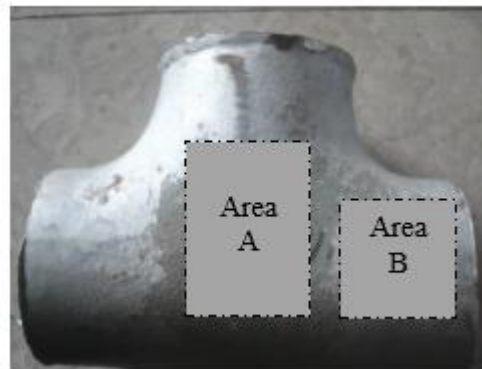
d. Pengamatan Metalografi Pengamatan metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro atau fasa pada spesimen. Pengamatan dilakukan pada posisi potongan melintang atau memanjang. Standar yang digunakan ASTM E-407-93.

e. Pengamatan SEM (Scanning Electron Microscope) Pengamatan fraktografi menggunakan SEM untuk dapat mengetahui jenis patahan pada komponen pipa fitting dengan pembesaran yang lebih besar dibandingkan dengan visual maupun mikroskop optik sehingga diketahui jenis dan penyebab patahan pada komponen tersebut.

f. Pengujian Kekerasan Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell ( HB 30) dengan beban 187,5 kgf dan diameter indenter 2,5 mm. Standar yang digunakan adalah (ASTM E 10-98).

g. Posisi pengujian Pada Gambar 1 menunjukkan posisi pengambilan sampel uji dengan keterangan sebagai berikut :

- Sampel uji komposisi kimia diambil pada area
- . Sampel uji kekerasan dan metalografi dengan mikroskop optik diambil dari area A dan B.
- Sampel fraktografi menggunakan SEM diambil dari area A.



Gambar 1. Foto posisi pengambilan sampel komponen pipa fitting yang mengalami kegagalan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

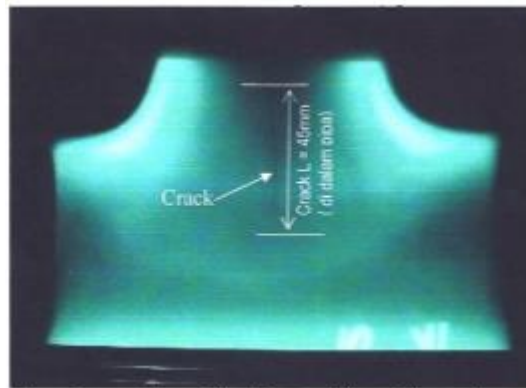
Hasil analisa komposisi kimia pada komponen pipa fitting yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa komponen tersebut termasuk material baja karbon untuk keperluan weld fitting sesuai standard ASTM grade A-234 WPB untuk aplikasi seamless and welded butt weld pipe fittings seperti butt weld elbow, tee, reducer, coupling, cross, stub end, pipe bends, concentric reducers dan eccentric reducers.

Tabel 1. Hasil analisa komposisi kimia komponen pipa fitting.

UNSUR	% Komposisi	
	<i>pipa fitting</i>	ASTM A-234 WPB
C	0,180	maks. 0,30
Si	0,153	min. 0,10
S	0,022	maks. 0,058
P	0,028	maks. 0,050
Mn	0,451	0,29 – 1,06
Ni	0,013	maks. 0,40
Cr	0,041	maks. 0,40
Mo	0,002	maks. 0,15
V	0,005	maks. 0,08
Cu	0,017	maks. 0,40
Fe	Bal.	-

Hasil pengamatan visual menggunakan teknik NDT (non destructive test) metoda radiografi sinarX sebagaimana Gambar 2. Hasil radiografi sinar-X menunjukkan adanya retakan (crack) pada area A dengan arah tegak lurus sumbu

poros pipa fitting. Retakan memiliki panjang 45 mm dengan penjalaran retak dimulai pada diameter luar pipa (OD) menuju diameter dalam pipa (ID).



Gambar 2. Hasil radiografi sinar-x menunjukkan adanya retakan (crack) memanjang sepanjang 45 mm.

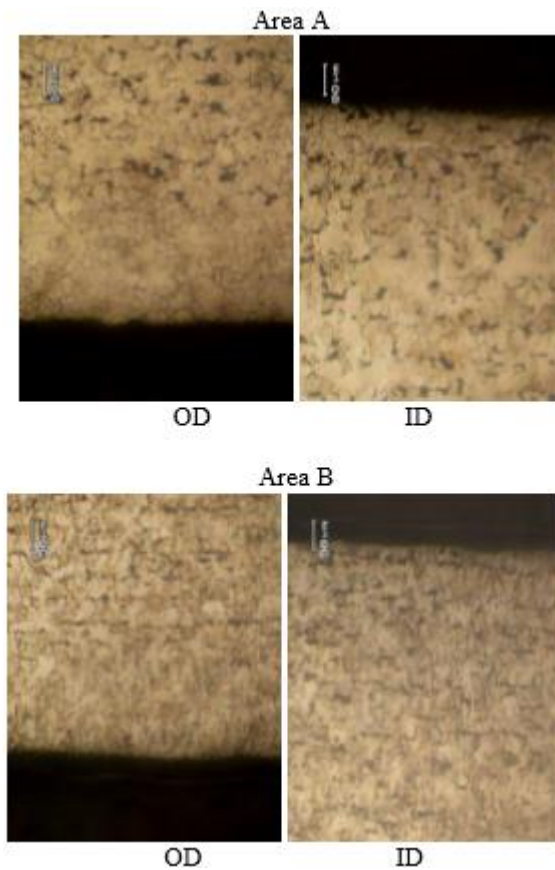
Hasil uji kekerasan menggunakan metode Brinell dengan jumlah indentasi sebanyak 5 (lima) titik pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pipa fitting memiliki nilai kekerasan rata-rata 123,9 BHN pada area A dan 135,6 BHN pada area B. Nilai kekerasan tersebut sesuai dengan harga kekerasan standar ASTM grade A-234 WPB yaitu maksimal 197 BHN. Dari hasil pengujian pada titik A dan B terdapat nilai kekerasan yang lebih rendah yaitu pada sekitar area A, hal ini disebabkan karena terjadi dekarburisasi material. Dekarburisasi menyebabkan terjadinya pelepasan atom karbon di sekitar permukaan material pipa, atom tersebut berikatan dengan senyawa lain di udara sehingga menyebabkan pada area A fasa perlit berkurang sedangkan fasa ferit-nya mendominasi sehingga mengakibatkan penurunan kekerasan.

Tabel 2. Harga kekerasan sampel pipa fitting dengan metode Brinell.

NO. PENGUKURAN	HARGA KEKERASAN BRINELL (BHN)	
	Area A	Area B
1	124,7	142,1
2	126,2	139,3
3	125,1	137,3
4	123,1	131,2
5	120,8	128,0
<b>Rata-rata</b>	<b>123,9</b>	<b>135,6</b>
<b>ASTM A-234WPB</b>	<b>Maks. 197 BHN</b>	

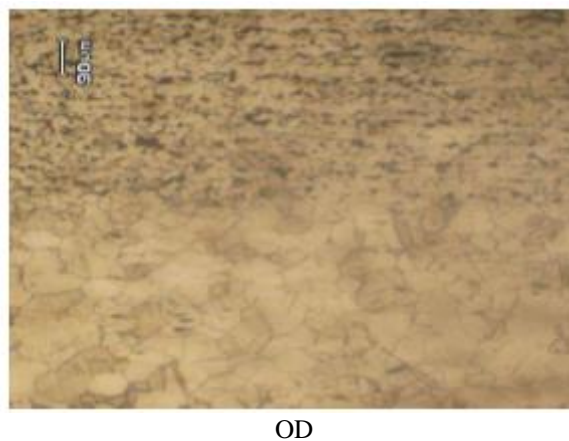
Keterangan : Brinell HB 30, Beban 187,5 kgf, Ø Indentor 2,5 mm

Hasil pengamatan metalografi pada pipa fitting menunjukkan struktur mikro pipa dengan fasa ferit-perlit dan sementit. Fasa sementit teramati pada arah diameter luar pipa (OD) dan diameter dalam pipa (ID). Distribusi ukuran butir dan struktur mikro yang terbentuk teramati tidak homogen. Butir ferit terlihat semakin banyak ke arah diameter luar pipa (OD) dengan ukuran butir ferit lebih besar dibandingkan ke arah diameter dalam pipa (ID). Adanya fasa ferit dan sementit pada diameter luar pipa disebabkan oleh kontrol temperatur yang tidak tepat saat proses perlakuan panas. Kontrol temperatur yang tidak tepat mengakibatkan tegangan sisa pada desain yang rumit dari komponen, dan juga terjadi dekarburisasi (pengurangan unsur karbon). Saat pendinginan setelah proses austenisasi, pada diameter luar pipa akan terbentuk ferit dan sementit akibat tegangan sisa tersebut. Hal ini dikarenakan adanya ekspansi dari tegangan sisa menyebabkan formasi perlit akan tertahan pada saat pendinginan. Sehingga pada diameter luar pipa terbentuk ferit dan sementit. Akibatnya butir-butir pada diameter dalam pipa akan mengalami penarikan, sedangkan pada diameter luar pipa mengalami penekanan. Hal ini berdasarkan pengamatan visual pada area retakan bahwa perambatan retak dari arah dalam menuju luar pipa.



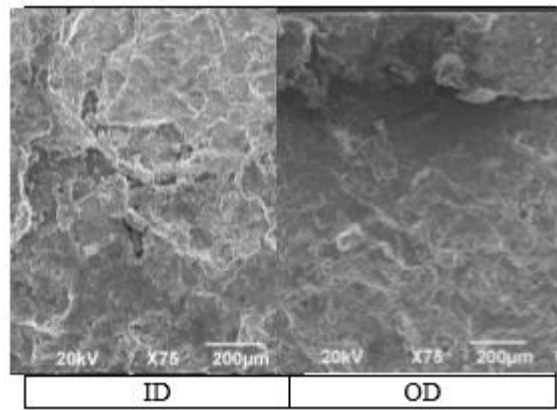
Gambar 3. Struktur mikro pada diameter luar pipa (OD) dan diameter dalam pipa (ID) pada area A dan area B menunjukkan fasa ferit (terang), fasa perlit (gelap) dan fasa sementit.

Pada gambar 4 juga menunjukkan fenomena yang terjadi pada daerah patahan yaitu dekarburisasi yang mengakibatkan terjadinya pengurangan fasa pearlit. Terjadinya perubahan struktur mikro ini berpengaruh pada sifat mekanis pipa fitting tersebut sehingga dapat mengakibatkan kegagalan.

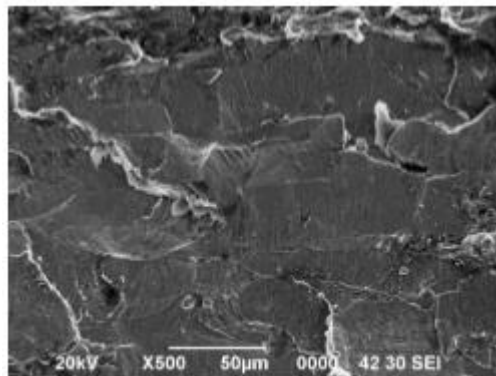


Gambar 4. Struktur mikro pada area diameter luar dan dalam pipa menunjukkan fasa ferit (putih), perlit (hitam) dan sementit. Distribusi ukuran butir terlihat tidak homogen. Butir ferit terlihat membesar ke arah diameter luar pipa (OD). Etsa Nital 2%.

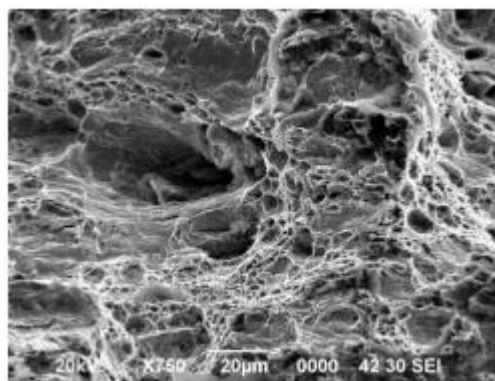
Hasil fraktografi patahan pada gambar 5 dan gambar 6 menggunakan SEM pada area A menunjukkan jenis patah getas (brittle cleavage fracture) pada area diameter dalam pipa dan patah ulet (dimple ductile fracture) pada area diameter luar pipa. Jadi fraktografi pada patahan menunjukkan gabungan jenis patah ulet dan getas (ductile brittle fracture). Daerah transisi antara patahan intergranular dari butir kecil dan butir berukuran besar serta daerah ductile - brittle fracture tampak pada gambar 7.



Gambar 5. Fraktografi hasil SEM pada permukaan patahan



(a) area diameter dalam pipa (ID) - brittle cleavage fracture



Gambar 7. Fraktografi hasil SEM pada permukaan

## KESIMPULAN

1. Material komponen pipa fitting adalah baja karbon untuk keperluan weld pipe fitting dan termasuk dalam standard ASTM grade A-234 WPB.
2. Komponen pipa fitting mengalami retak diakibatkan oleh tegangan sisa dan dekarburisasi.
3. Tegangan sisa dan dekarburisasi timbul akibat pengontrolan temperatur yang tidak tepat dari proses perlakuan panas pada saat proses manufaktur. Kedua hal tersebut mengakibatkan ketidak homogenan pada besar butir serta perbedaan struktur pada area diameter luar dan diameter dalam komponen. Hal ini akan menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi dalam butir pada komponen pipa fitting.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Niko Adi Lukito, dkk, 2016. “Analisa Kegagalan Pipa Desuperheater Spray pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 4 PT. PJB UP. Gresik”. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No.2, Surabaya
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pipe\\_\(fluid\\_conveyance\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pipe_(fluid_conveyance)) diakses 16 Oktober 2019 Daryanto, *Ilmu Metalurgy*. Satu nusa, Bandung, Oktober 2010
- [3] Gregorius Sasongko, Sri Nugroho, 2016,. “ Analisis Kegagalan Pipa Elbow 180° Pada Furnace”, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 4, No. 2 ISSN: 2337-3539 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
- [4] Cahya Sutowo, dkk., 2015,. “Analisa Keretakan Pada Komponen Camshaft”, Proseding SMM 2015 , ISSN / ISBN / IBSN : 2085-0492. Serpong
- [5] *ASTM A234, 1997*,. “*Standard Specification for Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and High Temperature Service*”, USA