

ANALISIS KEGAGALAN PIPA *EMBEDDED* PADA PLTU TE 3X10 MW

Kiagus M Rizky Khadafi¹⁾, Hendradinata²⁾*, Fenoria Putri²⁾, Ogi Meita Utami²⁾

¹Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit besar, Palembang, 30139, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, 30139, Indonesia

*email korespondensi: hendradinata@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
28/07/23

Received in revised:
20/12/23

Accepted:
23/01/24

Online-Published:
30/06/24

© 2024 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.12735933>

ABSTRAK

Pipa merupakan salah satu equipment terpenting didalam boiler. Memperbaiki kebocoran pada pipa boiler membutuhkan banyak waktu dan biaya perawatan yang tinggi. karena itu kerusakan pipa pada boiler harus segera diperbaiki dan dicegah, agar tidak terjadi. Kebocoran pada pipa dikarenakan kurangnya ketahanan suatu material dalam menahan pressure fluida dan penipisan ketebalan, maka pada penelitian ini menggunakan pengujian struktur mikro untuk mengetahui kandungan suatu material. Dari hasil pengujian yang didapat perlit pipa yang bocor 48% dan pipa yang tidak bocor 31,5%, sedangkan hasil dari ferrite pipa yang bocor 43,5% dan pipa yang tidak bocor 35%.maka pipa yang bocor tingkat Pada struktur mikro sampel pipa embedded yang tidak bocor didapatkan hasil kandungan perlit sebesar 31,5% sedangkan kandungan ferrit didapatkan sebesar 35%, maka dapat disimpulkan kandungan baja tersebut bersifat lunak dan didapatkan nilai gran size atau butiran fasa struktur mikro sebesar 7,24071. Pada struktur mikro sampel pipa embedded yang bocor mempunyai kandungan perlit sebesar 48% lebih tinggi kandungan perlit, dibandingkan kandungan ferrit lebih rendah dari perlit dengan nilai 43,5% sehingga baja tersebut mempunyai tingkat kekerasan yang cukup tinggi, yang disebabkan oleh perlit, dan didapatkan nilai gran size atau butiran fasa struktur mikro sebesar 5,9039.

Kata Kunci : Analisis Kegagalan Pipa, Pipa Embedded Bocor, Pengujian Metalografi

ABSTRACT

Pipes are one of the most important equipment in a boiler. Repairing leaks in boiler pipes requires a lot of time and high maintenance costs. Therefore, pipe damage to the boiler must be repaired immediately and prevented, so that it does not occur. Leaks in pipes are due to a material's lack of resistance in withstanding fluid pressure and thinning of thickness, so this research uses microstructure testing to determine the content of a material. From the test results obtained perlite pipes that leaked 48% and pipes that did not leak 31.5%, while the results from ferrite pipes that leaked were 43.5% and pipes that did not leak 35%. So, the pipe leaking level is based on the microstructure of the embedded pipe samples. without leaking, the result was that the pearlite content was 31.5%, while the ferrite content was 35%, so it could be concluded that the steel content was soft and the gran size or granular phase microstructure value was 7.24071. In the microstructure of the leaked embedded pipe sample has a pearlite content of 48%, which is higher than the pearlite content, compared to a ferrite content which is lower than pearlite with a value of 43.5%, so that the steel has a fairly high level of hardness, which is caused by pearlite, and obtained a gran size or granular microstructure phase value of 5,9039.

Keywords: Pipe Failure Analysis, Leaking Embedded Pipes, Metallographic Testing

1 PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu lembaga pembangkitan energi listrik yang proses kerjanya memanfaatkan tenaga uap untuk menghasilkan listrik. PLTU memiliki tiga peralatan utama dalam sistem kerjanya, yaitu *boiler*, turbin, dan generator [1]. PLTU (Pembangkit Listrik tenaga Uap) adalah jenis pembangkit yang memiliki komponen-komponen atau bagian-bagian yang cukup banyak. Bagian pembangkit ini diantaranya: ada bagian yang merupakan bagian utama, yakni seperti *boiler* dan lain-lain serta bagian-bagian penunjang dan pelengkap seperti *Water Treatment Plant* (WTP) dan lain-lain. [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan beberapa komponen utama yang membentuk sebuah PLTU, seperti *boiler*, turbin, kondensator, genset, dll. Ketel uap merupakan salah satu komponen utama PLTU, dan fungsinya untuk mengubah keadaan fasa dari cair menjadi gas dan menghasilkan uap kering untuk menggerakkan turbin uap. Setelah turbin berputar, turbin berputar untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Dengan terus meningkatnya kebutuhan listrik nasional dan perkembangan industri khususnya pembangkit Listrik [3].

Boiler merupakan komponen utama untuk mengubah air menjadi uap sebagai bahan bakar penggerak turbin sehingga bisa membangkitkan tenaga listrik. Di dalam *boiler* tersebut terdapat banyak pipa-pipa yang dipanaskan untuk mengubah air menjadi uap, salah satu pipa di dalam *boiler* yaitu pipa *embedded*. Fungsi dari pipa *embedded* sama seperti pipa *water wall* dimana pipa tersebut sebagai media panas yang mengubah air baku menjadi uap jenuh [4]. Kegagalan pipa *boiler* merupakan masalah utama karena perbaikan memakan waktu lama dan mahal meskipun hanya satu pipa yang pecah. Berdasarkan lokasi kegagalannya, pipa dinding air merupakan titik kegagalan terbanyak kedua setelah pipa radiator. Waktu yang dibutuhkan lama dan biaya perbaikan yang tinggi membuat kebocoran pada pipa *boiler* dapat segera diperbaiki [5]. Sering kali *boiler* mengalami *overheat* dikarenakan jumlah debit air yang mengalir turun dari *steam drum* tidak sesuai (kurang) dari desain dan normal operasional pada *boiler*, akibatnya jumlah panas yang dilepas dari *furnace boiler* tidak seimbang dengan jumlah panas yang diserap oleh air di dalam pipa sehingga mengakibatkan *overheat* pada *furnace* dan kegagalan mekanis pada *tubes* yang berakibat berubahnya struktur pada pipa.

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antar struktur dalam paduan logam. Hasil yang diperoleh berupa pengamatan bentuk gambaran struktur mikro, meliputi pembentukan ukuran butir, batas butir, fasa baru, proses pengendapan, komposisi kimia, cacat kristal, dislokasi, dan lain-lain yang dapat dilihat melalui gambaran struktur mikro. Proses pengamatan struktur mikro digunakan sebagai langkah awal untuk memahami deskripsi sehingga dapat dianalisis sesuai dengan tujuan yang diinginkan [6]. Struktur mikro atau metalografi adalah suatu bentuk susunan struktur yang terbentuk pada suatu bahan logam yang sangat kecil dan ukurannya tidak beraturan serta bentuknya bervariasi tergantung unsur dan proses yang dialami selama pembentukan [7]. Dari hasil mikrostruktur pembesaran 200X seperti terlihat pada gambar dapat melihat fase sampel yang terdiri dari ferit dan perlit. *Ferrite* berwarna terang dan cenderung ulet, sedangkan perlit berwarna gelap dan biasanya keras [2]. Menurut Okviyanto terbentuknya struktur mikro *acicular ferrite* akan meningkatkan ketangguhan dan keuletan dari suatu material [9]. Penelitian Tafran menyatakan bahwasanya perlakuan terhadap suatu material maka akan mempengaruhi struktur material tersebut, hal ini dapat dilihat terbentuknya struktur martensit adalah salah satu efek penurunan suhu yang tiba-tiba. Hal ini menyebabkan penambahan nilai kekerasan baja AISI 1040 menjadi hampir 2 kali dari pada nilai kekerasan yang semula [10].

PLTU (Pembangkit Listrik tenaga Uap) adalah jenis pembangkit yang memiliki komponen-komponen atau bagian-bagian yang cukup banyak. Bagian pembangkit ini diantaranya ada bagian yang merupakan bagian utama, yakni seperti *boiler* dan lain-lain serta bagian-bagian penunjang dan pelengkap seperti *Water Treatment Plant* (WTP) dan lain-lain [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan beberapa komponen utama yang membentuk sebuah PLTU, seperti *boiler*, turbin, kondensator, genset, dll. Ketel uap merupakan salah satu komponen utama PLTU, dan fungsinya untuk mengubah keadaan fasa dari cair menjadi gas dan menghasilkan uap kering untuk menggerakkan turbin uap. Setelah turbin berputar, turbin berputar untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Dengan terus meningkatnya kebutuhan listrik nasional dan perkembangan industri khususnya pembangkit Listrik [3].

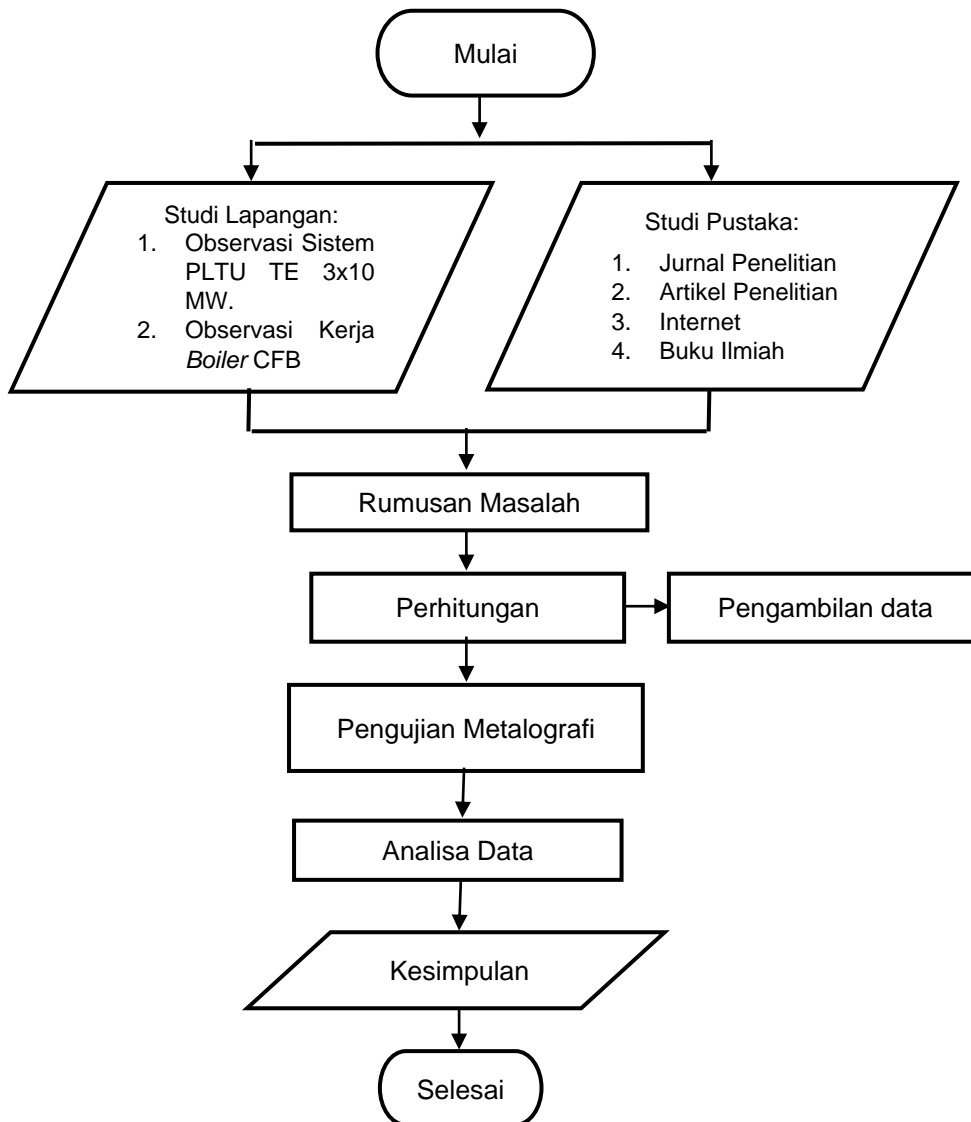
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Metode Penelitian

Untuk membuat diagram alir yang kita butuhkan literatur, melakukan survei dengan mencari data-data yang berkaitan dengan penelitian tersebut yang sesuai dan relevan. Biasanya data-data yang diperlukan untuk membuat diagram alir antara lain:

- a. Melakukan studi lapangan, mencari data-data, pengambilan sampel, mencari referensi jurnal dan literatur lainnya.

- b. pengambilan sampel kemudian, pengujian apa yang akan digunakan untuk menentukan hasil nilai sampel atau inti penelitian
- c. mencari *input* atau *output* dari hasil penelitian tersebut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian dalam mencari nilai dan hasil pipa *embedded*, sebagai berikut:

Tabel 1. Faktor-faktor Eksperimen

No	Alat	Bahan
1	Struktur Mikro	Pipa Kondisi Normal
2	-	Pipa <i>Embedded</i> Pecah

2.3 Sampel Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis sampel yang diambil dari dua jenis sampel pipa *embedded*. Dimulai dari proses pengambilan sampel pipa pada *boiler* Unit 2 yang selanjutnya dilakukan proses pemotongan dan dilanjutkan proses pencetakan menggunakan resin dikarenakan bentuk spesimen yang tidak

datar, oleh karena itu dibentuk permukaan bawah sampel yang datar dengan menggunakan cairan resin, adapun hasil gambar sampel yang telah dibentuk sebagai berikut:

- a. Sampel pipa *embedded* normal (tidak bocor)



Gambar 2. Sampel Pipa *Embedded* Normal (Tidak Bocor)

- b. Sampel pipa *embedded* Pecah (bocor)



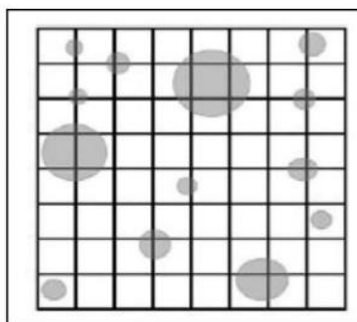
Gambar 3. Sampel Pipa *Embedded* (Bocor)

2.4 Analisa Data

Penelitian ini menggunakan pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat dari masing-masing sampel pipa. Adapun perhitungan yang digunakan dalam pengolahan data hasil pengujian struktur mikro ialah menggunakan metode *Point Count* dan Metode *Hillard*.

1. Metode *Point Count* [11]

Metode *point count* digunakan untuk menghitung persentase dari fasa tertentu yang tersebar dalam struktur mikro dari suatu logam.



Gambar 4. Kotak-kotak Pembantu Perhitungan (Metallurgical Facts, 2021)

Adapun perhitungan dari Metode *Point Count* sebagai berikut :

$$P_{Ms} \frac{Q_{Ms}}{Q_o} \times 100\% = \% \quad (1)$$

Keterangan:

- PMs = Persentase Mikrostruktur Tertentu
QMs = Jumlah Titik Mikrostruktur Tertentu
Qo = Jumlah Titik Total

2. Metode *Hillard* [12]

Metode *Hillard* digunakan untuk mengukur besar butiran spesimen dengan menggunakan satu lingkaran dengan diameter tertentu sebagai dasar perhitungan ukuran butiran. Adapun perhitungan Metode *Hillard* sebagai berikut:

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{LT}{P.M} \tag{2}$$

Keterangan:

- G = besaran butir ASTM
- LT = total keliling lingkaran
- P = total jumlah perpotongan lingkaran dengan butiran
- M = pembesaran

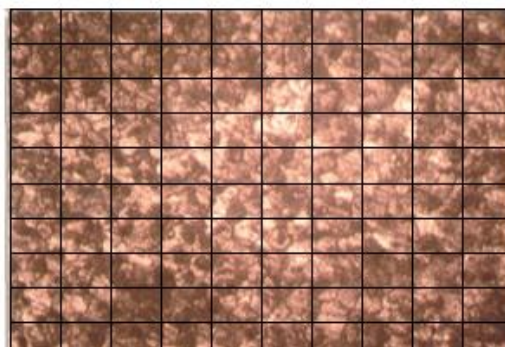
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian metalografi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fasa pada material pipa *embedded*, mengetahui perubahan fasa struktur mikro pada material tersebut dan melihat adanya kerusakan berupa *crack* pada pipa *embedded* oleh karena itu pengujian metalografi yang sangat cocok untuk mengetahui permasalahan tersebut, untuk mengolah hasil persentase fasa perlit, ferrit dan menghitung butiran yang terkandung dalam rumus yang telah tercantum pada penjelasan bab sebelumnya yang dimana terdapat 2 rumus, setelah dilakukan perhitungan hasil metalografi maka tahap selanjutnya pembahasan hasil penelitian.

3.1 Data Hasil Nilai Uji metalografi

3.1.1 Pipa tidak bocor

Perhitungan persentase fasa *perlit* dan *ferrit* dengan metode *point count* :

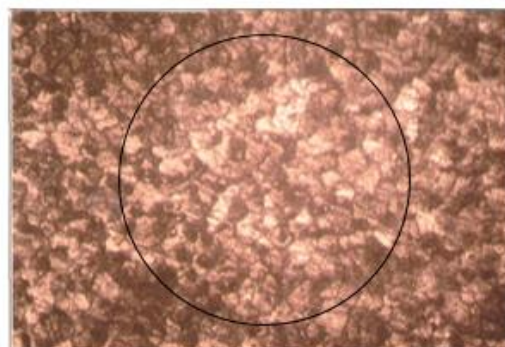


Gambar 5. Hasil Struktur Mikro Pembesaran 200x Pipa Tidak Bocor Menggunakan Metode *Point Count*

$$Fasa Perlit\% = \frac{(29x1)+(5x\frac{1}{2})}{100} x 100\% = 31,5\%$$

$$Fasa ferrit\% = \frac{(33x1)+(4\frac{1}{2})}{100} x 100\% = 35\%$$

Perhitungan *gran size* atau butir fasa struktur mikro dengan metode *hillard* :



Gambar 6. Perhitungan *Gran Size* Struktur Mikro Pembesaran 200x Tidak Bocor Menggunakan Metode *Hillard*

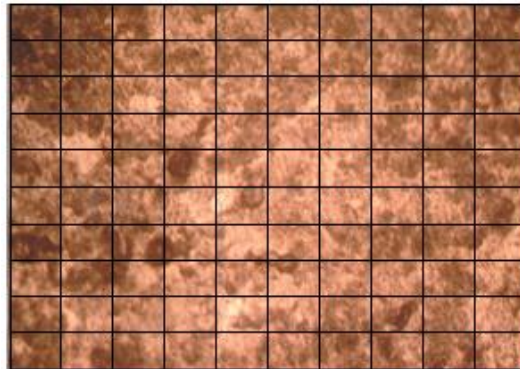
LT = Keliling lingkaran = 31,4 cm
P = Total jumlah butiran = 62 titik
M = Perbesaran = 200 kali

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{LT}{P.M}$$

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{31,4}{62.200} = 7,24071$$

3.1.2 Pipa bocor

Perhitungan persentase fasa *perlit* dan *ferrit* dengan metode *point count* :

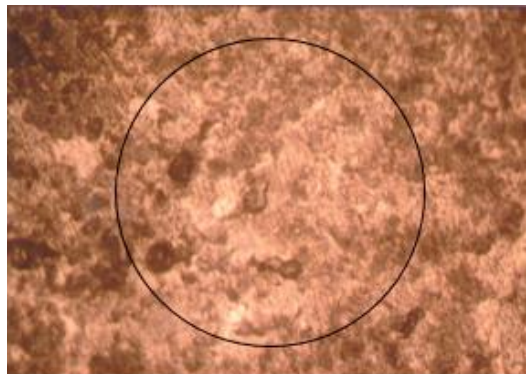


Gambar 7. Hasil Struktur Mikro Pembesaran 200x Pipa Bocor Menggunakan Metode *Point Count*

$$\text{Fasa Perlit}\% = \frac{(44x1) + (8x\frac{1}{2})}{100} \times 100\% = 48\%$$

$$\text{Fasa ferrit}\% = \frac{(43x1) + (1x\frac{1}{2})}{100} \times 100\% = 43,5\%$$

Perhitungan *gran size* atau butir fasa struktur mikro dengan metode

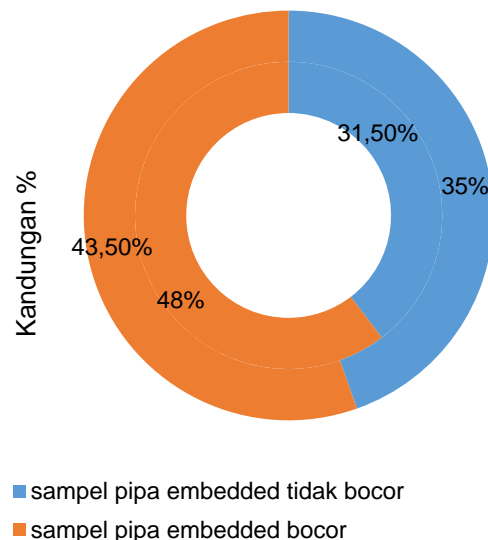


Gambar 8. Perhitungan *Gran Size* struktur mikro pembesaran 200x bocor menggunakan metode hillard

LT = Keliling lingkaran = 31,4 cm
P = Total jumlah butiran = 39 titik
M = perbesaran = 200 kali

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{LT}{P.M}$$

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{31,4}{39.200} = 5,9039$$



Gambar 9. Grafik metalografi

Dari hasil di atas kandungan persen (%) fasa pada suatu material, hasil dari tabel berikut ini dapat diartikan dan dijelaskan sebagai berikut :

1. Dari tabel di atas sebelum dapat kita lihat dan amati pipa *embedded* yang memiliki nilai *perlite* tertinggi adalah sampel pipa *embedded* yang bocor dengan nilai kandungan *perlite* sebesar 48%, sedangkan sampel dengan kandungan *perlite* terendah adalah pipa *embedded* yang tidak bocor dengan kandungan nilai *perlite* sebesar 31,5%.
2. Kemudian untuk kandungan *ferrite* dalam hasil pengujian metalografi didapatkan kandungan *ferrite* tertinggi adalah sampel *embedded* yang bocor dengan nilai sebesar 43,5%, kemudian kandungan sampel pipa *embedded* yang tidak bocor dengan nilai fasa *ferrite* terendah sebesar 35%.
3. Pada struktur mikro sampel pipa *embedded* yang tidak bocor didapatkan hasil kandungan *perlite* sebesar 31,5 % sedangkan kandungan *ferrite* didapatkan sebesar 35%, maka dapat disimpulkan kandungan baja tersebut bersifat lunak dan didapatkan nilai *grain size* atau butiran fasa struktur mikro sebesar 7,24071.
4. Pada struktur mikro sampel pipa *embedded* yang bocor mempunyai kandungan *perlite* sebesar 48 % lebih tinggi kandungan *perlite*, dibandingkan kandungan *ferrite* lebih rendah dari *perlite* dengan nilai 43.5 % sehingga baja tersebut mempunyai tingkat kekerasan yang cukup tinggi, yang disebabkan oleh *perlite*, dan didapatkan nilai *grain size* atau butiran fasa struktur mikro sebesar 5,9039.
5. Pada sampel pipa tidak bocor didapatkan perhitungan *grain size* yaitu 7,24071 sedangkan pada pipa bocor didapatkan hasil perhitungan *grain size* yaitu 5,9039. Dimana semakin besar *grain size* semakin kecil diameter butir. Dimana ukuran butir logam memiliki korelasi terhadap sifat mekanik kekerasan, ketangguhan dan kekuatan. Ukuran butir yang kecil akan membuat material menjadi tangguh dan kekuatan tarik yang meningkat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengujian metalografi yang telah di analisa maka didapatkan kesimpulan bahwasanya faktor utama yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada pipa *embedded* ialah usia pipa yang lebih lama dibandingkan pipa baru. Selain kondisi usia pipa yang lama, dimana sering terjadinya proses produksi uap di dalam pipa yang menyebabkan proses pemanasan dan pendinginan pada pipa yang berada dalam siklus pemanasan dan pendingin secara berulang-ulang akan mengalami perubahan struktur mikro pada pipa. Seiring dengan proses-proses tersebut menyebabkan pipa akan mengalami korosi, *thermal fatigue* dan lainnya. Selanjutnya, suhu dan tekanan tinggi yang berfluktuasi dalam proses menghasilkan uap dalam sistem kerja *boiler* dapat menyebabkan *deformasi thermal* yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan fisik pada pipa. *Stress* pada pipa harus dihindarkan dan dilakukan perhitungan guna apabila gaya yang timbul di dalam pipa dapat ditahan dan diterima pipa tanpa harus mengalami pecah sesuai dengan kekuatan material pipa yang digunakan. Hal yang dapat dilakukan dalam pencegahan agar tidak terjadinya kebocoran pada pipa ialah dilakukannya pengecekan secara berkala temperatur dan tekanan yang digunakan guna menghindari terjadinya *overheating* yang nantinya akan menyebabkan pipa pecah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adrian, J., Latif, N., Noerochim, L., Kurniawan, B. A., Material, J. T., Industri, F. T., Sepuluh, I. T., & Literatur, A. S. (2016). *Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 5(2), 148–152. <https://www.neliti.com/id/publications/214258/analisa-kerusakan-superheater-tube-boiler-tipe-astm-a213-grade-t11-pada-pembangkit>
- [2] Antono, V. (2014). Analisa Kegagalan Platen Tube Superheater PLTU Teluk Sirih. *Power Plant*, 6. <https://jurnal.itpln.ac.id/powerplant/article/view/67>
- [3] Rosyid, H. Al, & Firmansyah, J. (2015). Analisis Kegagalan Material *Waterwall Tube Boiler* PLTU Ubon Banten 3 Lontar Unit 3” Cengkareng. *Jurnal Power Plant. Sekolah Tinggi Teknik-PLN*, 1(2356–1513), 42–46 <https://jurnal.itpln.ac.id/powerplant/article/view/792>
- [4] Chudhoifah, M. N., Suastiyanti, D., & Rupajati, P. (2020). Analisa Kerusakan Pipa Boiler Super Kritis. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 4(1), 24. <https://doi.org/10.31543/jtm.v4i1.334>
- [5] Firdaus, H., Sudarmawan, R. G., Tarigan, S., Mesin, S. T., Teknik, J., Rekayasa, M., Jakarta, P. N., & A, J. P. G. (2019). *Studi Kasus Penyebab Kegagalan Pada Pipa Waterwall Untuk Meningkatkan Availability Boiler*. 225–233.
- [6] Lukito, N. A., P. Hidayat, M. I., & Nurdiansah, H. (2016). Analisa Kegagalan Pipa Desuperheater Spray pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 4 PT. PJB UP. Gresik. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18236>
- [7] Hasan, A. R. (2019). Analisa Kegagalan Material Sa-210C Pada Aplikasi Boiler Steam Pipe. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.33021/jmem.v3i1.533>
- [8] Anggraeni, S. D., Pratikno, H., & Hadiwidodo, Y. S. (2017). Studi Perbandingan Proses Pengelasan Smaw Pada Lingkungan Darat dan Bawah Air Terhadap Ketahanan Uji Bending Weld Joint Material A36. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18096>
- [9] Okviyanto, T., Setiawan, D., Nugraha, G., Muliastri, D., Srijaya Negara Bukit Besar, J., Teknik Mesin, J., Negeri Bandung, P., Gegerkalong Hilir, J., & Barat, B. (2023). *Analisis Struktur Mikro Terhadap Hasil Ekperimental Sambungan Las Smaw Pada Baja Karbon St 37 Informasi Artikel Abstrak*. 4(2), 2723–3359.
- [10] Tafrant, D., Hendradinata, Mulyadi, Sampurno, R. D., Sani, A. A., Karmin, Hidayat, R., Muzaffar, M. A., & Fitriani, D. D. (2022). Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 1040 Sebagai Hasil Proses Quenching Menggunakan Pendingin Air Garam dan Asap Cair. *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 3(2), 62–68. <http://doi.org/10.5281/zenodo.6857629>
- [11] Nurmalasari, (2017). Analisa pengaruh variasi perbandingan campuran antara air dan garan sebagai media pendingin tahap kekerasan , kekuatan impak dan struktur mikro pada baja karbon aisi 1050 <https://repository.its.ac.id/46489/>
- [12] Karokaro, Muchtar dkk. (2009). “Analisa Kegagalan Dan Perkiraan Umur Sisa Pipa Air Pada Boiler 31f-4 Utilities-1 Di Pt Badak Ngl Bontang, Surabaya. ITS. Jurnal teknik ITS