

## ANALISIS KOROSI DAN EROSI DI DALAM PIPA PDAM SEMARANG

\*Wahyu Sulistyono<sup>1</sup>, Athanasius Priharyoto Bayuseno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: wahyu.sulis7@gmail.com

### Abstrak

Korosi erosi merupakan salah satu kerusakan yang sering terjadi pada sistem perpipaan akibat adanya pergerakan relatif fluida korosif dengan permukaan logam. Kecepatan fluida yang relatif tinggi dan mengandung partikel akan menyebabkan erosi, dan kecepatan fluida yang relatif lambat akan menimbulkan korosi. Hanya pada kecepatan tertentu (kecepatan kritis) korosi erosi dapat terjadi. Laju kerusakan yang diakibatkan oleh sinergi antara korosi dan erosi lebih besar dibandingkan dengan kerusakan oleh korosi saja atau erosi saja. Dalam tugas akhir ini dimaksudkan untuk memahami fenomena korosi erosi secara teoritis yang terjadi pada material pipa PDAM Semarang. Kondisi korosif yang terjadi akibat aliran air minum yang terus mengalir di dalam pipa tersebut. Dari hasil yang diperoleh dari pengujian komposisi menunjukkan material pipa yang digunakan dalam pipa PDAM Semarang mengandung unsur karbon C sebesar 0,0711% maka dapat dikategorikan kedalam besi karbon rendah. Pada pengujian tarik di dapat hasil Untuk pipa korosi mengalami regangan sebesar 4,706% dan mengalami patah pada Fmax sebesar 13 KN sedangkan pada pipa baru mengalami regangan sebesar 5,882% dan mengalami patah pada Fmax sebesar 20 KN. Pada uji struktur mikro didapatkan ukuran butir pada pipa baru sebesar 26,6  $\mu\text{m}$  sedangkan pada pipa korosi sebesar 26,1  $\mu\text{m}$ . Untuk perhitungan laju korosi pada material pipa tersebut selama 1 tahun sebesar 1,681 mpy dan kehilangan berat spesimen pipa sebesar 8,44 gram terjadi akibat korosi yang terjadi pada material baja karbon.

**Kata kunci:** Korosi Erosi, Pipa PDAM

### Abstract

*Corrosion erosion is the most common corrosion in found a piping system that causes the metal damage by relative motion of fluid in surfaces of metal. High rate of fluid containing particles can causes erosion while the low rate causes only corrosion. Corrosion erosion occurs only at the critical rate. The impact of metal destruction caused by corrosion erosion is higher than the damage caused by either corrosion or erosion. The objective this thesis of was to understand the phenomenon theoretically erosion corrosion that occurs in the pipe material PDAM Semarang. Corrosive condition that occurs is due to the flow of drinking water identically in the pipe. The results show the composition of materials used in plumbing pipes PDAM Semarang containing the element carbon C of 0,0711% it can be categorized into low carbon iron. In tensile testing can result in pipe corrosion to undergo strain of 4,706% and broke the fmax of 13 KN while the new pipeline amounted to 5.882% strained and broke the fmax of 20 KN. In the test microstructure obtained grain size on the new pipeline amounted to 26,6  $\mu\text{m}$  whereas the corrosion pipe of 26,1  $\mu\text{m}$ . For the calculation of the rate of corrosion of the pipe material for 1 year at 1,681 mpy and a weight loss of 8,44 grams of pipe specimens occurred due to corrosion that occurs in carbon steel material.*

**Keywords:** Corrosion Erosion, Pipe PDAM

### 1. Pendahuluan

Korosi lebih dikenal dengan istilah pengkaratan logam yang merupakan hasil dari reaksi kimia bahan logam dengan kondisi lingkungan. Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung secara spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah ataupun dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Penanganan tentang sistem elektrokimia dapat membantu menjelaskan korosi, yaitu reaksi kimia antara logam dengan ion-ion yang ada di sekitarnya atau dengan partikel-partikel lain yang ada di dalam matrik logam itu sendiri. Jadi dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya merupakan reaksi redok logam menjadi ion pada permukaan yang berkontak langsung dengan lingkungan baik air dan oksigen [1].

Faktor yang mengendalikan korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu dari bahan dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur mikro bahan, unsur-unsur yang ada dalam bahan dan sebagainya. Faktor

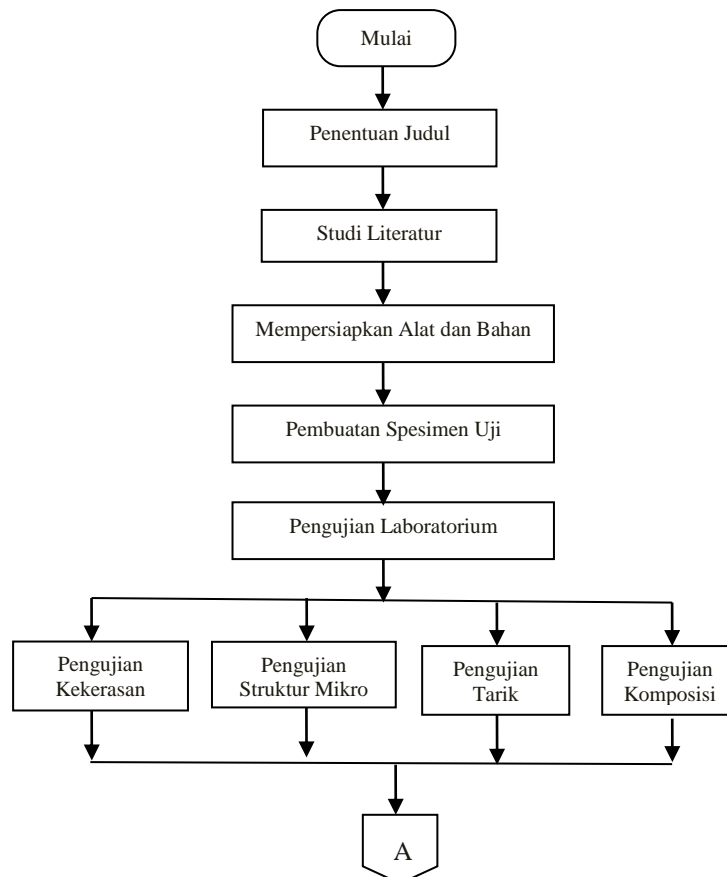
dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban dan keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif. Bahan-bahan korosif (penyebab terjadinya korosi) terdiri atas asam, basa, serta garam, baik dalam bentuk senyawa an-organik maupun organik [1].

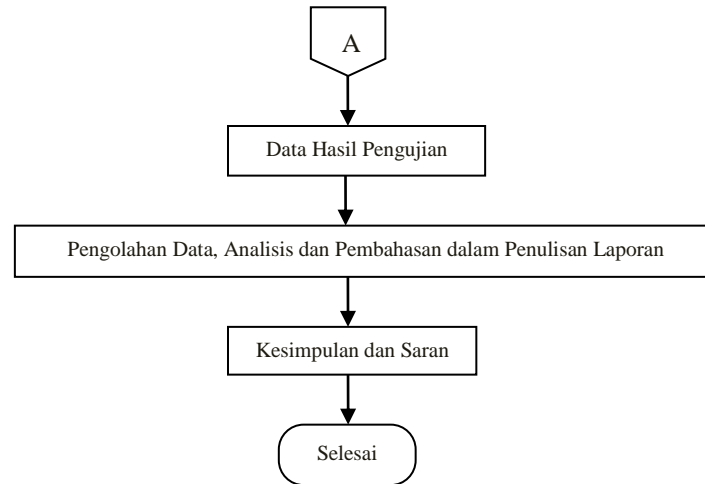
Banyak sekali di dunia industri terjadi proses korosi disebabkan oleh fenomena korosi akibat adanya bakteri yang dapat mengubah garam sulfat menjadi asam reaktif yang dapat menyebabkan karat. Seperti halnya yang terjadi pada saluran pipa di PDAM Semarang yang mengalami korosi erosi di dalam pipa. Korosi terjadi karena bahan pipa tersebut berasal dari besi, karena besi merupakan logam yang mudah berkarat. Karat besi merupakan zat yang dihasilkan pada peristiwa korosi, yaitu berupa zat padat berwarna coklat kemerahan yang bersifat rapuh dan berpori. Bila dibiarkan, lama kelamaan besi akan habis menjadi karat. Proses berkarat dipengaruhi oleh lingkungan, yaitu kelembaban dan adanya oksigen. Beberapa bakteri juga dapat menghasilkan enzim oksidasi yang dapat mempercepat terjadi karat. Kerugian yang ditimbulkan oleh korosi diantaranya menurunnya efisiensi, menurunnya kekuatan konstruksi dan menambah biaya perawatan (*maintenance*). Bahaya yang ditimbulkan dari korosi adalah akan merusak jaringan dalam tubuh manusia yang berkontak langsung dengan kulit dan akan mengkontaminasi pada pernafasan [1].

Oleh karena itu pada penelitian ini akan di teliti korosi erosi yang terjadi pada pipa PDAM Semarang dengan melakukan berbagai Pengujian diantaranya pengujian komposisi, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian tarik. Sehingga hasil penelitian yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi PDAM Semarang untuk menghindari terjadinya perkaratan pada logam dalam kehidupan sehari-hari serta dapat mengetahui faktor-faktor penyebab dan dampak dari korosi. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh Data komposisi kimia bahan pipa (AISI), menghitung Laju Korosi pipa PDAM, menganalisis Kegagalan pipa akibat korosi dan erosi di dalam pipa PDAM Semarang dan memperoleh data perubahan struktur mikro.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan dalam penelitian yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan pemecahan masalah yang sedang dibahas, sehingga penelitian dapat dilakukan dengan benar. Dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 menjelaskan mengenai penentuan judul, studi literatur, mempersiapkan alat dan bahan, pembuatan spesimen uji sebelum spesimen tersebut dilakukan beberapa pengujian diantaranya pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro, pengujian tarik dan pengujian komposisi. Setelah pengujian akan di dapat data hasil pengujian untuk diolah dan dianalisis dalam pembuatan laporan.





**Gambar 1.** Flowchart Penelitian

## 2.1 Bahan

### 2.1.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah material pipa besi silindris dari PT. PDAM Semarang. Pipa silindris yang terkorosi dan pipa yang baru sebelum dibuat spesimen untuk beberapa pengujian yang akan dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pipa korosi dan Pipa baru

### 2.1.2 Proses Pembuatan Spesimen Untuk Pengujian

Dari Hasil Pemotongan pipa menjadi 2 bagian selanjutnya dipotong menjadi bagian yang lebih kecil untuk keperluan pengujian antara lain:

- Spesimen Pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro

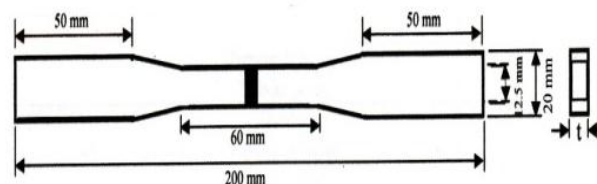
Spesimen pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro diperlukan spesimen dengan ukuran 2,5cm x 2,5cm. Dalam hal ini spesimen pengujian yang diperlukan untuk pengujian ada 5 buah dari pipa yang terkorosi dan 5 buah dari pipa yang baru.

- Spesimen Pengujian Komposisi

Spesimen pengujian komposisi diperlukan spesimen dengan ukuran 5cmx5cm dan dibuat hanya 1 buah dari material pipa yang baru.

- Spesimen pengujian Tarik

Spesimen pengujian tarik terlebih dahulu dibuat pola sesuai standar ASTM E-8 yang digunakan untuk pengujian tarik ini. Panjang awal spesimen uji ( $L_0$ ) adalah 60 mm, lebar awal ( $W_0$ ) adalah 12,5 mm, dan panjang keseluruhan spesimen uji adalah 200 mm. bentuk pola uji tarik ditunjukkan pada Gambar 3 dan spesimen pengujian tarik pada Gambar 4.



**Gambar 3.** Bentuk Pola uji tarik



Gambar 4. Spesimen pengujian tarik

## 2.2 Metode Penelitian

Beberapa perhitungan yang dilakukan didalam penelitian ini antara lain:

### 2.2.1 Menghitung Laju Korosi dengan Metode *Weight loss per unit area and unit time*

*Weight loss per unit area and unit time* atau pengurangan berat per satuan luas dan satuan waktu ini biasa digunakan pada waktu lampau karena pengurangan berat biasanya secara langsung menentukan kuantitas pada pengujian korosi. Spesimen uji ditimbang sebelum dan sesudah dicelupkan kedalam media korosi. Atas dasar ini dapat dihitung penyusutan ketebalan sebagai pengurangan berat per satuan luas/massa jenis dimana CR adalah laju korosi (mpy), W adalah berat yang hilang (mg), D adalah massa jenis logam ( $\text{g/cm}^3$ ), A adalah luas dari spesimen ( $\text{in}^2$ ) dan t adalah waktu (jam). Rumus yang digunakan untuk menghitung laju korosi :

$$\text{mpy} = \frac{534 W}{DA t} \quad (1)$$

### 2.2.2 Menghitung Debit Aliran Kecepatan di dalam pipa

Untuk menghitung debit air (Q) pada beberapa sumur di wilayah kota semarang dengan cara hasil perkalian antara luas penampang (A) saluran/aliran dengan kecepatan (v) aliran air. Dimana Q adalah debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), A adalah luas penampang saluran ( $\text{m}^2$ ) dan V adalah kecepatan aliran air (m/s). Rumus yang digunakan untuk menghitung debit :

$$Q = A.V \quad (2)$$

### 2.2.3 Menghitung Bilangan Reynold

Bilangan Reynold (Re) adalah bilangan yang tidak berdimensi dan digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida di dalam pipa. Dimana  $\rho$  adalah densitas ( $\text{kg/m}^3$ ), V adalah kecepatan aliran (m/s), D adalah diameter (m) dan  $\mu$  adalah viskositas absolut aliran ( $\text{kg/m.s}$ ). Rumus yang digunakan untuk menghitung bilangan Reynold :

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

Analisis data pada penelitian ini dimulai dengan menyajikan beberapa hasil pengujian meliputi pengujian komposisi, pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* skala A (HRA) dengan menggunakan penetrator *diamond* beban 60 kg. Setelah pengujian kekerasan, dilakukan pengujian mikrografi untuk mengetahui struktur mikro sebuah logam atau paduan pada spesimen uji.

### 3.1 Pengujian Komposisi

Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material pipa mempunyai paduan unsur utama 99,1% Fe. Dengan melakukan pengujian komposisi maka kita dapat menentukan jenis material yang dipakai pada pipa air PDAM Semarang. Berdasarkan hasil uji komposisi kimia material pipa mengandung beberapa unsur penting antara lain unsur C, P, S, Mn, Cr, dan Mo [2].

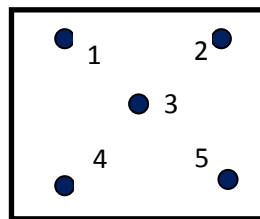
Dimana pada pipa air PDAM Semarang mengandung unsur chrom dan molibden yang relatif rendah serta unsur karbon C sebesar 0,0711% yang rendah <0,3%, maka dengan ini dapat dikategorikan material pipa tersebut adalah jenis baja dengan karbon rendah dengan unsur Cr dan Mo yang tidak begitu signifikan. Adapun hasil lengkap pengujian komposisi material pipa PDAM Semarang, Jawa Tengah disajikan pada Tabel 1 [2].

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Komposisi

No.	Unsur	Presentase Berat (wt%)	Jenis Pipa
1	Fe	99,1	ASTM A106 Grade A
2	C	0.0711	
3	Si	0.0758	
4	Mn	0.283	
5	P	0.0122	
6	S	0.0140	
7	Cr	0.0269	
8	Mo	0.0338	
9	Ni	0.0130	
10	Al	0.0252	
11	Co	0.0284	
12	Cu	0.0601	
13	Nb	0.0136	
14	Ti	0.0105	
15	V	0.0239	
16	W	0.0120	
17	Pb	< 0.0100	
18	Ca	< 0.0001	
19	Zr	0.0117	

### 3.2 Pengujian Kekerasan

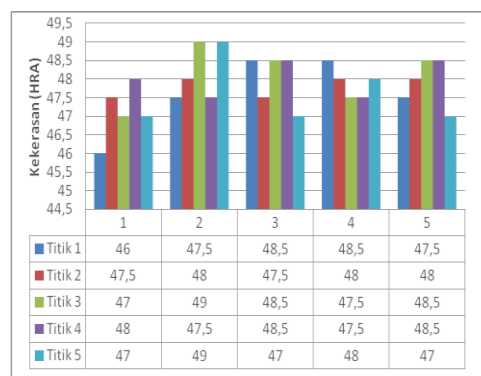
Pengujian kekerasan pada spesimen pipa korosi dan pipa baru dengan HRA penetrator *diamond* dengan beban 60 kg. Masing-masing spesimen mengalami 5 kali titik pengujian kekerasan sesuai ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Posisi titik pengujian kekerasan

#### 3.2.1 Pengujian Kekerasan Spesimen Pipa Korosi

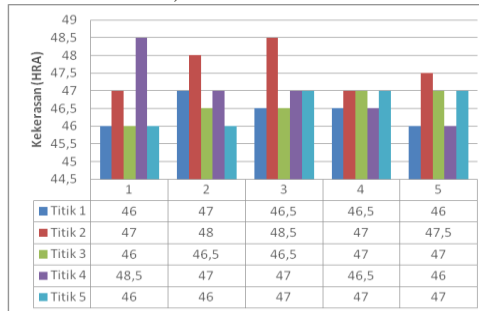
Dari data hasil pengujian kekerasan Spesimen pipa korosi pada Gambar 6. Gambar ini memperlihatkan hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan pada tiap spesimen dengan 5 kali titik pengujian untuk setiap sampel. Nilai kekerasan pada spesimen pipa korosi yang paling tinggi terdapat pada sampel spesimen 2 posisi penitikan 3 dan 5 dengan nilai kekerasan 49 HRA. Kekerasan semakin meningkat seiring dengan pipa digunakan untuk proses pendistribusian air minum di wilayah Semarang.



**Gambar 6.** Diagram Hasil Kekerasan Spesimen Pipa Korosi

### 3.2.2 Pengujian Kekerasan Spesimen Pipa Baru

Dari data hasil pengujian kekerasan Spesimen pipa baru pada Gambar 7. Gambar ini memperlihatkan hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan pada tiap spesimen dengan 5 kali titik pengujian untuk setiap sampel. Nilai kekerasan pada spesimen pipa baru yang paling tinggi terdapat pada sampel spesimen 1 posisi penitikan 4 dan sampel spesimen 3 posisi penitikan 2 dengan nilai kekerasan 48,5 HRA.

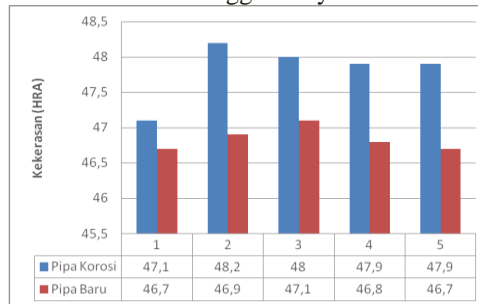


Gambar 7. Diagram Hasil Kekerasan Spesimen Pipa Baru

### 3.2.3 Pengujian Kekerasan Spesimen Pipa Rata-Rata

Dari data hasil pengujian kekerasan rata-rata Spesimen pipa pada Gambar 8. Gambar ini memperlihatkan hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan pada tiap spesimen dengan 5 kali titik pengujian untuk setiap sampel. Nilai kekerasan semakin meningkat seiring dengan pipa digunakan untuk proses pendistribusian air minum di wilayah semarang.

Hal ini disebabkan pipa berada di dalam tanah dengan temperatur lebih dingin sehingga nilai kekerasan suatu material pipa akan meningkat dan akan menyebabkan gradien ukuran butir menjadi lebih kecil. Ukuran butir yang lebih kecil menyebabkan struktur butir lebih sulit terdislokasi sehingga menyebabkan kekerasannya akan meningkat.



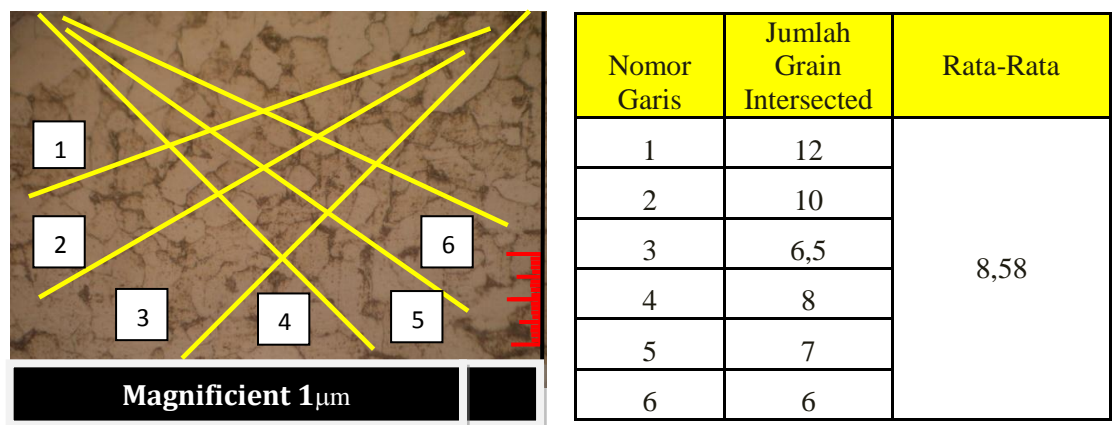
Gambar 8. Diagram Hasil Kekerasan Spesimen Pipa Rata-Rata

### 3.3 Hasil Pengamatan Erosi

Hasil pengujian struktur mikro dilakukan pengamatan erosi untuk mengetahui besar butir yang terjadi pada benda uji, antara lain sebagai berikut :

#### 3.3.1 Benda uji spesimen pipa baru

Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Untuk gambar struktur mikro sampel yang menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x, 1 strip sama dengan 10 mikron ditunjukkan pada Gambar 9.



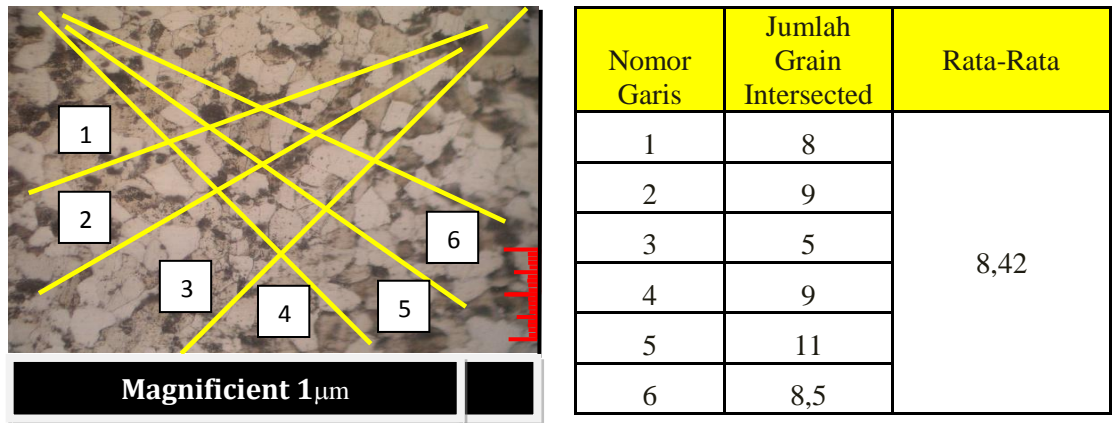
Gambar 9. Bentuk struktur mikro pipa baru dan data grain size material pipa baru



$$\begin{aligned} \text{Line length intersected rata-rata} &= \frac{110 \text{ mm}}{8,25} = 13,33 \text{ mm} \\ \text{Diameter butir rata-rata} &= \frac{13,33}{500} \\ &= 0,0266 \text{ mm} \\ &= 26,6 \text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

### 3.3.2 Benda uji spesimen pipa korosi

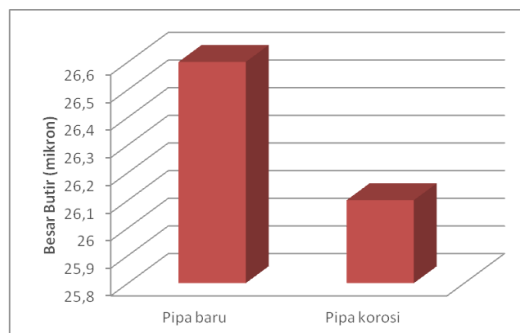
Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Dari data terlihat bagian yang berwarna gelap merupakan daerah yang terkorosi dimana penetrasi dari mikroskop ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Bentuk struktur mikro pipa korosi dan data grain size material pipa korosi

$$\begin{aligned} \text{Line length intersected rata-rata} &= \frac{110 \text{ mm}}{8,42} = 13,06 \text{ mm} \\ \text{Diameter butir rata-rata} &= \frac{13,06}{500} \\ &= 0,0261 \text{ mm} \\ &= 26,1 \text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

Dari pengujian struktur mikro pada benda uji, terdapat penurunan besar butir pada benda uji. Penurunan besar butir dikarenakan kenaikan kekerasan pada benda uji yang mengalami korosi. Perhitungan besar butir berguna untuk dapat mengontrol tercapainya fraksi volume fasa atau besar butir tertentu yang dihasilkan dalam suatu proses. Hasil perhitungan besar butir pada benda uji ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Hasil Perhitungan besar butir pada benda uji

### 3.4 Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik pada pipa korosi dan pipa baru didapatkan hasil pada Tabel 2. Tabel ini memperlihatkan hasil yang diperoleh dari pengujian tarik pada pipa korosi dan pipa baru. Untuk pipa korosi mengalami regangan sebesar 4,706% dan mengalami patah pada Fmax sebesar 13 KN sedangkan pada pipa baru mengalami regangan sebesar 5,882% dan mengalami patah pada Fmax sebesar 20 KN.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

NO	Material Pipa	Lo (mm)	Li (mm)	$\Delta L$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Fmax (KN)	$\sigma_{max}$ (MPa)	Strain (%)
1	Pipa korosi	85	89	4	56	13	0,232	4,706
2	Pipa baru	85	90	5	70	20	0,286	5,882

### 3.5 Perhitungan Laju Korosi

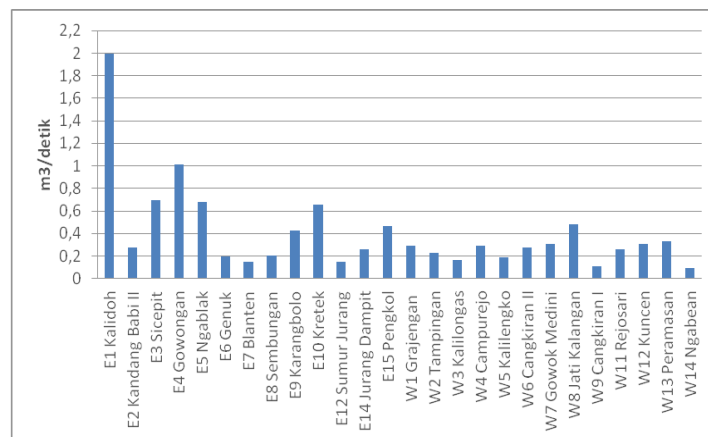
Dalam pengukuran laju korosi yang terjadi pada pipa dilakukan pengkorosian ulang terhadap material yang sama dengan terlebih dahulu diadakan pengukuran awal dan kemudian diukur ulang terhadap material pipa yang telah terkorosi selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 3 [3]. Dari perhitungan Laju Korosi dengan Metode *Weight loss per unit area and unit time* sebesar 1,681 mpy.

Tabel 3. Spesifikasi pipa

No	Spesifikasi	Pipa Korosi	Pipa Baru
1	Lama pipa korosi per tahun	8760 Jam	
2	Berat Pipa	816,04 g	824,48 g
3	Tebal Pipa	3,31 mm	3,42 mm
4	Panjang Pipa	205 mm	230 mm
5	Diameter Luar	2"	2"
6	Diameter Dalam	44,18 mm	43,96 mm
7	Jari-Jari	2,54"	2,54"
8	Densitas	7,86 g/m <sup>3</sup>	7,86 g/m <sup>3</sup>
9	Luas Penampang 1	38,95 cm <sup>2</sup>	38,95 cm <sup>2</sup>
10	Luas Penampang 2	0,002026 m <sup>2</sup>	0,002026 m <sup>2</sup>
11	Kecepatan Aliran	0,09923 m/s	0,09923 m/s
12	Viskositas Absolut	0,0183 kg/m.s	0,0183 kg/m.s

### 3.6 Analisa Data Aliran Kecepatan di dalam pipa

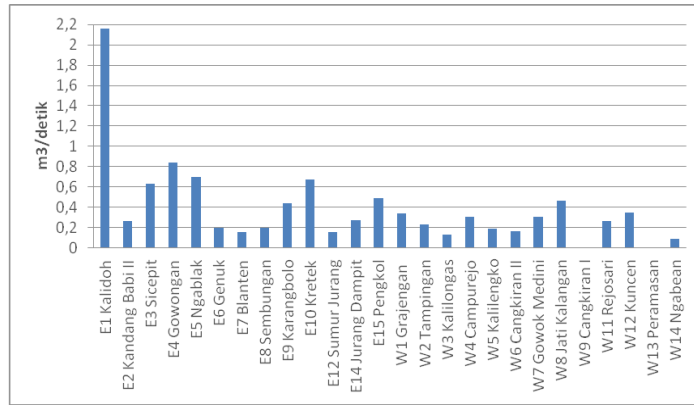
Dari perhitungan debit untuk aliran kecepatan air di dalam pipa sebesar  $2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$  Untuk sumur E1 Kalidoh yang akan ditunjukkan pada grafik debit sumur bulan januari sampai bulan mei.



Gambar 12. Grafik Debit Sumur Bulan Januari

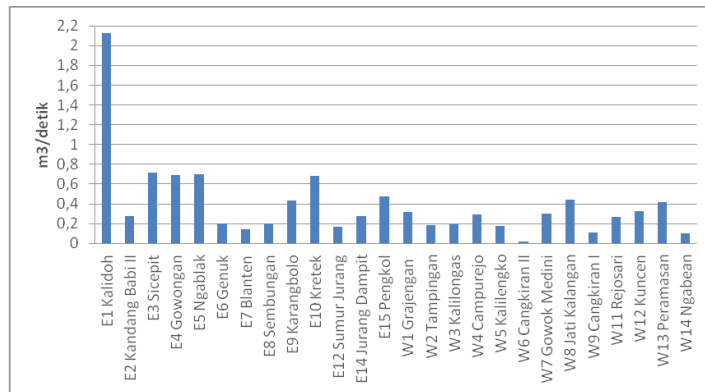
Dari grafik pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa pada no.1 lokasi E1 Kalidoh memiliki debit tertinggi sebesar  $1,994523 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$  dan pada no.26 lokasi W14 Ngabean memiliki debit terendah sebesar  $0,09246 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ .





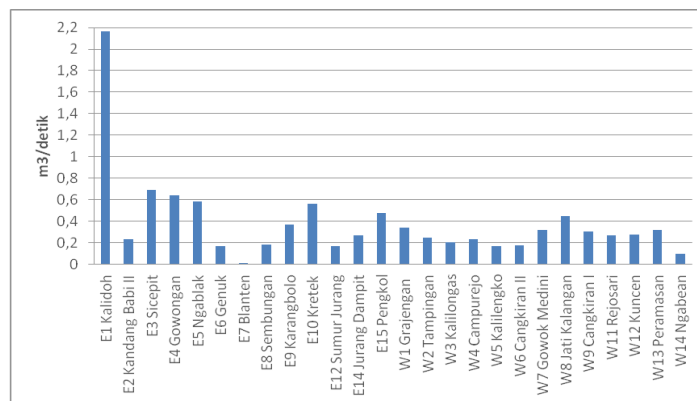
Gambar 13. Grafik Debit Sumur Bulan Februari

Dari grafik pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa pada no.1 lokasi E1 Kalidoh memiliki debit tertinggi sebesar  $2,156127 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{detik}$  dan pada no.22 lokasi W9 Cangkiran I serta no.25 lokasi W13 Peramasan memiliki debit terendah sebesar  $0 \text{m}^3/\text{detik}$  karna pada bulan februari sumur di lokasi W9 Cangkiran I dan W13 Peramasan mengalami kondisi rusak.



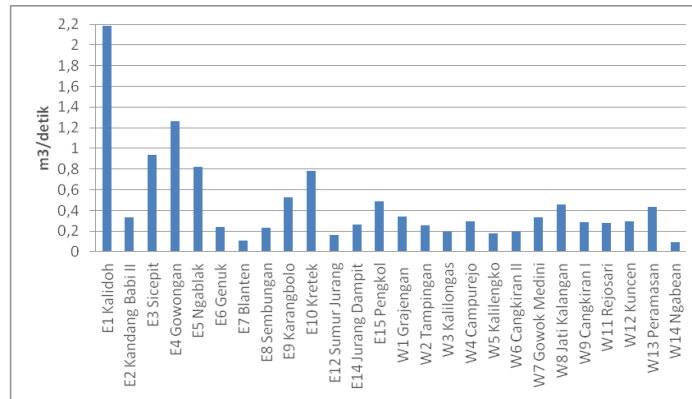
Gambar 14. Grafik Debit Sumur Bulan Maret

Dari grafik pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa pada no.1 lokasi E1 Kalidoh memiliki debit tertinggi sebesar  $2,129595 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{detik}$  dan pada no.19 lokasi W9 Cangkiran II memiliki debit terendah sebesar  $0,021507 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{detik}$ .



Gambar 15. Grafik Debit Sumur Bulan April

Dari grafik pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa pada no.1 lokasi E1 Kalidoh memiliki debit tertinggi sebesar  $2,165373 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{detik}$  dan pada no.7 lokasi E7 Blanten memiliki debit terendah sebesar  $0,006432 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{detik}$ .



Gambar 16. Grafik Debit Sumur Bulan Mei

Dari grafik pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa pada no.1 lokasi E1 Kalidoh memiliki debit tertinggi sebesar  $2,186679 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$  dan pada no.7 lokasi E7 Blanten memiliki debit terendah sebesar  $0,108741 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ .

### 3.6.1 Bilangan Reynold

Dari hasil perhitungan Reynold sebesar 5.498 dapat dilihat bahwa air mengalir dengan bentuk aliran turbulen. Aliran disebut turbulen jika tiap partikel fluida bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran turbulen ini akan menyebabkan laju korosi meningkat, dan dapat menyebabkan korosi erosi. Faktor utama penyebab turbulensi adalah kecepatan alir yang sangat cepa dan kekentalan zat cair kecil [4].

### 3.6.2 Analisa Kegagalan pada Pipa akibat Korosi dan Erosi

Analisa diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa penyebab kegagalan dalam pipa adalah korosi dan erosi dimana pada sisi utama erosi lebih dominan dan pada pada sisi sekunder erosi dan korosi sama-sama berperan dalam terbentuknya karat pada permukaan dalam pipa. Korosi erosi menyebabkan penipisan dinding pada sisi luar pipa dan pada bagian dalam pipa terjadi korosi sumuran akibat perbedaan oksigen. Pengurangan ketebalan dinding pipa akibat terjadinya laju korosi erosi yang terus menerus pada pemipaan produksi air minum PDAM Semarang [5].

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dalam pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil pengujian komposisi kandungan Fe sebesar 99,1% dan kandungan C sebesar 0,0711% dapat dikategorikan sebagai jenis baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon dibawah 0,3%.
- Dari hasil perhitungan nilai laju korosi pada pipa PDAM Semarang adalah sebesar 1,681 mpy sehingga bisa digunakan untuk mendeteksi kerusakan ataupun periode pergantian pipa.
- Analisis kegagalan pipa akibat korosi dan erosi di dalam pipa terjadi sebab:
  - a. Pada sisi utama erosi lebih dominan dan pada pada sisi sekunder erosi dan korosi sama-sama berperan dalam terbentuknya karat pada permukaan dalam pipa.
  - b. Korosi erosi menyebabkan penipisan dinding pada sisi luar pipa dan pada bagian dalam pipa terjadi korosi sumuran akibat perbedaan oksigen.
  - c. Pengurangan ketebalan dinding pipa akibat terjadinya laju korosi erosi yang terus menerus pada pemipaan produksi air minum PDAM Semarang.
- Memperoleh data struktur mikro antara lain:
  - a. Perhitungan batas butir benda uji pipa baru memiliki diameter butir rata-rata sebesar 26,6  $\mu\text{m}$
  - b. Perhitungan batas butir benda uji pipa korosi memiliki diameter butir rata-rata sebesar 26,1  $\mu\text{m}$

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Kumala, R., 2011. "Mengenal Korosi dan Akibatnya, Serta Cara Pencegahannya dalam Kehidupan Sehari-hari," Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [2] Callister, W.D., 2007. "Material Science and Engineering Seventh edition," John Wiley & Sons. New York.
- [3] Bardal, E., 2003, "Corrosion and Protection," Springer. London.
- [4] Fox, R. W., McDonald, A. T., dan Pritchard, P. J., 2004. "Introduction to Fluid Mechanics" 6th edition, D anvers : John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Fontana, M. G., 1987, "Corrosion Engineering," McGraw-Hill Book Co. Singapore.