

## ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS (*HEAT TREATMENT*) TERHADAP LAJU KOROSI PADA MATERIAL BAJA KARBON MENENGAH AISI 1045 PADA AIR LAUT

\*Muhammad Ainus Sholikhin<sup>1</sup>, Agus Suprihanto<sup>2</sup>, Yusuf Umardani<sup>3</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: muhammadaik8@gmail.com

### Abstrak

Logam baja merupakan material yang paling umum digunakan untuk memenuhi kebutuhan material pada bangunan dan konstruksi. Misalnya baja AISI 1045 yang memiliki harga murah dengan kualitas yang baik. Namun, semakin lama logam tersebut akan mengalami penurunan daya guna. Hal itu dikarenakan adanya pengaruh korosi. Untuk meperlambat fenomena korosi serta memberikan pengaruh pada sifat material sesuai yang diinginkan dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan panas. Tujuan penelitian ini dilakukan, untuk mengetahui laju korosi pada material tanpa perlakuan panas dan material yang diberikan perlakuan panas dengan variasi annealing, normalizing, quenching dan tempering material AISI 1045 dengan elektrolit air laut. Metode yang digunakan dalam pengujian laju korosi adalah elektrokimia, sesuai standard ASTM G59-97 (2009). Dari hasil penelitian, nilai laju korosi tertinggi pada spesimen tanpa perlakuan panas yaitu 0.068461, 0.069042 dan 0,069597 (mmpy). Sedangkan nilai laju korosi terendah pada spesimen perlakuan panas annealing 0.012147, 0.014623 dan 0,017637 (mmpy). Ada dua hal yang mempengaruhi laju korosi, yang pertama tegangan dalam. Bila tegangan ini tidak dihilangkan, menyebabkan timbulnya stress corrosion cracking. Yang kedua, fasa pearlite. Pearlite memiliki susunan cementite dan ferrite. Ketika terhubung elektrolit kedua fasa tersebut akan mengalami korosi microgalvanik. Karena efek microgalvanik menyebabkan spesimen dengan fasa perlite lebih banyak akan lebih cepat terkorosi.

**Kata kunci:** AISI 1045; elektrokimia, korosi microgalvanik; laju korosi; perlakuan panas

### Abstract

*Steel is the most common material used to meet the material needs of buildings and construction. For example AISI 1045 steel which has a low price with good quality. However, the longer the metal will experience a decrease in usability. This is due to the influence of corrosion. To slow down the corrosion phenomenon and give effect to the desired material properties can be done by providing heat treatment. The purpose of this study was to determine the corrosion rate of the material without heat treatment and the material given heat treatment with variations of annealing, normalizing, quenching and tempering AISI 1045 material with seawater electrolyte. The method used in testing the corrosion rate is electrochemical, according to the ASTM G59-97 (2009) standard. From the results of the study, the highest corrosion rate values in the test specimens without heat treatment were 0.068461, 0.069042 and 0.069597 (mmpy). While the lowest corrosion rate values in the annealing heat treatment specimen were 0.012147, 0.014623 and 0.017637 (mmpy). There are two things that affect the corrosion rate, the first is internal stress. If this stress is not removed, it causes stress corrosion cracking. The second, the pearlite phase. Pearlite has an arrangement of cementite and ferrite. When connected to an electrolyte, the two phases will experience microgalvanic corrosion. Because the microgalvanic effect causes the test specimen with more perlite phase to corrode faster.*

**Keywords:** AISI 1045; electrochemical; corrosion rate; heat treatment; microgalvanic corrosion

### 1. Pendahuluan

Permasalahan mengenai potensi terjadinya korosi perlu diperhatikan mengingat sebagian besar wilayah negara Indonesia terbagi menjadi dua pertiga lebih sebagai daerah perairan yang berada di daerah tropis sehingga mendapatkan curah hujan yang tinggi serta banyak terkandung senyawa klorida [1]. Dikarenakan kondisi geografis tersebut sehingga beberapa bangunan konstruksi yang berbahan baku logam perlu mendapatkan perhatian yang serius dari pengelolanya. Beberapa bangunan konstruksi piping *oil and gas*, konstruksi bangunan pelabuhan pada *breakwater* dan *seawall*, tiang pancang pipa baja dan jembatan-jembatan di Negara kita sebagian besar berada dalam lingkungan korosif bahkan beberapa bangunan konstruksi mengalami kontak dengan air laut secara langsung, yang memiliki potensi untuk menyebabkan material terkorosi lebih tinggi. Adapun salah satu material baja yang paling umum digunakan untuk memenuhi kebutuhan material pada bangunan dan konstruksi diatas yakni baja AISI 1045.

Baja AISI 1045 merupakan baja paduan karbon jenis menengah [2]. Dengan kandungan karbon tersebut, maka baja karbon menengah memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai material baku. Karena banyaknya jenis dengan karakteristik yang berbeda, baja yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan [3].

Namun dengan semakin lama digunakannya suatu logam maka ia akan mengalami suatu penurunan kualitas. Salah satu faktor dapat memberikan penurunan kualitas suatu logam itu yakni fenomena korosi. Sehingga cara yang dapat dilakukan untuk meperlambat terjadinya fenomena korosi serta dapat memberikan pengaruh langsung terhadap sifat dan struktur material sesuai yang diinginkan adalah dapat dilakukan dengan cara memberikan perlakuan panas (*heat treatment*).

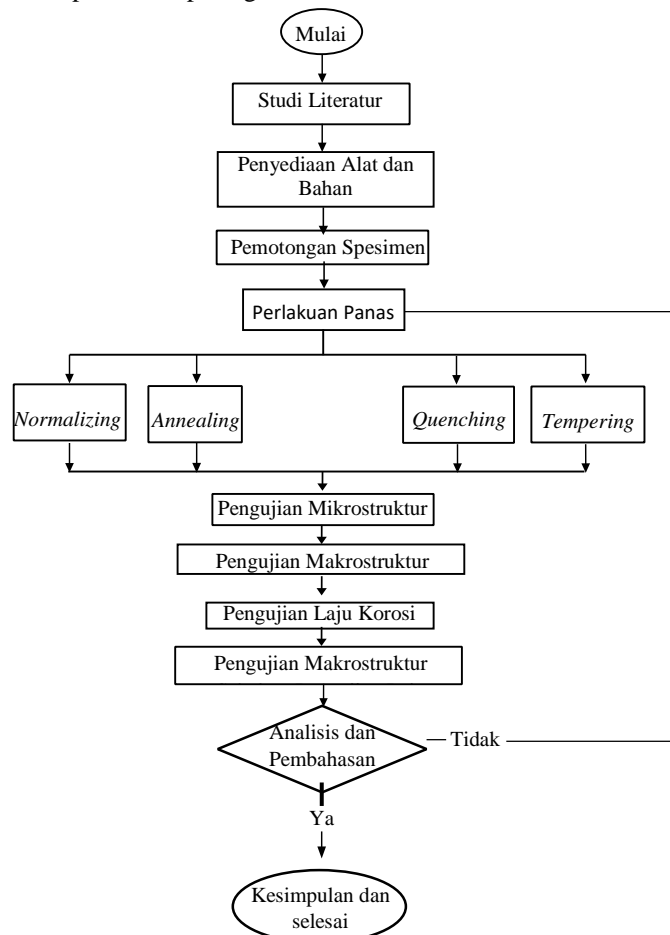
Heat treatment merupakan proses memanaskan, menahan dan mendinginkan material pada suhu tertentu untuk mendapatkan berbagai sifat mekanik [4]. Perlakuan panas atau heat treatment dapat dilakukan didalam mesin *furnace* atau tungku pemanas dengan memilih suhu yang sesuai dengan kondisi dan spesifikasi baja dan kemudian dilakukan pendinginan ke media pendingin [5]. Perlakuan panas biasanya dilakukan dalam bentuk berikut *normalizing*, *annealing*, *quenching* dan *tempering*.

Korosi merupakan suatu fenomena yang menunjukkan berkurangnya kualitas logam yang dikarenakan adanya reaksi elektrokimia yang terjadi antara logam dengan lingkungannya [6]. Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam [7]. Cepat lambatnya suatu material untuk mengalami proses korosi disebut laju korosi [8]. Nilai laju korosi suatu logam dengan lingkungan netral dengan kisaran laju korosi pada 1 mpy atau 0,0254 mmpy. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai laju korosi suatu material yaitu komposisi kimia material, temperature, pH elektrolit, dan pengaruh perlakuan panas [9].

Tujuan penelitian ini adalah mengklasifikasikan ketahanan korosi spesimen tanpa perlakuan panas (*non heat treatment*) dengan spesimen lainya yang diberikan variasi perlakuan panas (*heat treatment*) pada material baja AISI 1045 dengan elektrolit air laut, adapun perlakuan panas yang digunakan yaitu *annealing*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering*.

## 2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan tiga jenis pengujian yaitu mikrostruktur, laju korosi dan makrostruktur. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.2. Proses Perlakuan Panas

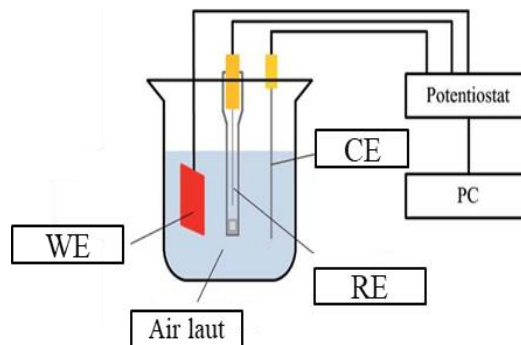
Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu baja AISI 1045 dengan dimensi diameter 25 mm dan tebal 10 mm sebanyak 20 spesimen. Adapun rinciannya yaitu 4 spesimen tidak diberikan perlakuan panas dan 16 spesimen lainnya diberikan perlakuan panas dengan sebanyak 4 spesimen pada masing – masing variasi proses perlakuan panas yakni *normalizing*, *annealing*, *quenching* dan *tempering*. Pada proses perlakuan panas variasi *annealing*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering* dilakukan pemanasan didalam tungku pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 860 °C dan *holding time* selama 15 menit. Kemudian spesimen tersebut didinginkan dengan cara terkontrol. Pada proses *annealing*, spesimen didinginkan didalam tungku pemanas hingga mencapai suhu ruang. Pada proses *normalizing*, spesimen tersebut didinginkan pada udara luar hingga mencapai suhu ruang. Pada proses *quenching*, spesimen dilakukan pendinginan cepat di dalam air. Pada proses *tempering*, spesimen setelah dilakukan proses *quench* kemudian spesimen dilakukan pemanasan kembali dengan suhu 500 °C dengan *holding time* selama 60 menit kemudian spesimen didinginkan pada udara hingga mencapai suhu kamar.

## 2.3. Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur ditujukan untuk mengetahui struktur mikro pada masing – masing spesimen yang telah dilakukan variasi perlakuan panas yakni *annealing*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering* serta spesimen *non heat treatment*. Untuk dapat mengetahui struktur mikro yang dihasilkan dari spesimen tersebut maka perlu dilakukan pengujian foto mikro dengan perbesaran tertentu. Dalam proses pengujian mikrostruktur ada beberapa tahapan yaitu proses *grinding* dengan menggunakan amplas 120 hingga 2000 grid dan proses *polishing* dengan menggunakan kain bludru dan autosol, kemudian *etching* atau proses etsa menggunakan larutan nital 5% . Setelah itu foto mikro struktur spesimen dengan mikroskop *metallurgy*.

## 2.4. Pengujian Laju Korosi

Untuk melakukan pengujian elektrokimia dari lima variasi spesimen baja AISI 1045, semua spesimen dilakukan proses *grinding* terlebih dahulu dengan menggunakan amplas 120 hingga 1200 grid. Kemudian untuk bahan yang perlu disiapkan diantaranya elektrolit air laut dan spesimen yang sudah dipreparasi (*disolder* dengan kabel dan *di-mounting*). Adapun luas permukaan spesimen yaitu 19,6 cm<sup>2</sup> dan *equivalent weight* of Fe 55,84 dengan bilangan oksidasi 2 serta massa jenisnya 7,8 g/cm<sup>3</sup>. Kemudian untuk alat yang disiapkan yaitu gelas ukur 500 mL dan alat potensiostat *platform CortTest type CS300*. Diagram skematik untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 2



**Gambar 2.** Diagram skematik untuk pengujian elektrokimia alat potensiostat *platform CortTest type CS300*

Peralatan potensiostat CortTest Type CS300 terdiri dari tiga elektroda yaitu elektroda acuan (RE), *counter electrode* (CE) dari platina, dan yang terakhir elektroda kerja (WE). Adapun elektroda acuan (RE) yang digunakan yakni Ag-AgCl. Prinsip kerjanya yaitu pasangan elektroda kerja dan elektroda acuan mengukur potensial sel, pada saat bersamaan elektroda kerja dan counter electrode mengukur arus korosi [10]. Sehingga dengan mengetahui nilai arus korosi, dapat diukur nilai laju korosi dengan persamaan berikut :

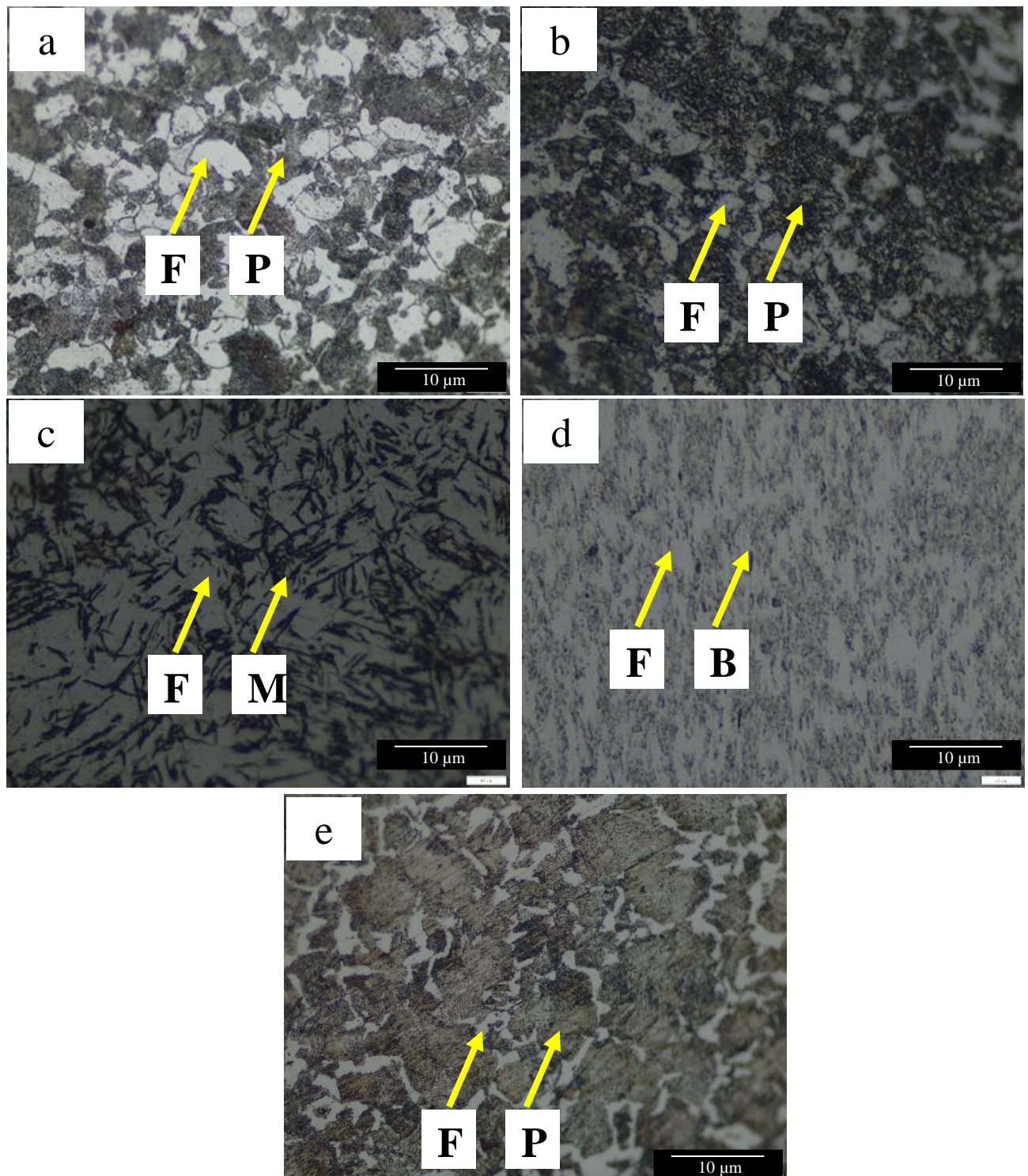
$$\text{Corrosion rate (mm/year)} = i_{\text{corr}} \times 0,00327 (K) \times 27,92 (EW) / 7,86 (\rho)$$

Keterangan :  
 EW = berat equivalen material AISI 1045  
 ρ = massa jenis material AISI 1045  
 K = Konstanta (0,00327 mmpy)

## 2.5. Pengujian Makrostruktur

Pada pengujian makrografi digunakan mikroskop *metallurgy* dengan perbesaran 50x. Pengujian makrografi dilakukan untuk mengamati produk korosi yang dihasilkan pada permukaan spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pengujian laju korosi.

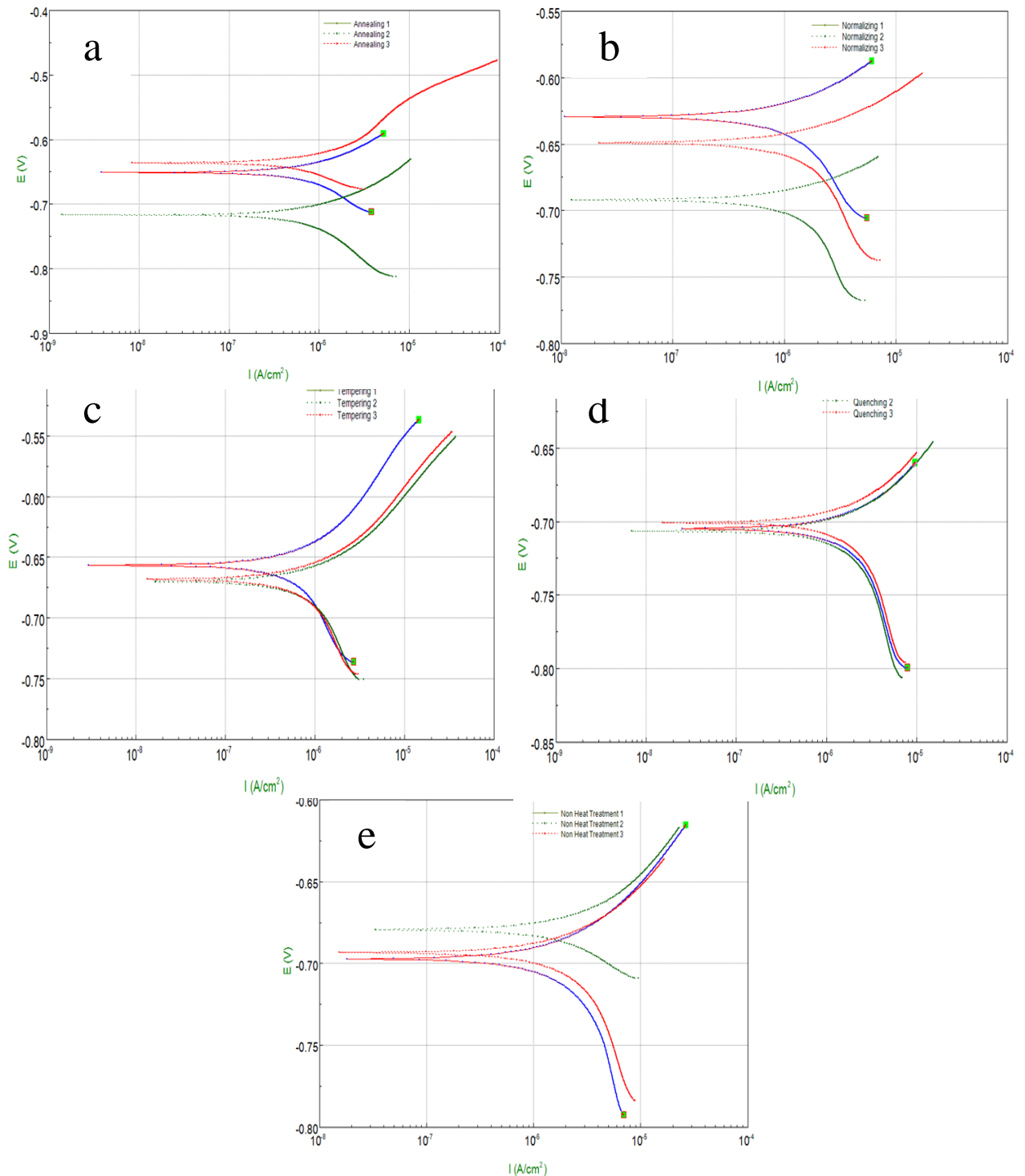
3.1 Hasil dan Pembahasan Penelitian  
 3.2 Hasil Penelitian



**Gambar 3.** Hasil pengujian *microstructure* baja AISI 1045 (a) *annealing* (b) *normalizing* (c) *quenching* (d) *tempering* dan (e) *non heat treatment*

Dalam pengamatan didapat bahwa spesimen variasi *annealing* menghasilkan fasa ferrite dan pearlite halus dengan presentase ferrite 60 % dan pearlite halus 40 %. Kemudian untuk spesimen variasi *normalizing* menghasilkan fasa ferrite dan pearlite kasar dengan presentase ferrite 52 % dan pearlite kasar 48 %. Proses perlakuan panas *annealing* dan *normalizing* merupakan jenis perlakuan panas yang *softening* yang memiliki sifat dapat menghilangkan tegangan internal pada spesimen. Sedangkan dalam pengamatan didapat bahwa spesimen variasi *quenching* menghasilkan fasa ferrite dan martensite dengan presentase ferrite 23 % dan martensite 77 %. Kemudian untuk spesimen variasi *tempering*

menghasilkan fasa ferrite dan fasa bainite dengan presentase ferrite 27 % dan fasa bainite 73 %. Proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering* merupakan jenis perlakuan panas yang *hardening* yang memiliki sifat menghasilkan tegangan internal pada spesimen. Dan untuk spesimen *non heat treatment* didapatkan fasa ferrite dan fasa pearlite dengan presentase ferrite 29 % dan fasa pearlite 71 %. Dimana kondisi awal dari raw material baja AISI 1045 yang digunakan memiliki tegangan sisa yang berlebih, hal ini dikarenakan proses pengerjaan material dari awal digunakan yaitu *cold working*. *Cold working* pada logam merupakan proses deformasi yang dilakukan di bawah temperature rekristalisasinya.

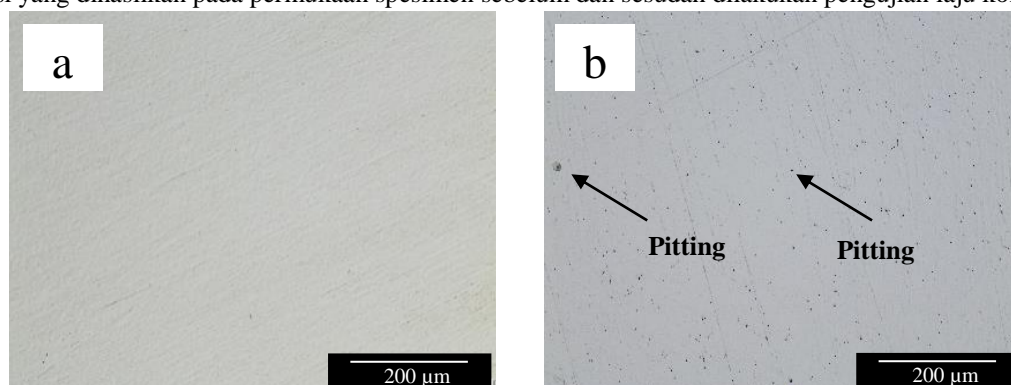


**Gambar 3.** Tafel plot baja AISI 1045 (a) *annealing* (b) *normalizing* (c) *quenching* (d) *tempering* dan (e) *non heat treatment* dengan elektrolit air laut

**Tabel 1.** Hasil pengujian laju korosi AISI 1045 (a) *annealing* (b) *normalizing* (c) *quenching* (d) *tempering* dan (e) *non heat treatment* dengan elektrolit air laut

No	Variasi Spesimen	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Rata-rata nilai Laju Korosi (mmpy)
1	<i>Annealing 1</i>	651,31	1,6191	0,017637	
2	<i>Annealing 2</i>	717,25	1,3424	0,014623	0,014802
3	<i>Annealing 3</i>	636,42	1,1151	0,012147	
4	<i>Normalizing 1</i>	629,82	2,0383	0,022204	
5	<i>Normalizing 2</i>	692,3	2,3185	0,025256	0,024582
6	<i>Normalizing 3</i>	649,33	2,413	0,026286	
7	<i>Tempering 1</i>	656,77	2,9513	0,032149	
8	<i>Tempering 2</i>	670,24	3,1206	0,033993	0,033615
9	<i>Tempering 3</i>	668,55	3,1857	0,034703	
10	<i>Quenching 1</i>	705,16	4,3974	0,047902	
11	<i>Quenching 2</i>	706,52	4,4327	0,048287	0,049120
12	<i>Quenching 3</i>	700,87	4,6976	0,051172	
13	<i>Non Heat Treatment 1</i>	697,38	6,2847	0,068461	
14	<i>Non Heat Treatment 2</i>	679,49	6,338	0,069042	0,069033
15	<i>Non Heat Treatment 3</i>	693,53	6,389	0,069597	

Setelah dilakukan pengujian laju korosi dilakukan pengujian makrografi, hal ini digunakan untuk mengamati produk korosi yang dihasilkan pada permukaan spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pengujian laju korosi.



**Gambar 4.** Hasil pengujian foto makrografi (a) sebelum dan (b) sesudah, dilakukan pengujian laju korosi

### 3.3 Pembahasan Penelitian

*Annealing* dan *normalizing* merupakan salah satu jenis perlakuan panas *equilibrium* yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dalam material serta dapat menghaluskan butiran fasa. Fasa yang dihasilkan dari perlakuan panas jenis ini yaitu pearlite dan ferrite. Pearlite merupakan susunan senyawa cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan ferrite. Dimana

ketika kedua fasa tersebut terhubung pada elektrolit maka akan mengalami fenomena korosi micro-galvanik. Cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang memiliki sifat metastabil akan bertindak sebagai katoda yang memiliki nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) lebih tinggi, sedangkan ferrite yang memiliki sifat cenderung lebih stabil bertindak sebagai anoda yang memiliki nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) lebih tinggi. Sehingga, dengan adanya efek micro-galvanik tersebut menyebabkan spesimen yang memiliki jumlah presentase fasa pearlite lebih banyak menyebabkan laju korosi dari spesimen tersebut memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah.

Sedangkan untuk proses *quenching*, *tempering* dan spesimen *non heat treatment* selain dipengaruhi dari efek micro-galvanik tersebut, disebabkan pula dengan adanya *stress corrosion cracking* (SCC) karena adanya tegangan sisa. Dimana kondisi awal dari spesimen *non heat treatment* yang digunakan memiliki tegangan sisa, hal ini dikarenakan proses pengerjaan material dari awal digunakan yaitu *cold working*. Semua pengerjaan dingin dapat menimbulkan tegangan sisa. Secara umum tegangan sisa yang terjadi akibat proses pengerjaan dingin disebabkan oleh adanya deformasi plastis yang tidak seragam. Pada bagian luar material akan mengalami deformasi sedangkan bagian dalam tidak mengalami deformasi. Oleh karena itu bagian dalam akan mengalami tegangan tarik dan bagian luar akan mengalami tegangan tekan. Pada proses *quenching* dan *tempering* pendinginan material akan melalui pendinginan secara cepat, difusi karbon akan menyebabkan terbentuknya martensit. Karena martensit hanya terbentuk pada lapisan tipis dekat permukaan saja, maka bagian luar yang berubah volumenya akan menarik bagian dalam. Karena itu bagian dalam akan mengalami tegangan sisa tarik dan bagian luar mengalami tegangan sisa tekan. Pada saat bagian luar dingin dan terbentuk martensit, bagian dalam masih relatif lunak, sehingga mengalami deformasi plastis. Pada temperatur kamar, bagian dalam yang mengalami deformasi plastis, akan mempunyai volume yang lebih kecil, sehingga akan menarik bagian luar. Dengan demikian bagian luar akan terjadi tegangan sisa tekan.

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian Analisis Pengaruh Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) terhadap Laju Korosi pada Material Baja Karbon Menengah AISI 1045 pada Air Laut, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil foto mikrostruktur pada spesimen uji tanpa perlakuan panas (*non heat treatment*) menunjukkan butiran fasa yang terbentuk yaitu ferrite dan pearlite kemudian spesimen uji diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) dengan variasi pendinginan *annealing*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering*. Sesuai dengan tujuan perlakuan panas (*heat treatment*) diperoleh butiran fasa yaitu perlit, ferrite, martensite, dan bainite.
2. Material baja AISI 1045 dengan elektrolit air laut pada spesimen uji tanpa perlakuan panas (*non heat treatment*) memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi. Nilai laju korosi pada spesimen uji tanpa perlakuan panas (*non heat treatment*) adalah 0,068461 ; 0,069042 ; dan 0,069597 (mmpy). Sedangkan spesimen uji dengan perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing* memiliki nilai laju korosi paling rendah. Nilai laju korosi pada spesimen uji dengan perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing* 0,012147; 0,014623 ; dan 0,017637 (mmpy).
3. Spesimen uji dengan perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing* memiliki ketahanan terhadap fenomena korosi yang paling baik dikarenakan memiliki presentase fasa pearlite lebih sedikit dibandingkan dengan fasa ferrite. Pada perlakuan panas yang menghasilkan fasa pearlite lebih banyak, maka akan menyebabkan ketahanan korosi yang menurun. Pearlite sendiri memiliki susunan cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan ferrite. Dimana ketika terhubung elektrolit atau larutan kedua fasa tersebut akan mengalami fenomena korosi micro-galvanik. Cementite akan bertindak sebagai katodanya, dan ferrite akan bertindak sebagai anodanya. Karena efek micro-galvanik tersebut fasa pearlite akan menyebabkan spesimen uji mengalami fenomena korosi lebih cepat. Spesimen uji dengan perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing* memiliki kategori *relative corrosion resistance* "oustanding" dikarenakan nilainya berada pada  $< 0.02$  mmpy. Selain itu, spesimen uji dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing* sesuai tujuannya dapat menghilangkan tegangan dalam. Apabila tegangan dalam tersebut tidak dihilangkan, maka akan memicu terjadinya korosi retak tegang *stress corrosion cracking* (SCC). Sehingga dengan dihilangkannya tegangan dalam tersebut akan menghambat proses fenomena korosi pada spesimen uji dengan perlakuan panas (*heat treatment*) variasi *annealing*.
4. Sebelum pengujian korosi dipastikan tidak ada produk dengan jenis korosi apapun yang ditemukan pada spesimen uji tanpa perlakuan panas (*non-heat treatment*) dan dengan diberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Namun, setelah pengujian korosi dilakukan, produk korosi mulai bermunculan yaitu korosi jenis pitting dan produk korosi seragam mulai ditemukan. Foto makrografi sampel sebelum dilakukan uji korosi masih terlihat bersih dan mengkilap, namun setelah dilakukan uji korosi mulai ditemukan produk korosi jenis pitting atau sumuran dan produk korosi yang seragam. Spesimen uji tanpa perlakuan panas memiliki lebih banyak produk korosi pitting dan seragam, dan spesimen uji yang diberi perlakuan panas memiliki produk korosi pitting dan seragam yang lebih sedikit. Jenis spesimen uji dengan perlakuan panas variasi *annealing* memiliki produk korosi yang paling sedikit jika dibandingkan dengan lainnya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Manifas Z, Odok S. Faktor - faktor penyebab korosi pada bangunan kelautan. Seminar Nasional Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh September.
- [2] Glyn, et.al. *Physical metallurgy of steel*: Class notes and lecture material. 2001.
- [3] Darmanto. Pengaruh *holding time* terhadap sifat kekerasan dengan *refining the core* pada proses *carburizing* material baja karbon rendah. Semarang. Traksi; 2006.
- [4] ASM Handbook. *Heat treating*. Vol 4: ASM International; 1991.
- [5] Hadi S. Teknologi bahan. Yogyakarta: Andi Yogyakarta; 2016.
- [6] Chamberlain J, Trethewey KR. Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama; 1991.
- [7] Supriyanto. Pengaruh konsentrasi larutan NaCl 2% dan 3,5% terhadap laju korosi pada baja karbon rendah. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta; 2007.
- [8] Fontana M. *Corrosion Engineering*. 6th ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd; 2006.
- [9] ASM Handbook. *Corrosion fundamental, testing, and protection*. Vol 13: ASM International; 2003.
- [10] ASTM G5-94. *Standard reference test method for standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarizati measurements*. United State. 2004.