

ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS TEHADAP LAJU KOROSI BAJA SKD-11 DALAM LARUTAN 3% NaCl

*Alfitra Bin'arya Putratama¹, Agus Suprihanto², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: alfitra.binarya@gmail.com

Abstrak

Korosi adalah salah satu masalah yang menjadi perhatian saat ini karena dapat menyebabkan kerusakan logam. Baja karbon tinggi adalah salah satu jenis logam yang telah banyak digunakan di industri, Baja SKD-11 merupakan salah satu baja karbon tinggi yang digunakan sebagai baja perkakas yang sering diaplikasikan dalam industri manufaktur, diantaranya sebagai cutting, stamping tools, punching, shear blades, dies dan lain-lain. Untuk mengetahui perbedaan laju korosi dari baja SKD-11, maka dilakukan beberapa perlakuan panas pada baja tersebut dengan memberikan proses annealing, normalizing, quenching dan tempering 550°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan laju korosi dari baja SKD-11 hasil dari beberapa perlakuan panas yang dilakukan. Metode yang digunakan dalam pengujian laju korosi adalah elektrokimia, sesuai standard ASTM G59-97 (2009). Dari hasil penelitian, nilai laju korosi tertinggi pada spesimen uji tanpa perlakuan panas yaitu 0,057792, 0,06082 dan 0,069595 (mmpy). Sedangkan nilai laju korosi terendah pada spesimen perlakuan panas annealing 0,011651, 0,013038 dan 0,013795 (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 uji dengan fasa pearlite lebih banyak akan lebih cepat terkorosi.

Kata kunci: elektrokimia; korosi microgalvanik; laju korosi; perlakuan panas; SKD 11

Abstract

Corrosion is one of the issues that is of concern today because it can cause metal damage. High carbon steel is one type of metal that has been widely used in industry, SKD-11 steel is one of the high carbon steels used as tool steel which is often applied in the manufacturing industry, including cutting, stamping tools, punching, shear blades, dies and etc. To find out the difference in the corrosion rate of SKD-11 steel, several heat treatments were carried out on the steel by giving it annealing, normalizing, quenching and tempering processes of 550°C. This study aims to determine the difference in the corrosion rate of SKD-11 steel resulting from several heat treatments. The method used in testing the corrosion rate is electrochemical, according to the ASTM G59-97 standard (2009). From the results of the study, the highest corrosion rate values for test specimens without heat treatment were 0.057792, 0.06082 and 0.069595 (mmpy). While the lowest corrosion rate values for annealing heat treatment specimens 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 will cause stress corrosion cracking. The second, the pearlite phase. Pearlite has an arrangement of cementite and ferrite. When connected to the electrolyte, the two phases will experience microgalvanic corrosion. Because the microgalvanic effect causes the test specimen with more pearlite phase to corrode faster.

Keywords: corrosion rate; electrochemical; heat treatment; microgalvanic corrosion; SKD-11

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, banyak kalangan dunia industri yang menggunakan logam sebagai bahan utama operasional sebagai bahan baku produksinya. Baja karbon banyak digunakan terutama untuk membuat alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen konstruksi, komponen-komponen otomotif dan kebutuhan rumah tangga [1]. Aplikasi pemakaiannya, semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya dari luar berupa tegangan-tegangan gesek sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Usaha menjaga agar logam lebih tahan gesekan atau tekanan adalah dengan cara perlakuan panas pada baja, hal ini memegang peranan penting dalam upaya meningkatkan kekerasan baja sesuai kebutuhan [2]. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan dinginkan pada media tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butiran kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan

sebagainya. Tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan dari faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media yang digunakan.

Baja perkakas SKD-11 adalah jenis baja karbon tinggi tahan karat berkualitas tinggi yang dibuat untuk diaplikasikan sebagai alat pemotong, alat pembentuk, dan sebagai cetakan [3]. Baja perkakas SKD-11 merupakan baja perkakas yang banyak dipergunakan dalam industri karena kandungan khromium yang tinggi, serta elemen pembentuk karbida seperti molybdenum dan vanadium sehingga baja SKD-11 memiliki karakteristik ketahanan aus yang tinggi, tahan terhadap tekanan kompresi, stabilitas yang baik saat dilakukan pengerasan. Baja Skd 11 merupakan baja karbon tinggi karena baja karbon tinggi memiliki kadar karbon dari 0,6% sampai 2,1% [4].

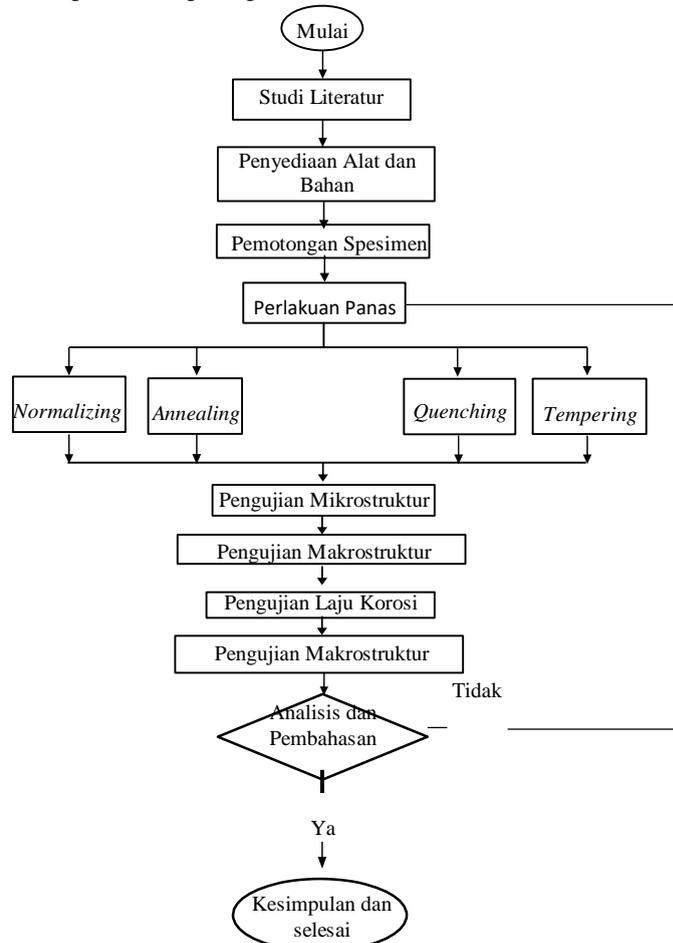
Tujuan dari heat treatment adalah untuk peningkatan keliatan bahan, penghilangan tegangan dalam, penghalusan ukuran butiran, dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik serta merubah struktur mikro permukaan logam [5]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

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].

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan antara spesimen yang akan dilakukan variasi perlakuan panas yaitu, annealing, normalizing, tempering, dan quenching, dengan spesimen yang tidak dilakukan perlakuan panas pada material baja SKD-11. Sehingga nantinya akan dapat diketahui spesimen mana yang paling baik dalam menghambat laju korosi. Diharapkan dengan adanya penelitian ini nantinya akan bisa mendapatkan kesimpulan mengenai bagaimana pengaruh perlakuan panas terhadap laju korosi yang bisa terjadi pada baja dengan kandungan karbon yang tinggi.

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

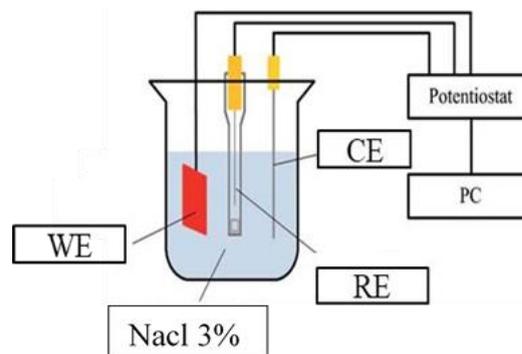
Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu baja SKD-11 dengan dimensi diameter 25 mm dan tebal 10 mm sebanyak 20 spesimen. Adapun rinciannya yaitu 4 spesimen tidak diberikan perlakuan panas dan 16 spesimen lainnya diberikan perlakuan panas dengan 4 spesimen pada masing-masing variasi proses perlakuan panas yakni normalizing, annealing, quenching dan tempering. Pada proses perlakuan panas variasi annealing, normalizing, quenching dan tempering dilakukan pemanasan di dalam tungku pemanas (*furnace*) dengan suhu maksimum 1000°C dan waktu tahan 15 menit. Kemudian spesimen tersebut didinginkan dengan cara terkontrol. Pada proses annealing, spesimen didinginkan di dalam 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 550°C dengan *holding time* selama 60 menit kemudian 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 yaitu 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 pembesaran tertentu. Dalam proses pengujian mikrostruktur ada beberapa tahapan yaitu proses grinding dengan menggunakan amplas 120 hingga 2000 grid dan 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 SKD-11, semua spesimen dilakukan proses grinding terlebih dahulu dengan menggunakan amplas 120 hingga 2000 grid. Kemudian untuk bahan yang perlu disiapkan diantaranya elektrolit NaCl dan spesimen yang sudah dipreparasi (disolder dengan kabel dan di-mounting). Adapun luas permukaan spesimen yaitu 4,90625 cm² dan nomor atom Fe 26 serta massa jenisnya 7,70 g/cm³. 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 :

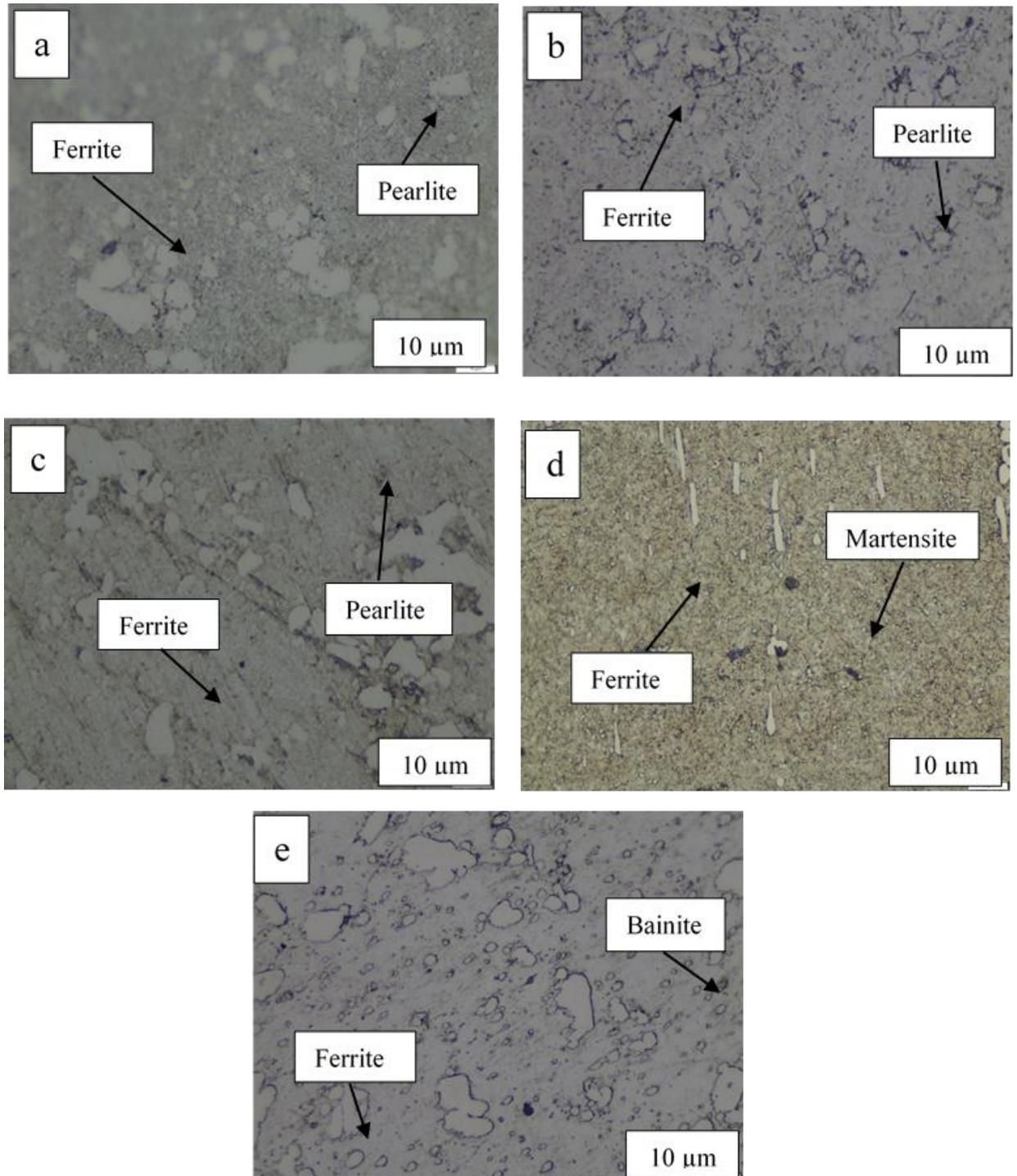
$$\text{Corrosion rate (mm/year)} = i_{\text{corr}} \times 0,00327 (K) \times 27,92 (EW) / 7,86 (\rho)$$

Keterangan : EW = berat equivalen material SKD-11
 ρ = massa jenis material SKD-11
 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.

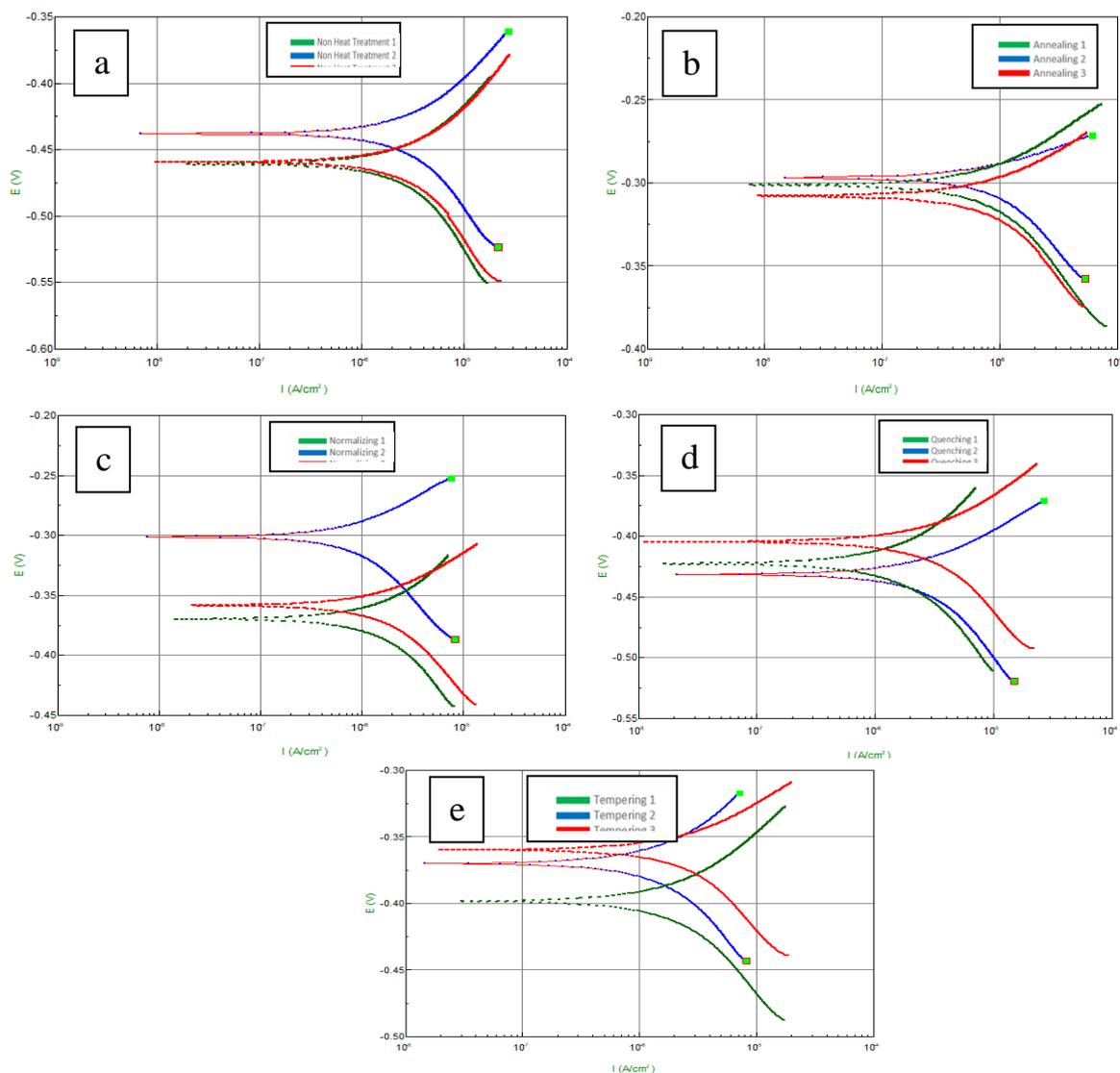
3. Hasil dan Pembahasan Penelitian
 3.1 Hasil Penelitian



Gambar 3. Hasil pengujian *microstructure* baja SKD-11 (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 57 % dan pearlite halus 43 %. Kemudian untuk spesimen variasi *normalizing* menghasilkan fasa ferrite dan pearlite kasar dengan presentase ferrite 45 % dan pearlite kasar 55 %. 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 38 % dan martensite 62 %. Kemudian untuk spesimen variasi *tempering*

menghasilkan fasa ferrite dan fasa bainite dengan presentase ferrite 43 % dan fasa bainite 57 %. 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 25 % dan fasa pearlite 75 %. Dimana kondisi awal dari raw material baja SKD-11 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.



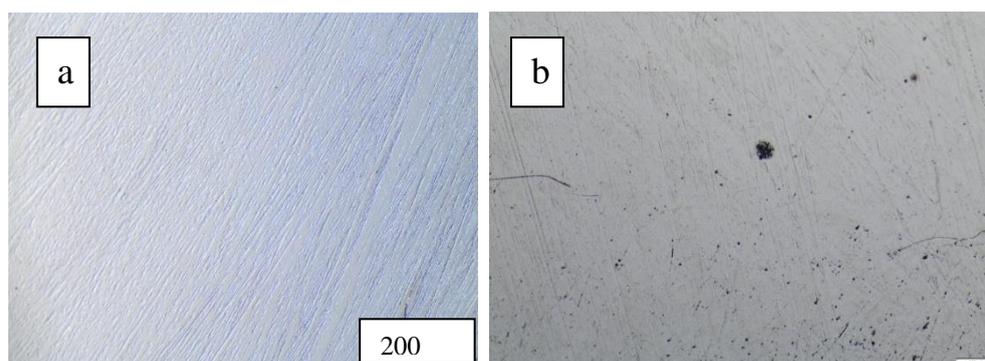
Gambar 3. Tafel plot baja SKD-11 (a) *annealing* (b) *normalizing* (c) *quenching* (d) *tempering* dan (e) *non heat treatment* dengan elektrolit 3% NaCl

Tabel 1. Hasil pengujian laju korosi SKD-11 (a) *annealing* (b) *normalizing* (c) *quenching* (d) *tempering* dan (e) *non heat treatment* dengan elektrolit 3% NaCl

No	Variasi Spesimen Uji	Potensial (mV)	Kerapatan Arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Rata-rata	
					nilai Laju Korosi (mmpy)	Variasi Spesimen Uji
1	<i>Annealing 1</i>	31,767	1,002	0,011651		

2	<i>Annealing 2</i>	59,19	1,1212	0,013038	0,012828	<i>Annealing</i>
3	<i>Annealing 3</i>	53,157	1,1864	0,013795		
4	<i>Normalizing 1</i>	87,311	1,573	0,018291		
5	<i>Normalizing 2</i>	106,78	1,5788	0,018358	0,020426	<i>Normalizing</i>
6	<i>Normalizing 3</i>	62,001	2,1181	0,024629		
7	<i>Tempering 1</i>	114,24	3,0555	0,035529		
8	<i>Tempering 2</i>	92,995	3,1894	0,037087	0,036947	<i>Tempering</i>
9	<i>Tempering 3</i>	62,666	3,2872	0,038224		
10	<i>Quenching 1</i>	71,182	3,9172	0,045549		
11	<i>Quenching 2</i>	84,597	4,0114	0,046644	0,048149	<i>Quenching</i>
12	<i>Quenching 3</i>	85,246	4,4939	0,052256		
13	<i>Non Heat Treatment 1 Non Heat</i>	101,87	4,97	0,057792		
14	<i>Non Heat Treatment 2 Non Heat</i>	109,08	5,2305	0,06082	0,062736	<i>Non Heat Treatment</i>
15	<i>Non Heat Treatment 3</i>	114,14	5,9851	0,069595		

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 5. 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 (Fe_3C) dan ferrite. Dimana ketika kedua fasa tersebut terhubung pada elektrolit maka akan mengalami fenomena korosi micro-galvanik. Cementite (Fe_3C) yang memiliki sifat metastabil akan bertindak sebagai katoda yang memiliki nilai potensial korosi (E_{corr}) lebih tinggi, sedangkan ferrite yang memiliki sifat cenderung lebih stabil bertindak sebagai anoda yang memiliki nilai potensial korosi (E_{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 SKD-11 pada 3% NaCl, 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, ferite, martensite, dan bainite.
2. Material baja SKD-11 dengan elektrolit 3% NaCl 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 0,052256; 0,06082 ; dan 0,069595 (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* 0,011651; 0,013038 ; dan 0,013795 (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 (Fe₃C) 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] Supriyatna, Yayat. Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika Volume 4, Nomor 02; 2016
- [2] Fariadhie, Jeni. Pengaruh Temper dengan Quenching Media Pendingin Oli Mesran SAE 40 terhadap kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Baja ST 60; 2012
- [3] Saputra, Ihsan. Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Pembentukan Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja SKD-11 Untuk Tool Steel; 2020
- [4] Popov, Branko N. Corrosion Engineering. Amsterdam : Elsevier B.V.; 2015.

-
- [5] Rajan, T. V., Sharma, C. P., and Sharma Ashok. Heat Treatment : Principles and Techniques, Prentice Hall of India, New Delhi. 1997
- [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.