



TUGAS AKHIR - MO 184804

Analisis Ketahanan Biokorosi Mikroalga pada Material Baja
ASTM A53 Terhadap Variasi *Heat Treatment* di Lingkungan
Laut

Citra Egy Prasetyo

NRP. 0431154000023

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT - MO 184804

**Analysis of Microalgae Biocorrosion Resistance in ASTM 153
Steel Material Against Heat Treatment Variations in the
Marine Environment**

Citra Egy Prasetyo

NRP. 0431154000023

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

Departement Teknik Kelautan

Fakulty Teknologi Kelautan

Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Ketahanan Biokorosi Mikroalga pada Material Baja ASTM A53 Terhadap Variasi Heat Treatment di Lingkungan Laut

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Citra Egy Prasetyo

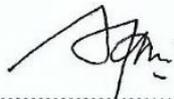
NRP. 0431154000023

Ditejui oleh:

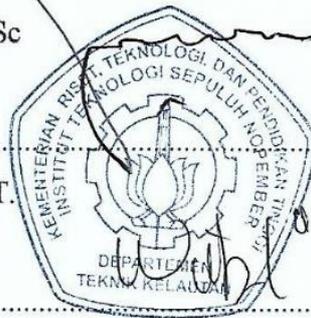
1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)



2. Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)



3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc (Penguji 1)



4. Wimala L. Dhanistha, S.T., MT (Penguji 2)



5. Dirta Marina S.T., M.T. (Penguji 3)

6. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 4)



Surabaya, Juli 2019

**Analisis Ketahanan Biokorosi Mikroalga pada Material Baja ASTM A53
Terhadap Variasi *Heat Treatment* di Lingkungan Laut.**

Nama : Citra Egy Prasetyo
NRP : 0431154000023
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Akan dilakukan penelitian laju korosi terhadap material baja ASTM A53 dengan variasi proses *heat treatment*. Variasi Proses *heat treatment* yang dipilih adalah *hardening austempering*, *normalizing* dan *full annealing*. Setelah diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) material akan dilakukan uji korosi dengan metode perendaman (*immersion corrosion test*) dengan cara dicelupkan kedalam mikroalga *Chlorella vulgaris* pada air laut buatan dengan salinitas 3,5 %. Dari hasil penelitian ini didapatkan material tanpa perlakuan panas (*non-heat treatment*) memiliki nilai laju korosi paling tinggi. Untuk material tanpa perlakuan panas dengan penambahan mikroalga memiliki nilai laju korosi sebesar 0,2780 mm/year dan 0,23248 mm/year untuk material tanpa penambahan mikroalga. Sedangkan material dengan perlakuan panas *full annealing* memiliki nilai laju korosi paling rendah. Untuk material dengan perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga memiliki nilai laju korosi sebesar 0,1510 mm/year dan 0,1434 mm/year untuk material tanpa penambahan mikroalga. Hasil foto mikrostruktur dan makrostruktur menunjukkan bahwa setelah dilakukan foto mikrostruktur terjadi produk korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) sedangkan dari hasil foto makrostruktur dihasilkan endapan yang berwarna coklat kehitaman yang merupakan magnetit (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan yang merupakan $Fe(OH)_3$ dan $FeOOH$. Dari hasil penelitian ini didapatkan perlakuan panas jenis *full annealing* adalah jenis perlakuan yang paling baik dalam menghambat terjadinya laju korosi pada material baja ASTM A53 di lingkungan laut.

**Analysis of Microalgae Biocorrosion Resistance in ASTM 153 Steel Material
Against Heat Treatment Variations in the Marine Environment**

Name : Citra Egy Prasetyo
NRP : 0431154000023
Departement : Teknik Kelautan
Supervosors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Research will be conducted on the corrosion rate of ASTM A53 steel material with a variety of heat treatment processes. Variation The heat treatment process chosen is austempering hardening, normalization and full analing. After being given heat treatment material will be carried out corrosion tests with immersion method (immersion corrosion test) by dipping using microalgae Chlorella vulgaris on artificial sea water with 3.5% salinity. From the results of this study obtained non-heat treatment materials have the highest added value of corrosion. For materials without microalgae approval, the corrosion rate value is 0.2780 mm / year and 0.23248 mm / year for materials without the aid of microalgae. While full heat maintenance material has the lowest corrosion rate. For materials with full heat approval with microalgae having a corrosion rate value of 0.1510 mm / year and 0.1434 mm / year for materials without using microalgae. The results of microstructure and macrostructural photographs show that after microstructural photographs were carried out pitting and uniform corrosion products, were obtained while macrostructure photos produced black brown deposits which were magnetite (Fe_3O_4) and brownish red which was $Fe(OH)_3$ and $FeOOH$. From the results of this study, it was found that full annealing heat treatment was the best type of treatment to inhibit the corrosion rate in ASTM A53 steel material in the marine environment.

KATA PENGANTAR

Sege nap rasa syukur atas kehadirat Alloh SWT, karena segala berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul penelitian **Analisis Ketahanan Biokorosi Mikroalga Terhadap Variasi Heat Treatment di Lingkungan Laut.**

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan tugas akhir ini adalah mendapatkan data pengaruh variasi perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap laju biokorosi material baja ASTM A53 dengan adanya penambahan mikroalga dan tanpa penambahan mikroalga pada air laut buatan dengan salinitas 3,5 %.

Pada pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun penulis menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga hasil yang dicapai penulis dapat berguna bagi penulis sendiri dan untuk pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Selama menyelesaikan penyusunan tugas akhir, penulis telah mendapatkan manfaat, dukungan, bantuan, dan bimbingan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT yang memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan ini. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dan sebagai koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Para Dosen Penguji tugas akhir ini yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis.
5. Bapak Agus dan Bapak Gatot selaku teknisi Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin FTI ITS.
6. Ibu Iin selaku teknisi Laboratorium Remediasi Lingkungan Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
7. Teman – teman mahasiswa dari Laboratorium Remediasi Lingkungan Teknik Lingkungan ITS yang selalu membantu penulis.
8. Teman – teman mahasiswa Teknik Kelautan ITS angkatan 2015 “TRITONOUS” yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Tusino dan Ibu Winarsih yang semuanya senantiasa mendukung dan mendoakan kelancaran tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada laporan ini. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap laporan ini membantu para pembaca mengenal lebih dekat dunia material dan dapat dijadikan referensi untuk keperluan pendidikan serta dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Hipotesa Awal	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	8
2.2.1. Baja.....	8
2.2.2. Baja ASTM A53.....	8
2.2.3. Perlakuan Panas.....	9
2.2.4. Diagram Fase Fe-Fe ₃ C.....	10
2.2.5. Jenis-Jenis Perlakuan Panas.....	11
2.2.6. Korosi	15
BAB III MERODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2. Prosedur Penelitian.....	27
3.2.1. Studi literatur	27
3.2.2. Pembuatan Spesimen Uji.....	27
3.2.3. Perlakuan Panas	29
3.2.4. Uji Kekerasan	31

3.2.5. Uji Metalografi	32
3.2.6. Penghalusan permukaan spesimen uji	33
3.2.7. Pembersihan spesimen uji dan penimbangan berat awal.	33
3.2.8. Foto Makrostruktur	34
3.2.9. Spesimen Uji Siap	34
3.2.10. Persiapan Bahan dan Peralatan Uji	34
3.2.11. Persiapan mikroalga uji	35
3.2.13. Persiapan Larutan Uji	35
3.2.14. Pengujian Biokorosi Mikroalga	37
3.2.15. Prediksi Laju Korosi	38
3.2.16. Pengamatan struktur mikro dan makro	38
3.2.17. Analisis dan Kesimpulan	38
3.2.18. Kesimpulan dan Saran	39
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Perlakuan Panas Hardening	41
4.2. Perlakuan Panas Normalizing	42
4.3. Perlakuan Panas Full Annealing	43
4.4. Perlakuan Panas Austempering	43
4.5. Pengujian Kekerasan	44
4.5.1. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Hardening	46
4.5.2. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Austempering	46
4.5.3. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Normalizing	46
4.5.4. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Full Annealing	46
4.6. Pengujian Metalografi Sebelum Korosi	47
4.6.1. Spesimen Uji Tanpa Perlakuan Panas	48
4.6.2. Spesimen Perlakuan Panas Hardening	49
4.6.3. Spesimen Perlakuan Panas Austempering	49
4.6.4. Spesimen Perlakuan Panas Normalizing	49
4.6.5. Spesimen Perlakuan Panas Full Annealing	50
4.7. Data Hasil Pengujian Biokorosi	50
4.7.1. Penelitian Pendahuluan	50
4.7.2. Penelitian Utama	55
4.8. Analisis Pengujian Mikrostruktur Sesudah Pengujian Biokorosi	57

4.9. Analisis Pengujian Makrostruktur Sebelum dan Sesudah Pengujian Biokorosi	59
4.10. Analisis Perhitungan Laju Korosi.....	63
4.10.1.. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis <i>Full Annealing</i> Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.....	65
4.10.2..... Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis <i>Normalizing</i> Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.....	66
4.10.3. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis <i>Austempering</i> Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.....	67
4.10.4. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis <i>Hardening</i> Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.....	67
4.10.5. Analisis Pengaruh Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.....	68
4.11. Analisis Perbandingan Laju Korosi dengan Penelitian Sebelumnya..	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
Lampiran A	
Lampiran B	
Lampiran C	
Lampiran D	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Fase Besi-Karbon	11
Gambar 2. 2 Temperatur <i>austenisasi</i> untuk pengerasan baja karbon.....	12
Gambar 2. 3 Temperatur Austenisasi Normalising baja karbon	13
Gambar 2. 4 Skema perubahan selama proses anil baja 0,2 %C	14
Gambar 2. 5 Temperatur Austenisasi <i>Normalizing</i> baja karbon	15
Gambar 2. 6 Beberapa Tempat yang Dijadikan Tumbuhnya MIC	19
Gambar 2. 7 <i>Chlorella vulgaris</i>	20
Gambar 2. 8 Laju Pertumbuhan Mikroalga.....	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3. 2 Baja ASTM A53.....	28
Gambar 3. 3 Proses Pemotongan Spesimen Uji.....	29
Gambar 3. 4 Dimensi Spesimen yang telah dipotong	29
Gambar 3. 5 Alat Uji Kekerasan Micro Vickers.....	32
Gambar 3. 6 Alat Mikroskop Optik	33
Gambar 4. 1 Perlakuan Panas Hardening.....	42
Gambar 4. 2 Perlakuan Panas Normalizing	42
Gambar 4. 3 Perlakuan panas Full Annealing.....	43
Gambar 4. 4 Perlakuan Panas Austempering	44
Gambar 4. 5 Diagram Uji Kekerasan pada Perlakuan Panas	45
Gambar 4. 6 Diagram Perbandingan Uji Kekerasan pada material Tanpa Perlakuan Panas	45
Gambar 4. 7 Nilai OD pada kurva laju pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>	52
Gambar 4. 8 Hemocytometer Cell Counting.....	53
Gambar 4. 9 Kamar baca Hemocytometer Cell Counting	53
Gambar 4. 10 Grafik Jumlah sel pada mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	54
Gambar 4. 11 Sel pada <i>Chlorella Vulgaris</i> dilihat Menggunakan Mikroskop	55
Gambar 4. 12 Proses Pengujian <i>Immersion Corrosion Test</i>	55
Gambar 4. 13 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi	64
Gambar 4. 14 Persentase Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Laju Biokorosi ..	65

Gambar 4. 15 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi pada Sambungan LAS SMAW Baja ASTM A36.....	69
Gambar 4. 16 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi pada Material Baja ASTM A53 dengan Variasi <i>Heat Treatment</i>	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Kandungan kimia ASTM A53 (ASTM Standard, 1993).....	9
Tabel 2. 2 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi (Fontana, 1987)	22
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut (ASTM D1 141-90, 2003).....	37
Tabel 4. 1 Pengujian Kekerasan Material Baja ASTM A53	44
Tabel 4. 2 Struktur Mikro Hasil Uji Metallografi	47
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan Jumlah sel.....	54
Tabel 4. 4 Data Hasil <i>Weight Loss</i> Pengujian Korosi material tanpa perlakuan panas (<i>Non-Heat Treatment</i>).....	56
Tabel 4. 5 Data Hasil <i>Weight Loss</i> Pengujian Korosi material <i>Hardening</i>	56
Tabel 4. 6 Data Hasil <i>Weight Loss</i> Pengujian Korosi material <i>Austempering</i>	56
Tabel 4. 7 Data Hasil <i>Weight Loss</i> Pengujian Korosi material <i>Normalizing</i>	56
Tabel 4. 8 Data Hasil <i>Weight Loss</i> Pengujian Korosi material <i>Full Anealing</i>	57
Tabel 4. 9 Data Hasil Pengamatan Mikrostruktur Setelah Pengujian Korosi	57
Tabel 4. 10 Data Hasil Pengamatan Mikrostruktur.....	59
Tabel 4. 11 Warna Produk Karat Pada Baja Karbon	62
Tabel 4. 12 Perhitungan Laju Korosi	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Di dalam perkembangan industri maritim, baja merupakan material yang mempunyai peranan penting. Baja ini sering kali diaplikasi sebagai bahan dasar pembuatan komponen produksi maupun bahan konstruksi. Tentunya dibutuhkan material yang memiliki kekuatan yang baik, tahan korosi serta harganya yang ekonomis. Pemilihan material sangat penting untuk menentukan logam yang memiliki sifat-sifat mekanik maupun fisik yang sesuai dengan tuntutan produksi. Maka sikap perancang desain dan ahli rekayasa harus mampu untuk menentukan pilihannya terhadap logam yang memperbaiki sifat-sifat logam diantaranya adalah sifat tahan korosi yang baik.

Korosi merupakan salah satu faktor yang berbahaya bagi material, khususnya logam. Korosi adalah kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi lingkungan yang didukung oleh faktor-faktor tertentu (Supomo, 2003). Pada lingkungan laut, laju korosi lebih cepat mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh berbagai macam zat yang terlarut dalam air laut yang mampu melarutkan zat lainnya antara lain seperti gas-gas terlarut, senyawa-senyawa organik dari organisme hidup, serta garam-garam anorganik yang memiliki konsentrasi lebih besar daripada zat cair lainnya (Sidiq, 2013).

Salah satu penyebab terjadinya korosi adalah mikroalga. Korosi yang disebabkan oleh mikroalga ini biasa juga disebut Biokorosi. Biokorosi adalah proses elektrokimia dari pelarutan logam yang disebabkan oleh bakteri dan mikroorganisme lainnya melalui aktivitas metaboliknya (E. Miranda, 2006). Interaksi mikroorganisme dengan permukaan logam dapat mengakibatkan pembentukan biofilm, yang dapat sangat mempengaruhi reaksi katodik dan anodik dalam proses elektrokimia yang meningkatkan proses korosi (F.M. Alabbas, 2013). Pembentukan biofilm adalah hasil dari proses akumulasi mikroorganisme karena pengendapan ion anorganik dan senyawa yang dimulai segera setelah perendaman logam dalam lingkungan berair (W.G. Characklis and K.C. Marshall,1990). Biokorosi merupakan masalah besar bagi industri perminyakan. Sekitar 20-30% dari deposit korosi terkait dengan aktivitas mikroorganisme. Kegiatan mikroorganisme

mempengaruhi integritas, keamanan dan realibilitas operasi pipa minyak bumi (Ugochukwu, 2014).

Untuk menghambat serangan korosi tersebut maka dilakukan penelitian dengan cara merekayasa perlakuan panasnya (*heat treatment*). Perlakuan panas adalah kombinasi pemanasan dan pendinginan pada waktunya yang diterapkan pada logam atau paduan tertentu dalam keadaan padat sedemikian rupa untuk menghasilkan struktur mikro tertentu dan sifat mekanik yang diinginkan (Huang, 2017). *Annealing*, *normalizing*, *hardening*, dan *austempering* adalah perlakuan panas yang paling penting yang sering digunakan untuk memodifikasi struktur mikro dan sifat mekanik bahan rekayasa, terutama baja (D.A. Fadare, T.G. Fadara dan O.Y. Akanbi, 2011). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan antara struktur mikro dengan laju korosi, diharapkan nantinya didapatkan suatu metode baru untuk mempertinggi *corrosion resistance* suatu material dengan memperbaiki bentuk, ukuran, jenis, dan struktur mikronya. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa variasi perlakuan panas (*Heat Treatment*) terhadap material baja ASTM A53, selanjutnya dilakukan pengujian korosi dengan metode perendaman (*Immersion Corrosion Test*) menggunakan median air laut buatan dengan salinitas 3,5% dengan penambahan mikroalga.

1.2.Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh panas (*Heat Treatment*) pada terhadap laju korosi material baja ASTM A53 pada medium air laut buatan dengan penambahan mikroalga?
2. Bagaimana struktur mikro dan makro dari material baja ASTM A53 sebelum dan sesudah mengalami korosi?
3. Perlakuan panas (*Heat Treatment*) manakah yang paling tahan terhadap biokorosi mikroalga pada material baja ASTM A53 di lingkungan laut?

1.3.Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil pengaruh perlakuan panas (*Heat Treatment*) pada laju korosi material baja ASTM A53 pada air laut buatan dengan penambahan mikroalga.
2. Mendapatkan data struktur mikro dan makro dari material baja ASTM A53 sebelum dan sesudah mengalami korosi.
3. Menentukan perlakuan panas (*Heat Treatment*) yang paling tahan terhadap biokorosi mikroalga pada material baja ASTM A53 di lingkungan laut.

1.4.Manfaat

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat diketahui pengaruh perlakuan panas (*Heat Treatment*) terhadap laju korosi dan sifat mekanik pada material baja ASTM A53 pada medium air laut buatan dengan penambahan mikroalga. Sehingga didapatkan proses *Heat Treatment* yang paling sesuai untuk pengendalian korosi di lingkungan laut. Selain itu diharapkan dapat memberikan manfaat untuk bidang industri material, bahan, dan konstruksi untuk rekayasa industri maritim.

1.5.Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan sebagai spesimen dalam penelitian ini adalah baja ASTM A53.
2. Material dilakukan uji *Heat Treatment* dan *Non- Heat Treatment*.
3. Suhu pemanasan 845⁰C dan *holding time* 15 menit untuk seluruh jenis perlakuan panas.
4. Variasi *Heat Treatment* yang digunakan adalah *herdening*, *normalising*, *full anelling* dan *austempering*.
5. Material dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui tingkat kekerasan material.

6. Material dilakukan uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro dan makro material.
7. Pengujian biokorosi dilakukan pada spesimen yang terbenam seluruhnya di bawah medium penguji air laut buatan
8. Mikroalga yang digunakan adalah *Chlorella vulgaris*
9. Perhitungan laju korosi dalam penelitian ini menggunakan metode *weight loss*.

1.6.Hipotesa Awal

Hipotesa awal dari penelitian tugas akhir ini adalah antara lain sebagai berikut:

1. Material tanpa perlakuan panas memiliki nilai laju korosi lebih besar dari pada material dengan perlakuan panas (*herdening, normalising, full annealing* dan *austempering*).
2. Perlakuan panas dengan pendinginan sangat cepat akan membentuk struktur mikro martensit yang bersifat keras, kuat dan getas serta tidak tahan terhadap korosi. Sedangkan perlakuan panas dengan pendinginan sangat lambat akan membentuk struktur mikro ferit dan perlit yang bersifat lunak, ulet serta tahan terhadap korosi.
3. Material dengan perlakuan panas *full annealing* memiliki nilai laju korosi paling rendah dari material tanpa perlakuan panas dan perlakuan panas lainnya, hal ini terjadi karena sebagian besar struktur mikro didominasi butir ferite yang bersifat lunak, ulet serta tahan karat.
4. Laju korosi pada material dengan penambahan mikroalga lebih besar dibandingkan tanpa penambahan mikroalga.

1.7.Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yaitu sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir, yaitu masalah yang melatar belakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi problem dan perlu dijawab, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat apa yang didapat dari dilakukannya penelitian tugas akhir, batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta penjelasan dari sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Menjelaskan apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini serta dasar-dasar teori, persamaan-persamaan, serta *standard* atau *code* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Materi yang dicantumkan pada bab ini antara lain: pengertian umum baja, perlakuan panas, jenis-jenis perlakuan panas, konsep korosi, jenis-jenis korosi, MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*) serta analisis laju korosi.

BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir dan metode – metode yang digunakan serta menggunakan diagram alir dalam tugas akhir ini.

BAB IV Hasil dan Analisis

Menjelaskan tentang pengujian dan percobaan yang dilakukan pada objek penelitian dengan menggunakan peralatan yang mendukung, serta berisi analisis permasalahan, pengolahan data, dan pembahasan hasil yang telah didapatkan pada tugas akhir ini.

BAB V Penutup

Menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisis pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan hasil dari penelitian pada bidang yang sama sebagai referensi. Fokus utama dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat laju korosi dengan variasi perlakuan panas yang diberikan pada material dilingkungan air laut dengan dengan penambahan mikroalga pada kadar salinitas tertentu.

Syahputra (2017), dalam penelitiannya membahas tentang laju korosi pada material baja API 5L Grade B dimana material ini sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pipa bawah laut. Material akan diberikan perlakuan panas (*Heat Treatment*). Variasi Proses heat treatment yang dipilih adalah *hardening*, *normalising*, *full annealing* dan *austempering*. Setelah diberikan perlakuan panas (heat treatment) material akan dilakukan uji korosi dengan metode perendaman (*immersion corrosion test*) dengan cara dicelupkan kedalam tiga bakteri pada air laut buatan. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Thiobacillus ferrooxidans*, dengan menggunakan air laut buatan dengan salinitas 35 ‰.

Handoko (2017), dalam penelitiannya membahas tentang laju korosi material pipa baja API 5L grade B. Pada penelitian ini dilakukan pengujian laju korosi pada pipa baja API 5L grade B dengan variasi proses heat treatment. Variasi proses heat treatment yang dipilih adalah *hardening*, *normalising*, *full annealing* dan *austempering*. Sesudah diberikan perlakuan panas (heat treatment) material akan dilakukan uji korosi dengan perendaman (*immersion corrosion test*) pada air laut buatan (salinitas, 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰). Dari hasil penelitian ini didapatkan material tanpa perlakuan panas (non-heat treatment) memiliki nilai laju korosi paling tinggi dalam setiap konsentrasi yaitu 33 ‰, 35 ‰ dan 37 ‰ adalah 2.700 mpy, 2.740 mpy, dan 2.820 mpy. Sedangkan material dengan perlakuan panas *full annealing* memiliki nilai laju korosi paling rendah diantara perlakuan panas lainnya, nilai laju korosi disetiap konsentrasi yang diuji yaitu 33 ‰, 35 ‰ dan 37 ‰ adalah 2.031 mpy, 2.206 mpy, dan 2.340 mpy.

Putra (2018), meneliti mengenai laju korosi terhadap sambungan las tipe SMAW pada baja ASTM A36 dengan variasi elektroda. Variasi elektroda yang dipilih adalah AWS E6010, AWS E6013, dan AWS E6019. Material sambungan las dikorosi menggunakan metode *immersion corrosion test* yaitu di rendam dengan menggunakan air laut buatan dengan salinitas 3,5% yang telah ditambahkan mikroalga. Metode yang digunakan untuk mengambil data laju korosi sambungan las menggunakan metode *weight loss*. Laju korosi paling tinggi yaitu pada material sambungan las AWS E6019 dengan penambahan mikroalga *Chlorella Vulgaris* tertinggi sebesar 0.2708 mm/year, sedangkan laju korosi terendah pada jenis elektroda E6013 tanpa penambahan mikroalga sebesar 0.2028 mm/year. Hal ini membuktikan bahwa penambahan mikroalga dapat mempercepat laju korosi.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Baja

Baja adalah unsur paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk plat, lembaran, pipa, batang, profil dan sebagainya. Berdasarkan unsur paduannya klasifikasi baja mengikuti SAE (Society of Automotive Engineers) dan ASI (American Iron and Steel Institute). Secara umum baja dapat dikelompokkan kedalam dua kelas. Kelas baja karbon dan baja paduan, baja karbon terdiri dari baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon ($<0,30\%$), baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon ($0,30 < C < 0,70\%$) dan baja karbon tinggi ($0,70 < C < 1,40\%$). Sedangkan baja paduan terdiri dari baja paduan rendah (jumlah unsur paduan khusus $< 8,0\%$) dan baja paduan tinggi (jumlah unsur paduan khusus $> 8,0\%$).

2.2.2. Baja ASTM A53

Material baja ASTM A53 sering digunakan untuk bahan pembuatan pipa yang dilapisi oleh unsur *zinc* (*galvanized*) atau sebagai alternatif penggunaan tipe A106. Baja ini banyak digunakan pada aplikasi migas, industri kimia, listrik

industri, galangan kapal, dll. Baja ini memiliki kandungan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Tabel Kandungan kimia ASTM A53 (ASTM Standard, 1993)

Komposisi	Grade A	Grade B
Carbon max. %	0.25	0.3
Manganese %	0.95	1.2
Phosphorous, max. %	0.05	0.05
Sulfur, max. %	0.045	0.045
Copper, max.%	0.4	0.4
Nickel, max. %	0.4	0.4
Chromium, max. %	0.4	0.4
Molybdenum, max. %	0.15	0.15
Vanadium, max. %	0.08	0.08

(Sumber : ASTM Standard, 1993)

2.2.3. Perlakuan Panas

2.2.3.1. Definisi perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakkan untuk memudahkan pemesinan lebih lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis material. Dalam proses produksinya sebelum dirol baja dipanaskan terlebih dahulu, setelah selesai dibentuk lembaran logam dinormalkan disusul dengan proses pelurusan. Di samping karbon, baja paduan umumnya mengandung nikel, khromium, mangan, molibden, tungsten, silicon, vanadium, dan tembaga. Karena sifat-sifatnya yang lebih unggul, baja paduan memiliki kegunaan yang lebih luas dibandingkan dengan baja karbon biasa. Laju pendinginan merupakan faktor pengendali, pendinginan yang cepat, lebih

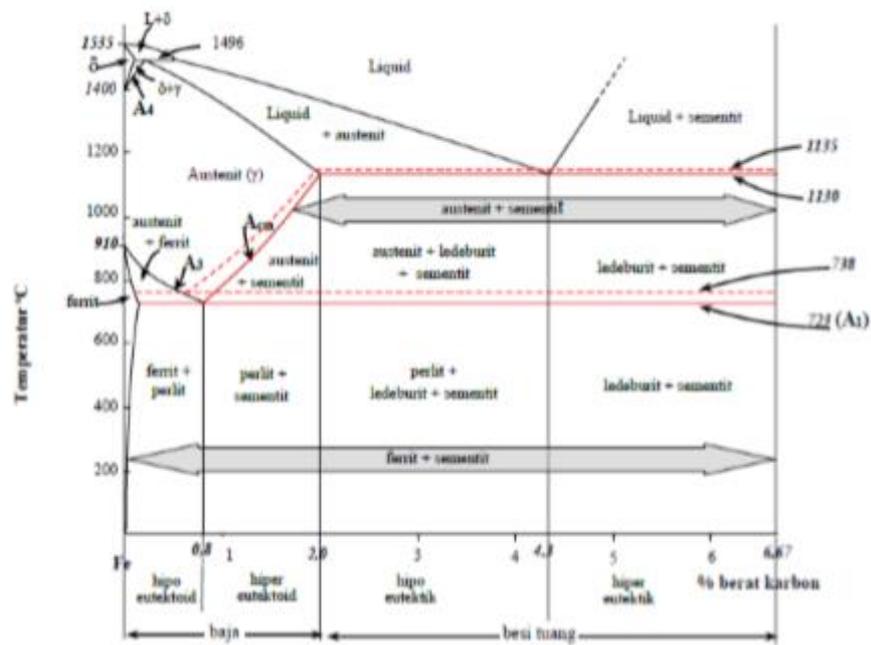
cepat dari pendinginan kritis akan menghasilkan struktur yang keras sedangkan pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur yang lunak.

2.2.3.2 Proses Perlakuan Panas

Dalam prakteknya proses perlakuan panas banyak dilakukan terhadap berbagai jenis paduan. Secara garis besar berbagai macam proses perlakuan panas ini dapat dibedakan menurut tingginya temperatur, lamanya berada pada temperatur tersebut (*holding time*) dan laju pendinginannya. Proses perlakuan panas dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu perlakuan panas yang menghasilkan struktur ekuilibrium, seperti *annealing*, *normalizing*, *spheroidising* dan lain-lain, dan proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang non-ekuilibrium, yaitu pengerasan. Didalam mempelajari proses perlakuan panas perlu diketahui tentang perubahan struktur atau fase pada logam. Struktur atau fase pada logam dikatakan telah mencapai ekuilibrium apabila tidak terjadi lagi perubahan struktur atau fase dengan berubahnya waktu. Struktur atau fase yang sudah mencapai keseimbangan pada suatu kondisi tertentu akan tetap sama atau tidak berubah selama kondisinya tidak berubah. Kondisi ini ditentukan oleh temperatur.

2.2.4. Diagram Fase Fe-Fe₃C

Ada dua macam sistem diagram fase besi-karbon, diagram fase stabil (Fe – Grafit) dan diagram fase metastabil (Fe – Fe₃C), kedua diagram ini dapat dilihat pada (Gambar 3.1). Diagram fase Fe – Grafit dipergunakan dalam membahas besi tuang kelabu, sedangkan diagram baja (dan besi tuang putih) digunakan diagram fase Fe – Fe₃C. dengan membaca diagram fase Fe – Fe₃C ini dapat diketahui baja jenis apa dengan kadar karbon berapa apabila dipanaskan pada temperatur tertentu akan mengalami transformasi bentuk dengan laju pendinginan yang lambat. Dari diagram fase Fe – Fe₃C tampak bahwa antara karbida besi Fe – Fe₃C (sementit) dengan larutan padat γ (austenit) dapat membentuk campuran eutektik (ledeburit) dengan kadar karbon sekitar 4,3 % (reaksi eutektik terjadi pada suhu sekitar 1130 °C), dan dengan larutan padat α (ferit) membentuk campuran eutektoid (perlit) dengan kadar karbon sekitar 0,8 % (reaksi eutektoid terjadi pada suhu sekitar 723 °C). struktur perlit terdiri dari lamel-lamel ferit dan sementit berselang-seling.



Gambar 2. 1 Diagram Fase Besi-Karbon

(Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS)

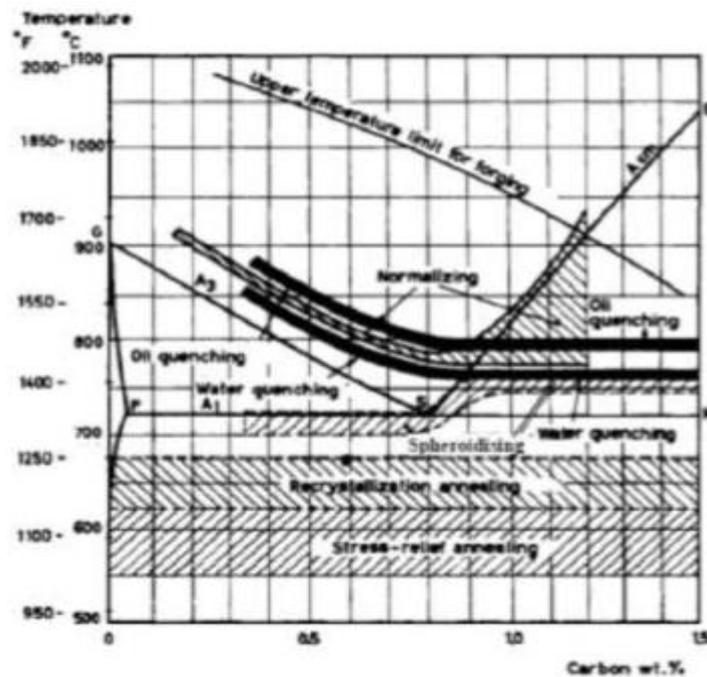
Perlu diketahui bahwa perubahan strukturmikro yang dijelaskan diatas adalah diperoleh dengan proses pendinginan yang ekuilibrium, yang sangat lambat. Struktur berbeda akan didapat bila baja mengalami proses pendinginan laju yang tidak sangat lambat, seperti halnya pada proses perlakuan panas. Temperatur pemanasan pada proses perlakuan panas biasanya dilakukan sampai menyentuh daerah austenite, oleh karena itu akan dibahas lebih lanjut beberapa perubahan (transformasi) yang terjadi selama pendinginan dan pemanasan dari dan ke arah austenite, baik dengan laju yang akuilibrium maupun yang nonekuilibrium.

2.2.5. Jenis-Jenis Perlakuan Panas

Jenis-jenis perlakuan panas pada material baja ada beberapa macam antara lain perlakuan panas *herdening*, *annealing*, *normalizing* dan *austempering*. Setiap jenis perlakuan panas mempunyai tujuan dan fungsi masing-masing. Untuk lebih jelasnya terkait tujuan dan fungsi dari masing-masing perlakuan panas akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

2.2.5.1.Herdening

Herdening (pengerasan) adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Bila kadar karbon diketahui, suhu pemanasannya dapat dibaca dari diagram fasa besi-karbon akan tetapi, bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Tujuan dari *herdening* sendiri adalah untuk mendapatkan material baja yang memiliki sifat keras, lebih kuat dan tahan aus. Di dalam proses *herdening* (pengerasan) proses pendinginan menjadi hal penting untuk diperhatikan. Proses pendinginan akan menghasilkan struktur martensit. Pendinginan dilakukan dengan cara mengeluarkan material uji dari dapur pemanasan (*furnace*) dan kemudian dilakukan pencelupan pada media pendingin yang dapat berupa air, minyak, maupun udara. Tingkat persentase kadar karbon juga mempengaruhi media pendinginan yang dilakukan. Baja karbon rendah dan karbon sedang, lazimnya dilakukan pencelupan dalam air. Laju pendinginan cukup cepat sehingga didapatkan struktur martensit. Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pencelupan, laju pendinginan tidak secepat air.

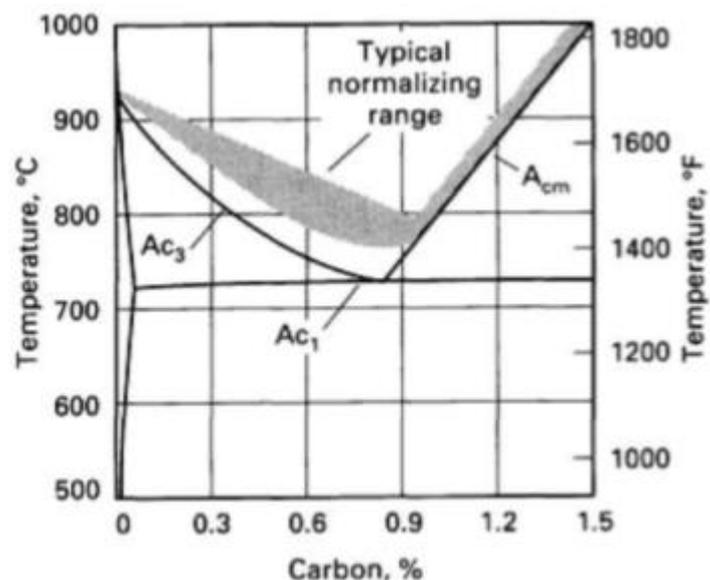


Gambar 2. 2 Temperatur *austenisasi* untuk pengerasan baja karbon

(Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS)

2.2.5.2. Normalizing

Proses *normalizing* terdiri dari pemanasan baja 10 sampai 400 C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. Proses ini biasanya diterapkan pada baja karbon rendah dan sedang atau baja paduan agar struktur butiran lebih merata atau untuk menghilangkan tegangan dalam atau untuk memperoleh sifat-sifat fisis yang diinginkan. Tujuan dari proses normalising antara lain untuk memperbaiki ketangguhan, menghaluskan butiran (terutama untuk baja yang akan dikeraskan), dan memperbaiki *machinability*.



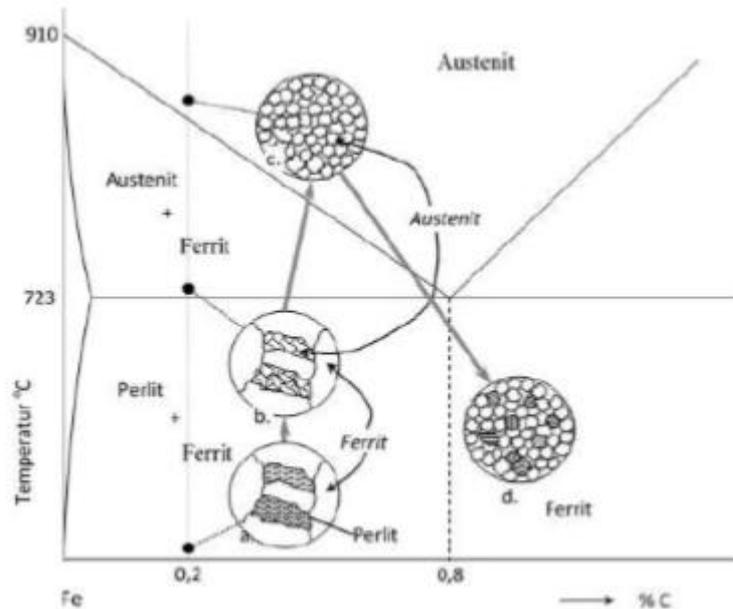
Gambar 2. 3 Temperatur Austenisasi Normalising baja karbon

(Sumber: ASM Metal Handbook, 2004)

2.2.5.3. Full Annealing

Anil adalah nama umum dari proses perlakuan panas yang dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur tertentu, lalu mendinginkannya secara perlahan. Seberapa tinggi temperatur dan seberapa tinggi laju pendinginannya, tergantung pada tujuan dan kondisi benda kerja. Anil dapat bertujuan untuk menghaluskan butiran, atau melunakkan, atau memperbaiki *machinability*. Juga dapat memperbaiki sifat kelistrikan dan kemagnitan. Seringkali anil juga dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki keuletan. Pada penelitian kali ini akan dilakukan full *annealing* atau anil sempurna, yaitu pemanasan dilakukan hingga ke daerah austenit (diatas A₃ untuk baja

hypoeutektoid, dan diatas A1 untuk baja hypereutektoid), pendinginan dilakukan dengan sangat lambat. Contoh dari proses anil sempurna dapat dilihat pada Gambar 2.4 tentang skema perubahan strukturmikro selama proses anil baja karbon 0,2 %.

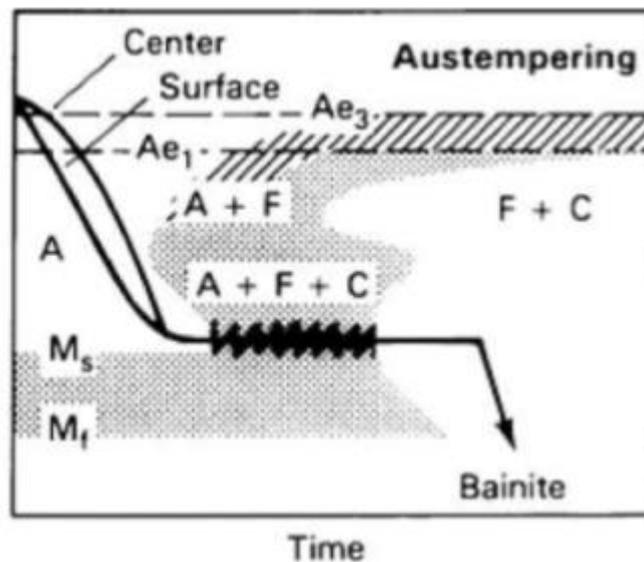


Gambar 2. 4 Skema perubahan selama proses anil baja 0,2 %C
(Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS)

2.2.5.4. Austempering.

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses tempering adalah proses pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Ada dua proses khusus di mana diterapkan pencelupan tertunda. Baja yang dikeraskan dicelup dalam dapur garam pada suhu yang lebih rendah sebelum didinginkan lebih lanjut. Proses tersebut bernama austempering dan Martempering, keduanya memungkinkan dihasilkan sifat-sifat khusus. Austenit mengalami transformasi isothermal dan berubah menjadi bainit yang keras. Benda atau bagian harus dicelup dengan cepat sampai mencapai suhu yang tepat, tanpa memotong ujung kurva diagram transformasi. Baja dibiarkan diatas garis Ms akan tetapi di bawah suhu 430 °C. Bila dibiarkan

cukup lama akan terbentuk struktur bainit. Di bawah mikroskop struktur bainit mirip dengan martensit, akan tetapi bainit lebih ulet dibandingkan dengan martensit temper. Proses ini diterapkan untuk benda yang lebih kecil.



Gambar 2. 5 Temperatur Austenisasi *Normalizing* baja karbon

(Sumber: ASM Metal Handbook, 2004)

2.2.6. Korosi

2.2.6.1. Definisi Korosi

National Association of Corrosion Engineers (NACE) International mendefinisikan korosi sebagai kerusakan atau degradasi sifat-sifat logam yang disebabkan oleh lingkungan korosif. (Chamberlain, J., dan Trethewey, KR. 1991) mengemukakan korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Supardi (1997) memberikan definisi bahwa korosi adalah proses perusakan bahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya. Dari ketiga definisi diatas dapat disimpulkan bahwa material yang terkorosi akibat kontak langsung dengan lingkungan sekitarnya akan mengalami penurunan mutu dan kualitas.

Berdasarkan teori kimia, pada suatu peristiwa korosi akan disertai oleh reaksi oksidasi dan reaksi reduksi atau biasa disebut sebagai reaksi redoks. (Chamberlain, J., dan Trethewey, KR. 1991) dalam bukunya mengungkapkan

korosi dapat terjadi apabila terpenuhinya 4 komponen dasar antara lain sebagai berikut:

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi oksidasi yang menghasilkan/melepaskan elektron. Sebagai contoh, reaksi oksidasi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut:



2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik. Sebagai contoh, reaksi reduksi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut:



3. Adanya hubungan (*metallic pathway*), dimana arus mengalir dari katoda ke anoda, sedangkan elektron mengalir dari arah sebaliknya.
4. Elektrolit, sebuah media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

2.2.6.2. Jenis-Jenis Korosi

Menurut Utomo (2009) terdapat beberapa jenis korosi yang dibedakan menurut penyebabnya yakni sebagai berikut:

1. Korosi tegangan (*stress corrosion*)

Korosi tegangan (*stress corrosion*) ini terjadi karena proses tegangan dan regangan dari suatu material yang rentan terhadap korosi bekerja secara terus-menerus yang juga bereaksi dengan lingkungan.

2. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran (*pitting corrosion*) adalah proses dimana korosi terjadi akibat komposisi dari suatu material tersebut tidak homogen dimana nantinya korosi tersebut timbul pada daerah batas dan beberapa tempat yang membentuk seperti sebuah rongga atau sumur.

3. Korosi seragam (*uniform corrosion*)

Korosi seragam (*uniform corrosion*) ini terjadi akibat adanya reaksi kimia karena pH air yang rendah dan lembab dengan material yang homogen sehingga mengakibatkan materialnya makin lama makin menipis.

4. Korosi galvanis (*bimetal corrosion*)

Korosi galvanis ini terjadi apabila 2 buah material yang memiliki beda potensial bertemu didalam satu media elektrolit secara langsung sehingga logam yang lebih anodik akan terkorosi. Proses tersebut mengakibatkan ion-ion positif dari logam anodik keluar karena kehilangan elektron.

5. Korosi kelelahan (*fatigue corrosion*)

Korosi kelelahan (*fatigue corrosion*) merupakan jenis korosi yang disebabkan oleh beban siklik pada suatu benda secara terus-menerus dan juga lingkungan yang mana akan mengakibatkan korosi hingga patah pada bagian yang terkena pembebanan tersebut.

6. Korosi erosi (*erosion corrosion*)

Korosi erosi (*erosion corrosion*) ini terjadi karena gerakan aliran fluida yang korosif terhadap suatu material yang dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller.

7. Korosi celah (*Crevice corrosion*)

Korosi celah (*Crevice corrosion*) ini terjadi ketika logam yang berdekatan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah-celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga kandungan oksigen pada bagian luar lebih besar daripada bagian dalam yang mana bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut jadi katodik sehingga terjadi korosi.

8. Korosi biologi (*biological corrosion*)

Korosi Biologi (*biological corrosion*) adalah proses korosi dimana penyebabnya ialah mikroorganisme antara lain mikroalga, jamur, alga dan protozoa. Korosi biologi termasuk salah satu jenis korosi yang sering ditemui pada kaki dermaga, tiang pancang bangunan laut, kapal dan penyebarannya juga sudah termasuk masif. Korosi jenis ini menjadi satu-satunya korosi yang disebabkan oleh makhluk hidup. Korosi biologi dibagi menjadi 2, antara lain:

❖ Korosi *microbiological*

Pada jenis *fouling* ini yang menjadi penyebab terbentuknya korosi adalah organisme yang berukuran kecil baik itu aerob maupun anaerob seperti mikroalga, alga, dan lainnya.

❖ Korosi *macrobiological*

Dalam jenis *fouling* ini, penyebabnya adalah organisme yang ukurannya cukup besar seperti kerang, jamur dan lainnya.

2.2.6.3.MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*)

Korosi ini disebabkan oleh aktifitas metabolisme mikroorganisme seperti mikroalga, mikroalga dan juga jamur yang mana menyebabkan berkurangnya daya tahan suatu material logam. Mikroalga maupun mikroalga ini dapat diklasifikasikan secara luas sebagai aerobik (membutuhkan oksigen untuk menjadi aktif) atau anaerob (oksigen beracun bagi mikroalga dan mikroalga). Korosi ini termasuk korosi yang cukup berbahaya, dikarenakan dapat terjadi pada kondisi range pH antara 4 hingga 9 dengan suhu lingkungan rata-rata 10° sampai 50° C.

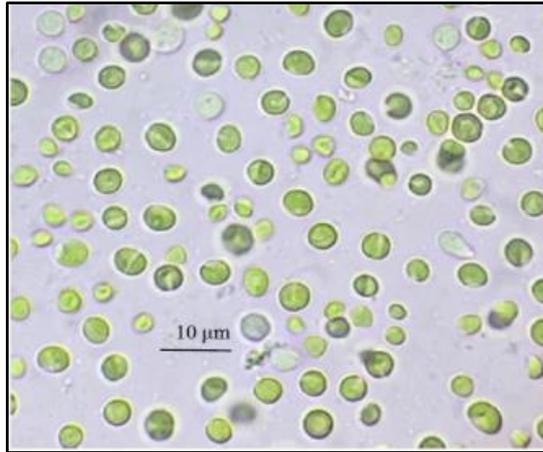
Application/System	Problem Components/Areas	Microorganisms
Pipelines/storage tanks (water, wastewater, gas, oil)	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas in the interior Exterior of buried pipelines and tanks, especially in wet clay environments 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic acid producers Sulfate reducing bacteria Iron/manganese oxidizing bacteria Sulfur oxidizing bacteria
Cooling systems	<ul style="list-style-type: none"> Cooling towers Heat exchangers Storage tanks 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic bacteria Metal oxidizing bacteria Slime forming bacteria Algae Fungi
Docks, piers, and other aquatic structures	<ul style="list-style-type: none"> Splash zone Just below low tide 	<ul style="list-style-type: none"> Sulfate reducing bacteria
Vehicle fuel tanks	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas 	<ul style="list-style-type: none"> Fungi
Power generation plants	<ul style="list-style-type: none"> Heat exchangers Condensers 	<ul style="list-style-type: none"> Aerobic and anaerobic bacteria Sulfate reducing bacteria Metal oxidizing bacteria
Fire sprinkler systems	<ul style="list-style-type: none"> Stagnant areas 	<ul style="list-style-type: none"> Anaerobic bacteria Sulfate reducing bacteria

Gambar 2. 6 Beberapa Tempat yang Dijadikan Tumbuhnya MIC

(Sumber : Lane, 2005)

2.2.6.4. Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*. *Chlorella vulgaris* adalah jenis mikroorganisme yang masuk kedalam filum Chlorophyta atau yang sering kita kenal sebagai mikroalga hijau (Kawaroe, *et.al*, 2010). *Chlorella vulgaris* merupakan mikroalga yang kosmopolit, terdapat di air payau, air laut, dan air tawar (Yudisti, 2010). Sel pada mikroalga ini berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter 2-10 μm , bergantung pada jenis spesiesnya. Selain tersusun atas selulosa, beberapa spesies *chlorella* mempunyai dinding sel yang juga tersusun atas sporopollenin. poropollenin juga terdapat pada spora dan serbuk sari yang merupakan suatu biopolimer dari karotenoid yang mempunyai kemampuan resisten yang luar biasa terhadap degradasi oleh enzim atau reagen-reagen kimia yang kuat (Zagarese, *et.al*, 2003).

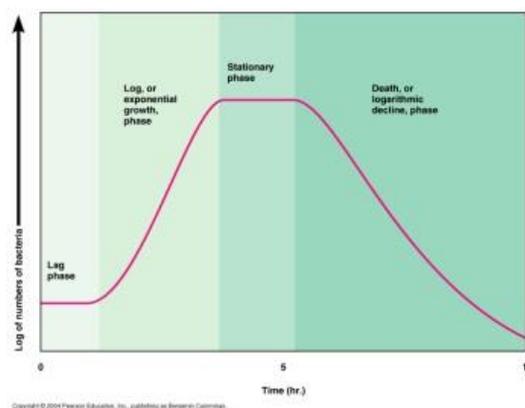


Gambar 2. 7 Chlorella vulgaris

Sumber : Ramaraj, *et.al*, 2014

2.2.6.5.Laju Pertumbuhan Mikroalga

Mikroalga memiliki waktu generasi yang singkat, umumnya dalam hitungan menit, jam, hari, ataupun minggu. Oleh karena itu populasi Mikroalga menjadi ganda setiap generasinya, maka jumlah mikroalga dapat meningkat secara cepat. Tipe waktu pertumbuhan mikroorganisme tidak berlangsung dalam periode waktu yang kontinyu, namun dipengaruhi oleh lingkungan dan nutrisi yang terkandung di dalamnya. Nutrisi ini sangat membantu pertumbuhan mikroalga (Pratikno dan Titah, 2017). Pertumbuhan mikroalga dapat digambarkan dengan kurva seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 8 Laju Pertumbuhan Mikroalga

(Sumber : Sarbini, 2012)

Menurut Sarbini (2012), kurva pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme dibagi dalam 4 fase:

1. Fase Penyesuaian (*lag phase*)

Fase ini mencakup interval waktu antara tahap penanaman dan saat tercapainya kecepatan pembelahan maksimum. Pada fase ini mikroalga melakukan sintesa molekul-molekul yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel serta enzim metabolisme yang diperlukan. Selain itu juga mikroalga mengalami penambahan ukuran sel. Lamanya fase ini bergantung pada kondisi pertumbuhan mikroalga.

2. Fase Pertumbuhan Eksponensial (*logarithmic phase*)

Pada fase ini, sel mikroalga mengalami proses pembelahan diri dengan laju yang sesuai dengan kemampuannya dalam menyerap nutrisi dari lingkungan. Populasi mikroalga bertambah dengan laju pertumbuhan maksimum dan berlipat ganda sebagai fungsi dari waktu generasinya. Karena kecepatan pembelahan diri relatif konstan, maka tahap ini paling cocok untuk menetapkan kecepatan pembelahan diri atau disebut juga laju pertumbuhan.

3. Fase Pertumbuhan Stasioner (*stationary phase*)

Fase stasioner ditandai dengan terhentinya pertumbuhan dari sel-sel. Kecepatan pertumbuhan tergantung dari kadar substrat, oleh karena itu menurunnya kecepatan pertumbuhan sudah terjadi ketika kadar substrat berkurang sebelum substrat habis terpakai. Dengan demikian pengalihan dari fase eksponensial ke fase stasioner terjadi berangsur-angsur. Selain keterbatasan substrat, ada juga faktor-faktor lain yang menyebabkan menurunnya kecepatan pertumbuhan. Faktor-faktor itu antara lain kepadatan populasi yang tinggi, tekanan parsial oksigen yang rendah dan timbunan produk metabolisme yang toksik. Pada fase stasioner, bahan-bahan simpanan masih dapat digunakan sebagian ribosom dapat diuraikan dan masih ada pembentukan enzim. Hanya sel yang amat rentan saja yang cepat mati. Selama energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan sel-sel masih dapat diperoleh dengan respirasi bahan simpanan dan protein, mikroalga masih mampu mempertahankan hidup untuk masa yang panjang. Pada fase stasioner, konsentrasi biomassa mencapai maksimum.

4. Fase Kematian (*death phase*)

Fase kematian ditandai dengan berkurangnya jumlah sel hidup (*viable*) dalam media akibat terjadinya kematian (*mortalitas*). Jumlah sel hidup dapat berkurang secara eksponensial. Hal ini disebabkan karena tidak adanya lagi substrat yang dapat mendukung pertumbuhan mikroalga ataupun karena akumulasi produk samping metabolisme yang bersifat toksik.

2.2.6.6.Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya korosi pada material sehingga menurunkan mutu dan kualitas material tersebut. Untuk mengetahui mutu dan kualitas material terhadap ketahanan korosi maka perlu dilakukan uji laju korosi. Dari hasil pengujian laju korosi maka dapat disimpulkan apakah material masih dalam kondisi bagus atau tidak. (Fontana, 1987) dalam bukunya menjelaskan ketahanan terhadap korosi pada material umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1-200 mpy. Dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Fontana, 1987) mengklasifikasikan tingkat ketahanan material terhadap laju korosi dimulai dari yang paling baik ketahanannya sampai yang paling buruk.

Tabel 2. 2 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi (Fontana, 1987)

Relative corrosion resistance	Approximate metric equivalent				
	mpy	$\frac{mm}{yr}$	$\frac{\mu m}{yr}$	$\frac{nm}{hr}$	$\frac{pm}{sec}$
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 150	20 - 50
Poor	50 - 200	1 - 5	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
Unacceptable	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

(Sumber: Fontana, 1987)

Menghitung laju korosi suatu material pada dasarnya ada dua metode yang dapat dipakai, yaitu metode elektrokimia dan metode kehilangan berat (*weight loss*). Metode elektrokimia adalah metode uji laju korosi dengan menggunakan sel

elektrokimia (sel tiga elektroda) dengan memberikan potensial pada benda uji sehingga terjadi proses korosi. Kelebihan metode ini adalah jumlah laju korosi dapat langsung diketahui dengan cepat. Metode kehilangan berat adalah metode perhitungan laju korosi dengan mengukur berat yang hilang akibat terjadi korosi. Metode ini memerlukan rentan waktu penelitian untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat proses korosi. Dalam penelitian ini akan digunakan metode kehilangan berat dalam menghitung laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Mengacu pada (ASTM G1-90, 1999) rumus untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi (mmpy)} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan keterangan:

W = Kehilangan berat (g)

K = Konstanta (mpy = 3,45 x 106)

D = Kerapatan benda uji (g/cm³)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm²)

T = Waktu exposure (Jam)

Dalam aplikasinya nanti material yang sudah di uji korosi akan diukur beratnya dan dihitung selisih antara berat awal dan berat sesudah dilakukan uji korosi. Selisih berat tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam persamaan 2.3 untuk mendapatkan nilai laju korosi. Metode ini sering digunakan dalam proses menentukan laju korosi dikarenakan aplikasinya yang mudah dan lebih baik.

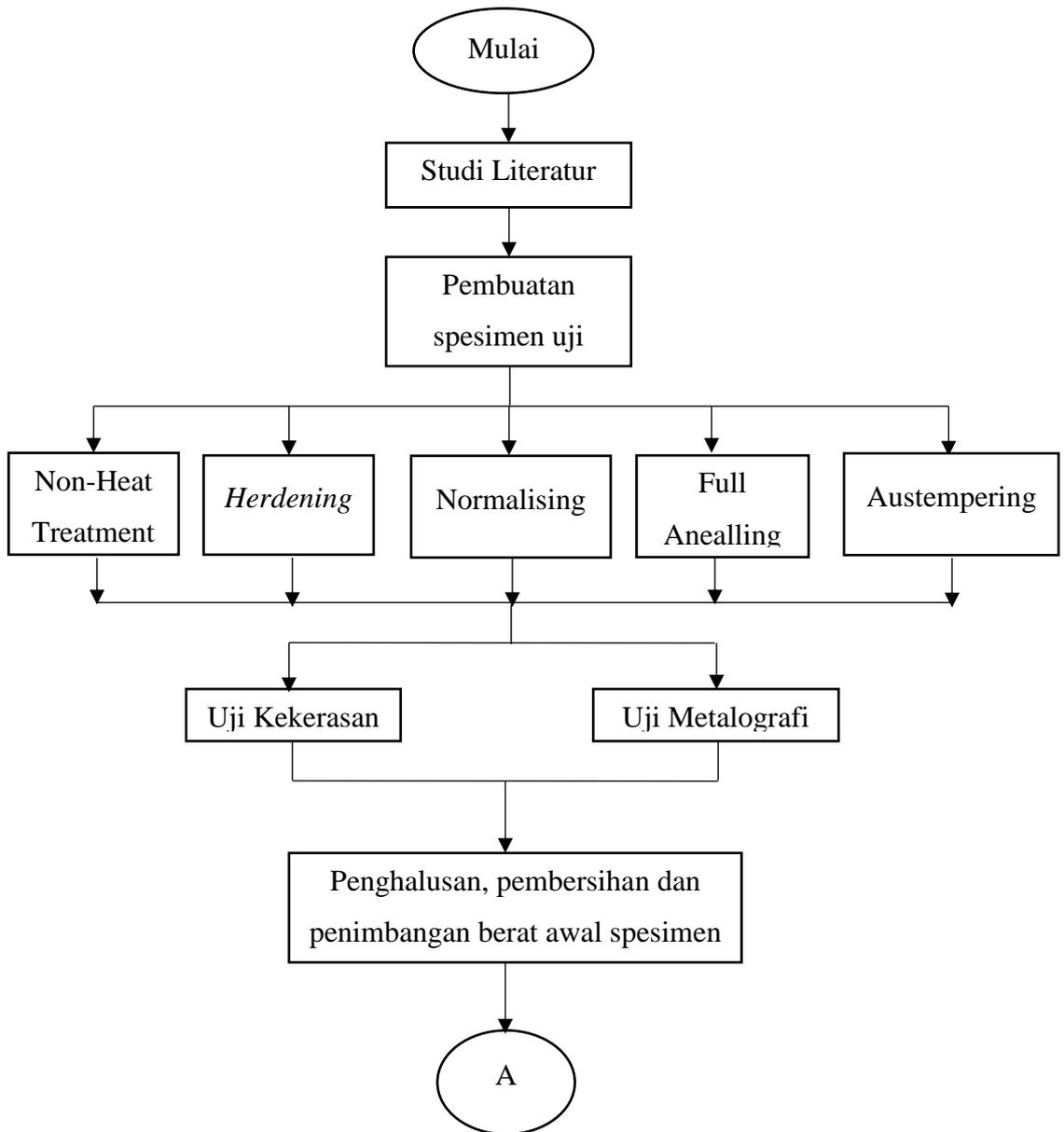
Halaman ini sengaja dikosongkan

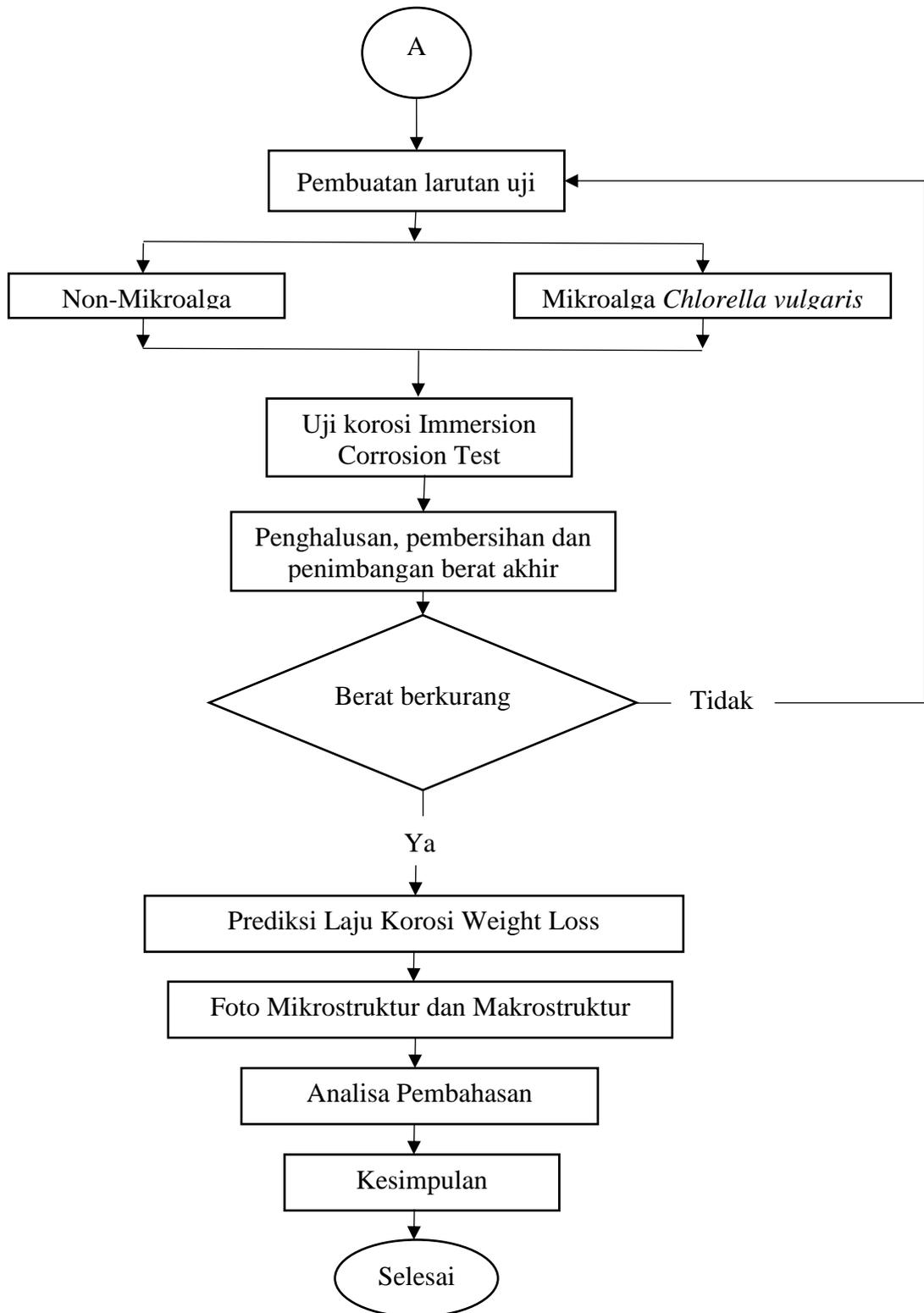
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah seperti yang dijelaskan dengan Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1. Studi literatur

Di dalam melakukan penelitian ini Penulis terlebih dahulu melakukan studi literatur dari berbagai macam sumber yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir ini. Sumber-sumber yang dijadikan referensi antara lain berupa buku, jurnal, code (standar), serta laporan tugas akhir. Studi literatur diperlukan agar penelitian yang dilakukan oleh penulis sesuai dengan prosedur dan kaidah ilmiah yang baik dan benar.

3.2.2. Pembuatan Spesimen Uji

Sebelum dilakukan pengujian korosi pada material baja ASTM A53, langkah pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan spesimen uji yang siap untuk dilakukan pengujian korosi. Specimen uji dipersiapkan dengan mengacu pada standar (ASTM G1-90, 1999). Ukuran spesimen uji disesuaikan dengan kebutuhan pada saat dilakukan pengujian. Setelah itu spesimen uji ditimbang dan diukur dimensi luas permukaannya. Setelah specimen uji siap maka pengujian tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas dapat dilakukan didalam mesin furnace, pengujian dengan perlakuan panas meliputi pengujian *herdening*, *normalizing*, *full anelling*, dan *austempering*. Setelah dilakukan perlakuan panas pada spesimen uji selanjutnya dilakukan uji metalografi dan uji kekerasan untuk mengetahui struktur mikro dan perubahan kekerasan pada spesimen uji sudah sesuai atau belum.

1. Material Baja ASTM A53

Material baja yang akan digunakan sebagai spesimen uji adalah baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang biasa di desain sebagai sarana untuk mendistribusikan minyak bumi maupun gas. Sebelum dilakukan pemotongan material, baja ASTM A53 yang didapatkan berbentuk silinder.



Gambar 3. 2 Baja ASTM A53

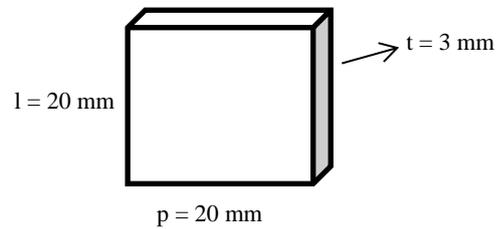
2. Pemotongan Material

Tahapan selanjutnya adalah pemotongan material yang akan digunakan untuk spesimen uji. Mengacu pada penelitian yang dilakukan Pratikno, H. dan Titah, H.S. (2017) yang berdasarkan American Society of Mechanical Engineers (ASME) material dipotong dengan luas area $+2 \text{ cm}^2$. Material baja dipotong berbentuk silinder-silinder kecil dengan dimensi tinggi 20 mm, diameter luar (D) 34 mm, diameter dalam (d) 27 mm dan tebal (t) 3 mm. Ukuran tersebut dibuat untuk menyesuaikan wadah yang digunakan untuk pecelupan. Berdasarkan (ASTM G31-72, 2004) dimana volume larutan minimal untuk merendam sebuah sampel adalah 0,4 kali luas permukaan sampel. Material dipotong sebanyak 10 buah dengan rincian 2 untuk spesimen uji *non-heat treatment*, 2 untuk spesimen uji *heat treatment* jenis *hardening*, 2 untuk spesimen uji *heat treatment* jenis *normalizing*, 2 untuk spesimen uji *heat treatment* jenis *full annealing*, dan 2 untuk spesimen uji *heat treatment* jenis *austempering*.

Proses pemotongan dilakukan di laboratorium metalurgi departemen teknik mesin FTI-ITS. Sebelum dilakukan pemotongan terlebih dahulu spesimen ditandai dengan marker sebanyak 10 titik dengan jarak antar titik 15 mm. Setelah material selesai ditandai selanjutnya dilakukan pemotongan dengan mesin pemotong besi sampai seluruh titik yang ditandai terpotong. Langkah selanjutnya adalah membersihkan pinggiran material spesimen uji dengan cara digirinding dengan mesin gerinda yang sudah diberikan resibon. Hal ini bertujuan agar tepi-tepi material tidak tajam dan menjadi halus dan korosi yang terjadi tidak terkonsentrasi dibagian tertentu saja.



Gambar 3. 3 Proses Pemotongan Spesimen Uji



Gambar 3. 4 Dimensi Spesimen yang telah dipotong

3. Spesimen Uji Awal

Hasil akhir dari proses pemotongan material spesimen uji adalah didapatkan spesimen awal yang nantinya siap untuk dilakukan proses perlakuan panas sampai proses terakhir yaitu pengujian korosi.

3.2.3. Perlakuan Panas

1. Tanpa Perlakuan Panas

Dari ke-10 spesimen awal yang disiapkan selanjutnya diambil 2 spesimen awal untuk kategori material tanpa perlakuan panas. dua spesimen ini nantinya akan dilakukan pengujian-pengujian selanjutnya meliputi uji kekerasan, metalografi, uji korosi, foto makro dan mikro struktur. Hal ini bertujuan sebagai pembanding dengan material lain yang diberikan perlakuan panas dengan variasi yang berbeda-beda.

2. Perlakuan Panas Herdening

Perlakuan panas yang pertama adalah *herdening* (pengerasan) adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan cepa. Pada penelitian ini *Herdening* dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan *holding time* 15 menit. Merujuk pada (ASM Hand Book, 2004) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan secara cepat didalam air. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fase austenite menjadi martensit yang memiliki sifat kuat tetapi getas (Budinski, 1999).

3. t. Perlakuan Panas Normalizing

Perlakuan panas yang kedua adalah *Normalizing* adalah proses pemanasan baja 10 sampai $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. Pada penelitian ini *Normalizing* dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan *holding time* 15 menit. Merujuk pada (ASM Hand Book, 2004) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu $845\text{ }^{\circ}\text{C}$ selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan lambat di udara yaitu dengan mengeluarkan material yang telah dipanaskan dari mesin pemanas (*furnace*) dan ditunggu sampai suhu material mencapai suhu kamar. Ditunjukkan dalam metal hand book volume 1 ASM (1991) bahwa perlakuan panas ini bertujuan untuk memperhalus ukuran butiran dan menghasilkan distribusi ukuran butir yang seragam dari pearlite dan ferrite.

4. Perlakuan panas Full Annealing

Perlakuan panas yang ketiga adalah *Full Annealing* adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan sangat lambat didalam dapur pemanas. Pada penelitian

ini *full Annealing* dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 845 °C dengan *holding time* 15 menit. Merujuk pada (ASM Hand Book, 2004)) suhu untuk melakukan proses *Full annealing* berkisar antara 750 - 850 °C. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 °C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan dengan sangat lambat. Pendinginan dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) sampai mencapai suhu kamar. Struktur mikro yang dihasilkan dari perlakuan panas jenis *Full Annealing* adalah berupa pearlit dan ferite.

5. Perlakuan Panas Austempering

Perlakuan panas yang keempat adalah *Austempering* adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan didalam *Salt Bath*. Pada penelitian ini Austempering dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 845 °C dengan *holding time* 15 menit. Merujuk pada (ASM Hand Book, 2004) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845 °C sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 °C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit. Setelah dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit selanjutnya material dikelaurkan dari dalam dapur pemanas (*furnace*) dan dilanjutkan dengan pendinginan didalam salt bath dengan suhu 300 °C dan dengan waktu penahanan selama 60 menit. Hal ini bertujuan untuk menghasikan struktur mikro jenis bainite.

3.2.4. Uji Kekerasan

Setelah dilakukan proses *heat treatment* langkah selanjutnya adalah melakukan uji kekerasan untuk mengetahui material yang di heat treatment nilai kekerasan sudah sesuai apa belum. Proses pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Prosedur yang harus dilakukan sebelum dilakukan uji kekerasan adalah terlebih dahulu dilakukan girinding pada material spesimen uji. Girinding dilakukan dengan menggunakan mesin girinding. Nomor amplas yang digunakan yaitu #80, 240#,

400#, 600#, 800#, 1000#, 1200#, 1500#, 2000#. Girinding bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus supaya saat dilakukan uji kekerasan dapat diperoleh hasil yang maksimal. Merujuk pada (ASME E92,1997) untuk beban uji yang digunakan adalah 100 kgf dengan waktu indentor 10 sekon. Pengujian dilakukan pada 3 titik untuk tiap-tiap spesimen untuk selanjutnya dilakukan rata-rata nilai kekerasan pada setiap spesimen. Proses saat dilakukan pengujian kekerasan dapat dilihat pada (Gambar 3.5).



Gambar 3. 5 Alat Uji Kekerasan Micro Vickers

3.2.5. Uji Metalografi

Setelah material dilakukan uji kekerasan tahapan selanjutnya adalah dilakukan uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro material. Adapun tahapan untuk melakukan uji metalografi adalah sebagai berikut :

1. Gerinding dan Poles (*Polishing*).

Proses girinding pada material spesimen uji, adalah material digosok dengan mesin girinding dan kertas gosok. Kertas gosok yang digunakan adalah grid 1500#, 2000# hal ini dikarenakan pada saat dilakukan pengujian kekerasan material sudah digosok dari grid 80# – 2000#, sehingga material sudah cukup halus. Selanjutnya material dipoles dengan menggunakan kain wol serta diberikan alumina cair hingga material mengkilap seperti kaca.

2. Etsa (*Etching*)

Etsa dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan permukaan yang dapat diamati dengan mikroskop optis. Caranya adalah dengan membuat terlebih dahulu

larutan etsa yang disebut “nital”. Nital adalah campuran antara 96 ml alkohol dan 4 ml asam nitrat. Setelah larutan etsa siap maka permukaan spesimen uji yang akan diamati dicelupkan kedalam larutan etsa selama kurang lebih 3-5 detik, selanjutnya dibilas dengan air mengalir dan dibersihkan dengan tisu.

3. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik

Setelah dilakukan etsa langkah selanjutnya adalah pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan computer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Perbesaran yang digunakan adalah 50x dan 100x. Pengamatan dilakukan pada material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas, total ada 5 spesimen yang dilakukan pengamatan struktur mikronya mewakili tiap-tiap spesimen yang lain.



Gambar 3. 6 Alat Mikroskop Optik

3.2.6. Penghalusan permukaan spesimen uji

Material spesimen uji yang sudah dipickling kemudian di gosok dengan kertas gosok grid #120 (ASTM G 31-72, 2004) dengan mesin grindhing. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang halus serta menghilangkan kerakkerak yang masih menempel.

3.2.7. Pembersihan spesimen uji dan penimbangan berat awal.

Tahapan selanjutnya adalah pembersihan material spesimen uji dan penimbangan berat awal. Pembersihan dilakukan dengan air dan kemudian dikeringkan dengan tisu. Proses penimbangan berat material spesimen uji dilakukan

dengan menggunakan timbangan analitik yang dimiliki Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan FTSLK-ITS. Berat awal yang diperoleh nantinya akan digunakan sebagai data untuk menghitung nilai laju korosi.

3.2.8. Foto Makrostruktur

Setelah proses pembersihan spesimen uji dan penimbangan berat awal selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah melakukan foto makrostruktur. Foto makrostruktur dilakukan dengan mikroskop menggunakan perbesaran 4.7x. foto makrostruktur ini dilakukan sebelum dan sesudah pengujian korosi. Hal ini bertujuan sebagai pembanding hasil dari penelitian yang dilakukan.

3.2.9. Spesimen Uji Siap

Setelah material spesimen uji melewati berbagai tahapan persiapan mulai pemotongan sampai foto makro, selanjutnya diperoleh material spesimen uji yang siap untuk dilakukan pengujian korosi dengan metode perendaman (*Immersion Corrosion Test*).

3.2.10. Persiapan Bahan dan Peralatan Uji

Sebelum dilakukan pengujian biokorosi mikroalga pada baja ASTM A53, langkah pertama yang harus dilakukan untuk penelitian kali ini adalah mempersiapkan bahan untuk larutan ujinya. Peralatan yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu adalah:

1. *Beaker Glass*
2. *Erlenmeyer Tube*
3. *Micro Pipet*
4. Tisu
5. Gunting
6. *Auto clave device*
7. *Alat Centrifuge*
8. *Tabung Centrifuge*
9. Spektrofometer
10. *Micro Pipet*

11. Air Laut Buatan dengan salinitas 3,5%

12. Mikroalga *Chlorella vulgaris*

3.2.11. Persiapan mikroalga uji

Mikroalga yang digunakan pada penelitian kali ini ialah mikroalga *Chlorella vulgaris*. Pada mikroalga sendiri mempunyai fase dari mulai tumbuh hingga mati yang berbeda-beda. Biasanya sekitar 7 hari hingga 1 bulan. Tahap pertama dalam persiapan mikroalga kali ini ialah menumbuhkan mikroalga tersebut dalam skala laboratorium. Pertama-tama peralatan yang diperlukan antara lain:

1. *Beaker Glass* yang sudah diisi dengan larutan NaCl (air laut buatan) 600 ml dengan salinitas 3,5%, lalu ditutup atasnya dengan kertas aluminium foil selanjutnya dimasukkan kedalam *autoclave* untuk proses pensterilan wadah dan larutan NaCl
2. Setelah steril itu mikroalga dicampur dengan media air laut buatan dengan perbandingan 30 mikroalga *Chlorella vulgaris* :70 media air laut buatan. Pencampuran keduanya juga dilakukan pada alat Laminar air flow yang menjaga kesterilan media pada proses inokulasi mikroalga *Chlorella vulgaris* juga membutuhkan vitamin guna mempercepat pertumbuhan (masing-masing 0,6 mL walne dan 0,6 mL vitamin B12)
3. Setelah ditambahkan vitamin lalu dimasukkan selang aerator untuk mengaduk vitamin dan aerator untuk sumber udara yang dikeluarkan. Setelah itu ditutup lagi dengan plastik dan juga memberikan udara kedalam *Beaker Glass*. Masa pertumbuhan mikroalga biasanya berbeda-beda tergantung dengan tempat tumbuhnya, vitamin yang digunakan, kondisi pencahayaan nya yang baik jika ditumbuhkan dalam skala lab antara lain 6000-7000 lux diukur menggunakan lux meter, pH, dan juga suhu ruangan.

3.2.13. Persiapan Larutan Uji

Sebelum dilakukan uji korosi pada tahap selanjutnya, terlebih dahulu harus dipersiapkan larutan uji sebagai pengganti air laut untuk melakukan uji korosi. larutan uji yang akan digunakan yaitu larutan uji salinitas 3,5%. Jumlah larutan uji yang akan digunakan untuk pengujian korosi dengan metode perendaman (*immersion test*) mengacu pada (ASTM G31-72, 2004). Perhitungan jumlah larutan untuk perendaman minimal dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Volume Larutan} = (0.2 \text{ s.d } 0.4) \times \text{Luas permukaan} \dots \dots \dots (3.1)$$

Untuk menentukan jumlah volume larutan yang digunakan terlebih dahulu harus dihitung volume larutan sesuai persamaan 3.1. luas permukaan harus juga dihitung agar volume larutan dapat diketahui. Formula untuk mencari luas permukaan pada spesimen uji adalah sebagai berikut:

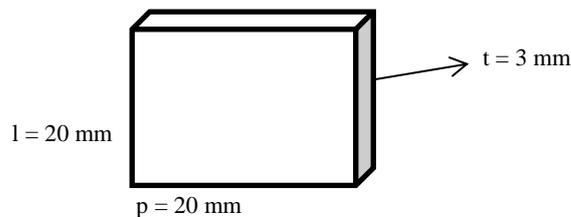
$$\text{Luas permukaan} = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

p = panjang spesimen (mm)

l = lebar spesimen (mm)

t = tebal spesimen (mm)



Setelah didapat ukuran spesimen uji maka jumlah volume larutan dapat dicari dengan persamaan 3.1 dengan terlebih dahulu mencari luas permukaan dengan persamaan 3.2.

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan} &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) \\ &= (2 \times 20 \times 20) + (2 \times 20 \times 3) + (2 \times 20 \times 3) \\ &= 1.040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Larutan} &= (0,2 \text{ s.d. } 0,4) \times \text{Luas permukaan} \\ &= (0,2 \times 1.040) \text{ s.d. } (0,4 \times 1040) \\ &= 208 \text{ ml s.d. } 416 \text{ ml (menggunakan 208 ml)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penambahan 10\% mikroalga} &= 10\% \times \text{Volume larutan} \\ &= 10\% \times 208 \text{ ml} \\ &= 20,8 \text{ ml} \end{aligned}$$

Larutan kimia pengganti air laut yang digunakan adalah NaCl karena komposisi NaCl paling dominan, maka untuk komposisi lain dapat diabaikan yang mengacu pada (ASTM D1 141-90, 2003). Komposisi kimia larutan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut (ASTM D1 141-90, 2003)

Solution	Concentration g L ⁻¹
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
Kcl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba(NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

^AChlorinity: 19.38, ^BpH (after suitable with 0.1 N sodium hydroxide): 8.2

3.2.14. Pengujian Biokorosi Mikroalga

Pengujian korosi ini dilakukan dengan cara *immersion corrosion test*, dimana spesimen uji yaitu baja ASTM A53 direndam pada air laut buatan dengan salinitas 3,5 % yang sudah ditambahkan mikroalga. Ketika spesimen logam direndam dalam media konduktif, kemampuan media untuk membawa arus akan mempengaruhi besarnya arus galvanik dan korosi yang terjadi (M. I. AI-Hazzaa dan M. O. AI-Abdullatif, 2009). Kemudian dicatat ketahanan korosi spesimen uji tersebut. Setiap variasi elektroda mendapatkan perlakuan yang sama.

Prosedur pengujian korosi adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan larutan uji pengganti air laut dengan salinitas 3,5 % mengacu pada (ASTM D1 141-90,2003).
2. Menambahkan mikroalga *Chlorella Vulgaris* pada larutan uji.
3. Setelah larutan uji siap spesimen dimasukkan dalam larutan selama 7 hari, dengan pencatatan laju korosi setiap hari.

4. Spesimen uji kemudian ditimbang sebelum dan sesudah pengujian untuk menghitung *weight loss* atau berat yang hilang akibat korosi dengan ukuran spesimen 20x20x3 mm.

3.2.15. Prediksi Laju Korosi

Prediksi laju korosi dilakukan dengan metode *weight loss* atau kehilangan berat. Perhitungan laju korosi dapat dilakukan setelah proses perendaman selesai dilakukan. Metode *weight loss* atau kehilangan berat mengacu pada (ASTM G1-90, 1999).

$$\text{Laju korosi (mmpy)} = \left(\frac{K \times W}{D \times A \times T} \right) \times 0,0254 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

W = Kehilangan berat (g)

K = Konstanta (mpy = $3,45 \times 10^6$)

D = kerapatan benda uji (g/cm^3)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm^2)

T = Waktu exposure (Jam)

3.2.16. Pengamatan struktur mikro dan makro

Setelah dilakukan percobaan dilakukan pengamatan struktur mikro dan makro menggunakan kamera sebelum dan sesudah percobaan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan spesimen uji material baja ASTM A53.

3.2.17. Analisis dan Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan yang dilakukan luaran yang diharapkan adalah mengetahui tingkat korosifitas baja ASTM A53 akibat perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas dalam salinitas 3,5 ‰. Sehingga nantinya dapat disimpulkan dengan perlakuan panas (*Heat Treatment*) jenis manakah suatu material memiliki ketahanan laju korosi dengan penambahan mikroalga yang paling baik.

3.2.18. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan perumusan masalah dalam penelitian ini dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh heat treatment terhadap ketahanan biokorosi material baja ASTM A53 di lingkungan laut. Spesimen uji yang dibutuhkan pada penelitian ini sebanyak 15 spesimen uji masing-masing dengan rincian 3 spesimen uji tanpa perlakuan panas, 3 spesimen uji dengan perlakuan panas *hardening*, 3 spesimen uji dengan perlakuan panas *normalizing*, 3 spesimen uji dengan perlakuan panas *full annealing*, dan 3 spesimen uji dengan perlakuan panas *austempering*. Setelah dilakukan proses heat treatment akan dilakukan pengujian kekerasan dan metalografi. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro spesimen uji agar sesuai dengan target yang telah ditentukan. Selanjutnya akan dilanjutkan proses uji korosi dengan cara *immersion corrosion test* pada air laut buatan dengan salinitas 3,5 % yang sudah ditambahkan mikroalga untuk mendapatkan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen uji.

4.1. Perlakuan Panas Hardening

Pada penelitian ini perlakuan panas *hardening* dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) dengan suhu 845 °C dan holding time 15 menit. Merujuk pada (ASM hand book vol 4 heat treating) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845 °C sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Pemilihan waktu *holding time* 15 menit didasarkan pada material yang digunakan adalah baja paduan rendah yang pada umumnya membutuhkan waktu *holding time* 5-15 menit (Karl-Erik Thelning.1984). Pendinginan dilakukan dengan cepat dengan menggunakan media pendingin berupa air. Pendinginan cepat dengan media air (*quenching*) akan mengubah austenit dan menghasilkan struktur martensit (Bryson, william E. 2015)



Gambar 4. 1 Perlakuan Panas Hardening

4.2. Perlakuan Panas Normalizing

Pada penelitian ini perlakuan panas *normalizing* dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) dengan suhu 845°C dan holding time 15 menit. Merujuk pada (ASM hand book vol 4 heat treating) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845°C sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Pemilihan waktu holding time 15 menit didasarkan pada material yang digunakan adalah baja paduan rendah yang pada umumnya membutuhkan waktu holding time 5-15 menit (Karl-Erik Thelning, 1984). Pendinginan dilakukan diudara dengan mengeluarkan material dari dapur pemanas (*furnace*) lalu dilakukan pendinginan secara perlahan-lahan sampai mencapai suhu kamar. Pada pemanasan akan merubah struktur austenit menjadi ferrit dan pearlite. Pearlite yang terbentuk biasanya menjadi halus.



Gambar 4. 2 Perlakuan Panas Normalizing

4.3. Perlakuan Panas Full Annealing

Pada penelitian ini perlakuan panas *full annealing* dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) dengan suhu 845 °C dan holding time 15 menit. Merujuk pada (ASM hand book vol 4 heat treating) suhu untuk melakukan proses Full Annealing berkisar antara 750-850 °C. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 °C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan dengan sangat lambat. Pendinginan dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) sampai mencapai suhu kamar. Pemilihan waktu *holding time* 15 menit didasarkan pada material yang digunakan adalah baja paduan rendah yang pada umumnya membutuhkan waktu holding time 5-15 menit (Karl-Erik Thelning, 1984). Struktur mikro yang dihasilkan dari perlakuan panas jenis *full annealing* adalah berupa perlit dan ferit.



Gambar 4. 3 Perlakuan panas Full Annealing

4.4. Perlakuan Panas Austempering

Pada penelitian ini perlakuan panas *austempering* dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*) dengan suhu 845 °C dan holding time 15 menit. Merujuk pada (ASM hand book vol 4 heat treating) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845 °C sudah masuk dalam temperatur A3 dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 °C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan didalam *salt bath* dengan suhu 300 °C dan waktu *holding time* 60 menit. Pemilihan waktu holding time 60 menit bertujuan untuk mencapai stage 1

dimana struktur mikro yang dihasilkan yaitu berupa bainite. Fase austenite akan terdekomposisi menjadi fase bainit dengan karakter bainit yang keras tetapi ulet.



Gambar 4. 4 Perlakuan Panas Austempering

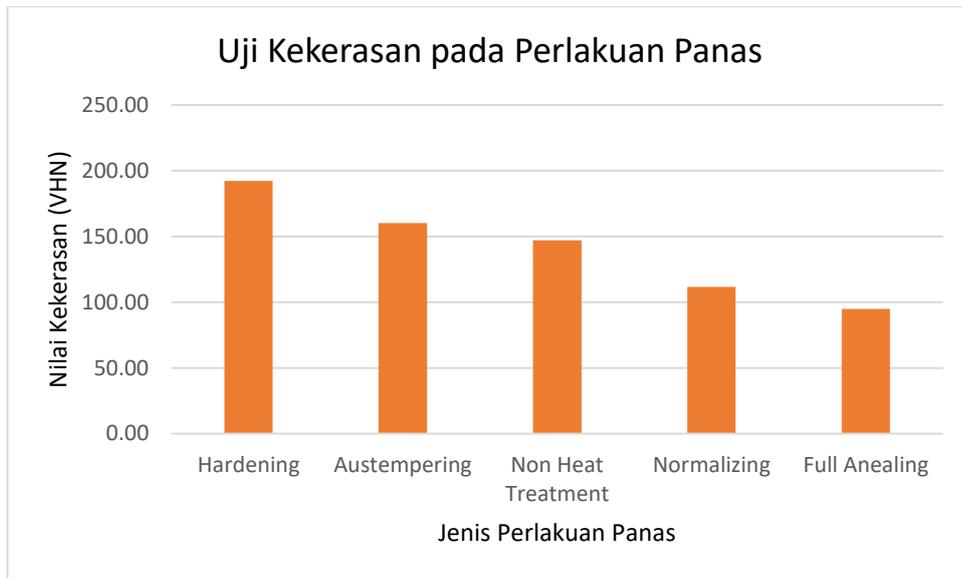
4.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknin Material dan Metalurgi FTI ITS. Pengujian tersebut dilakukan setelah Heat Treatment pada 15 spesimen uji. Dari 15 spesimen uji tersebut diambil 5 sampel masing-masing mewakili setiap jenis heat treatment. Dilakukan pengujian kekerasan terhadap 3 titik pada masing-masing jenis material Heat Treatment untuk didapatkan rata-ratanya. Metode yang digunakan untuk menguji kekerasan adalah Micro-Vickers. Nilai kekerasan disimbolkan dengan satuan HV (Hardness Vickers). Nilai hasil uji kekerasan material spesimen baja ASTM A53 dapat dilihat di dalam tabel berikut ini.

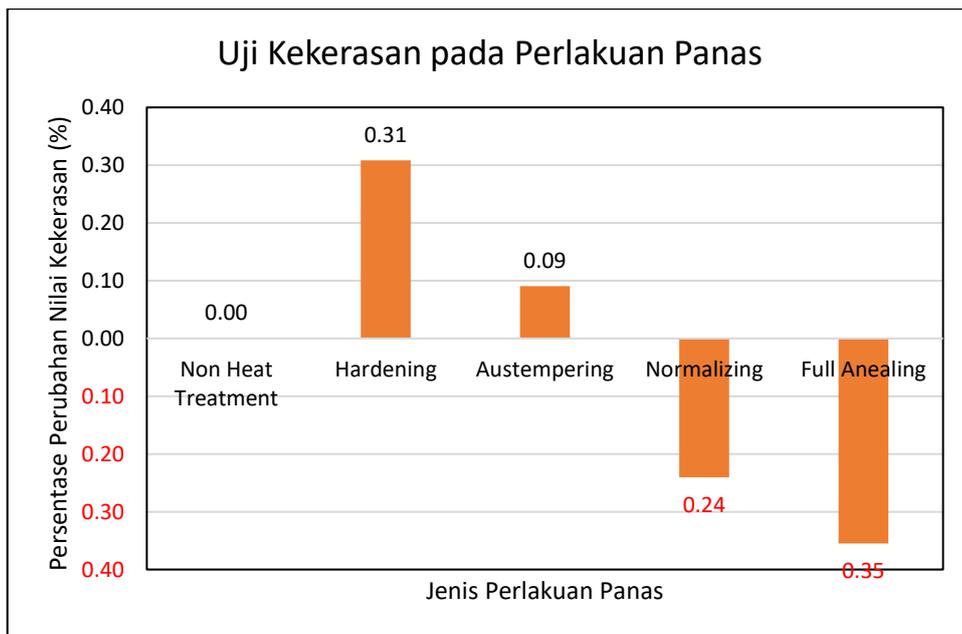
Tabel 4. 1 Pengujian Kekerasan Material Baja ASTM A53

Material Test	Micro Vickers Hardness Number (Micro VHN)			Average	Perubahan Nilai Kekerasan Terhadap Material Tanpa Perlakuan Panas	Persentase Perubahan Nilai Kekerasan Terhadap Material Tanpa Perlakuan
	1	2	3			
Hardening	191	196	190	192.33	45.33	31%
Austempering	160	163	158	160.33	13.33	9%
Non Heat Treatment	148	146	147	147.00	0.00	0%
Normalizing	112	115	108	111.67	-35.33	-24%
Full Annealing	98.3	93.3	92.9	94.83	-52.17	-35%

Selanjutnya hasil uji kekerasan vikers dibentuk grafik seperti berikut.



Gambar 4. 5 Diagram Uji Kekerasan pada Perlakuan Panas



Gambar 4. 6 Diagram Perbandingan Uji Kekerasan pada material tanpa Perlakuan Panas

Hasil uji kekerasan dapat disusun menurut tingkat kekerasan tertinggi ke yang terendah yaitu *hardening*, *austempering*, *non heat treatment normalizing*, *full annealing*. Untuk penjelasan mengenai analisa dapat dijelaskan sebagai berikut.

4.5.1. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Hardening

Dari grafik 4.5 di atas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi yaitu pada perlakuan panas *Hardening* yaitu 191 VHN, 196 VHN, 190 VHN. Setelah dilakukan pendinginan cepat maka kekerasannya semakin bertambah. Penambahan nilai kekerasan ini mencapai 31% dari nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Hal ini sesuai dengan tujuan dari perlakuan panas jenis *hardening* yaitu mencapai nilai kekerasan maksimum dengan struktur mikro yang dihasilkan berupa martensit yang mempunyai sifat keras dan getas.

4.5.2. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Austempering

Pada perlakuan panas jenis *austempering* memiliki nilai kekerasan sebesar 160 VHN, 163 VHN, 158 VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *austempering* ini mengalami penambahan sebesar 9% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Namun nilai kekerasan perlakuan panas jenis *austempering* lebih kecil dari nilai kekerasan *hardening* karena didinginkan cepat di dalam salt bath yang bersuhu 300 °C selama 60 menit hal ini dikarenakan struktur mikro yang terbentuk untuk jenis perlakuan panas ini adalah bainite, dimana bainite mempunyai sifat yang keras akan tetapi ulet.

4.5.3. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Normalizing

Pada perlakuan panas jenis *normalizing* memiliki nilai kekerasan sebesar 112 VHN, 115 VHN, 108 VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *normalizing* ini mengalami penurunan sebesar 24% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan ini lebih rendah dibanding nilai kekerasan material awal hal tersebut dikarenakan laju pendinginan jenis perlakuan panas *normalizing* dilakukan dengan lambat diudara sehingga kekerasan yang dicapai tidak maksimal.

4.5.4. Analisis Hasil Uji Kekerasan Perlakuan Panas Full Annealing

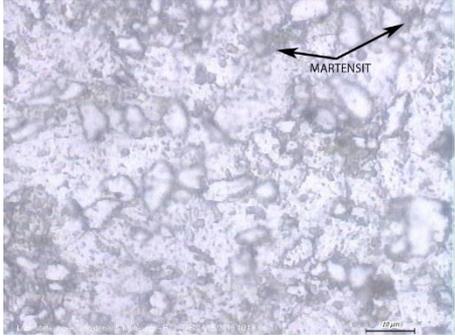
Pada perlakuan panas jenis *full annealing* memiliki nilai kekerasan sebesar 98,3 VHN, 98,3 VHN, 92,9 VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *normalizing* ini mengalami penurunan sebesar 35% di banding nilai kekerasan

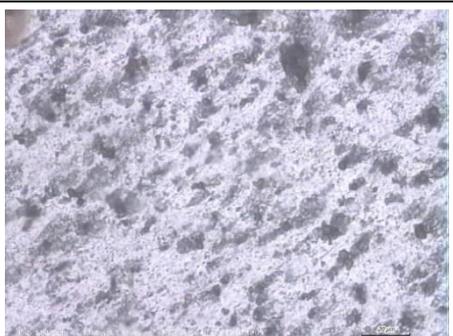
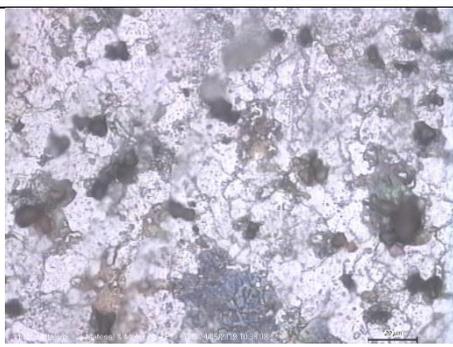
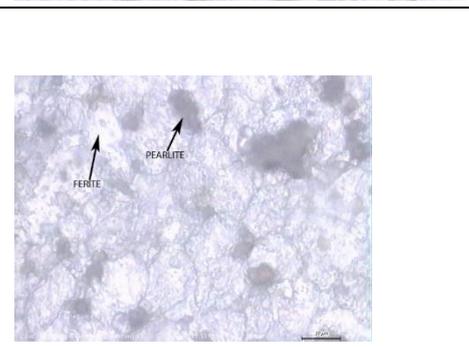
material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan pemanasan jenis *full annealing* jauh lebih kecil dari nilai kekerasan material awal. Hal ini dikarenakan laju pendinginan yang dilakukan jenis perlakuan panas *full annealing* adalah pendinginan sangat lambat didalam dapur pendingin (*furnace*) sehingga nilai kekerasan yang didapatkan tidak maksimum.

4.6. Pengujian Metalografi Sebelum Korosi

Tahap selanjutnya setelah dilakukan pengujian kekerasan adalah pengujian metalografi hal ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro material spesimen uji baja ASTM A53 tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas jenis *hardening, normalizing, full annealing* dan *austempering*. Uji metalografi dilakukan dengan pengamatan struktur mikro material spesimen uji dibawah mikroskop optik dengan perbesaran 50x dan 100x. selain bertujuan untuk mengetahui struktur mikro hasil perlakuan panas uji metalografi ini sendiri juga bertujuan untuk mengetahui kondisi mikrostruktur material spesimen uji sebelum dilakukan pengujian korosi. Hasil dari pengujian metalografi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Struktur Mikro Hasil Uji Metallografi

No.	Material	Perbesaran 50X	Perbesaran 100X
1	Tanpa Perlakuan Panas		
2	Perlakuan Panas Hardening		

3	Perlakuan Panas Austempering		
4	Perlakuan Panas Normalizing		
5	Perlakuan Panas Full Annealing		

Dari tabel 4.2 diatas dapat dilihat material spesimen tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas yang bervariasi yaitu *hardening*, *austempering*, *normalizing*, *full annealing* dan mempunyai struktur mikro yang berbeda-beda. Sesuai dengan tujuan perlakuan panas yang sudah dijelaskan. Secara lebih lanjut penjelasan struktur mikro dari masing-masing material spesimen uji akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

4.6.1. Spesimen Uji Tanpa Perlakuan Panas

Baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.25% (ASTM Standard, 1993). Baja ASTM A53 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut hypoeutektoid. Setelah dilakukan pengamatan material baja tanpa perlakuan panas memiliki struktur mikro yang terdiri dari ferite dan perlite. Pada hasil uji metalografi material tanpa

perlakuan panas terlihat struktur mikro yang ada pada material tersebut tersusun atas ferite 52% dan perlite 48% dengan komposisi yang masih seimbang. Ferite dan perlite akan mengalami perubahan seiring pertambahan suhu sampai mencapai batas akhir yaitu fase austenite dan dilakukan variasi pendinginan untuk berbagai macam perlakuan panas.

4.6.2. Spesimen Perlakuan Panas Hardening

Baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.25% (ASTM Standard, 1993). Baja ASTM A53 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut hypoeutektoid. Perlakuan panas jenis hardening berdampak langsung pada perubahan struktur mikro material tersebut. terlihat dari tabel diatas perlakuan panas hardening yang di austenisasi pada suhu diatas A3 telah mengakibatkan perubahan fase dari ferite+perlite menjadi austenite. Pendinginan yang dilakukan secara cepat mengakibatkan fasa austenite terdekompisisi menjadi fase martensit sebesar 82% . Martensit mempunyai sifat yang keras dan getas.

4.6.3. Spesimen Perlakuan Panas Austempering

Baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.25% (ASTM Standard, 1993). Baja ASTM A53 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut hypoeutektoid. Perlakuan panas jenis asutempering adalah proses pencelupan tertunda atau *quenching* pada *salt balt*. Material di beri perlakuan panas pada *furnace* dan austenite akan bertransformasi secara isothermal dan berubah menjadi bainite sebesar 65% yang memiliki sifat keras tapi ulet. Pada gambar yang tertera di tabel terlihat bahwa struktur bainite yang berwarna hitam dan berbentuk memanjang. Struktur ini hampir sama dengan martensit hanya saja bainite sifatnya lebih ulet.

4.6.4. Spesimen Perlakuan Panas Normalizing

Baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.25% (ASTM Standard, 1993). Baja ASTM A53 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut hypoeutektoid. Perlakuan panas *normalizing* adalah proses pemanasan baja diatas A3 dalam hal ini suhu yang

digunakan untuk mencapai fase austenisasi adalah 845⁰C. pendinginan dengan lambat diudara akan mengakibatkan austenite terdekomposisi menjadi ferite sebesar 61% dan 39% perlite. Tabel diatas memperlihatkan struktur ferite dan perlite terbentuk pada proses perlakuan panas jenis ini. Pada gambar tersebut terlihat jumlah perlite mulai berkurang, hal ini diakibatkan proses pendinginan yang dilakukan adalah pendinginan lambat diudara.

4.6.5. Spesimen Perlakuan Panas Full Annealing

Baja ASTM A53 adalah jenis pipa baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0.25% (ASTM Standard, 1993). Baja ASTM A53 termasuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut hypoeutektoid. Baja karbon rendah tersusun atas struktur mikro yaitu ferrite dan perlite. Kandungan karbon 0.25% berbutir kasar akan dihaluskan. Pemanasan tidak akan memberikan perubahan yang berarti sebelum melampaui temperature kritis bawah A1. Material di austenisasi pada temperature sedikit diatas A3 ini struktur seluruhnya menjadi austenite dengan butiran halus. Bila dilakukan pendinginan sangat lambat akan diperoleh sturktur perlit + ferite dengan butiran yang halus. Sebagai contoh dapat dilihat pada tabel diatas untuk jenis perlakuan panas full annealing, terlihat struktur ferite lebih mendominasi sebesar 86% dari pada struktur mikro perlite sebesar 14%.

4.7. Data Hasil Pengujian Biokorosi

4.7.1. Penelitian Pendahuluan

4.7.1.1. Prosedur Pembiakan Mikroalga *Chlorella Vulgaris*

Menurut hasil studi literature dan informasi dari BPBAP Situbondo selaku penyedia mikroalga awal. Harus dilakukan uji pertumbuhan terhadap mikrolalga *Chlorella Vulgaris* dikarenakan mikroalga tersebut perlu menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya. Uji pertumbuhan mikroalga *Chlorella Vulgaris* bertempat di Laboratorium Remediasi Teknik Lingkungan FTSLK ITS dengan pengujian skala laboratorium.

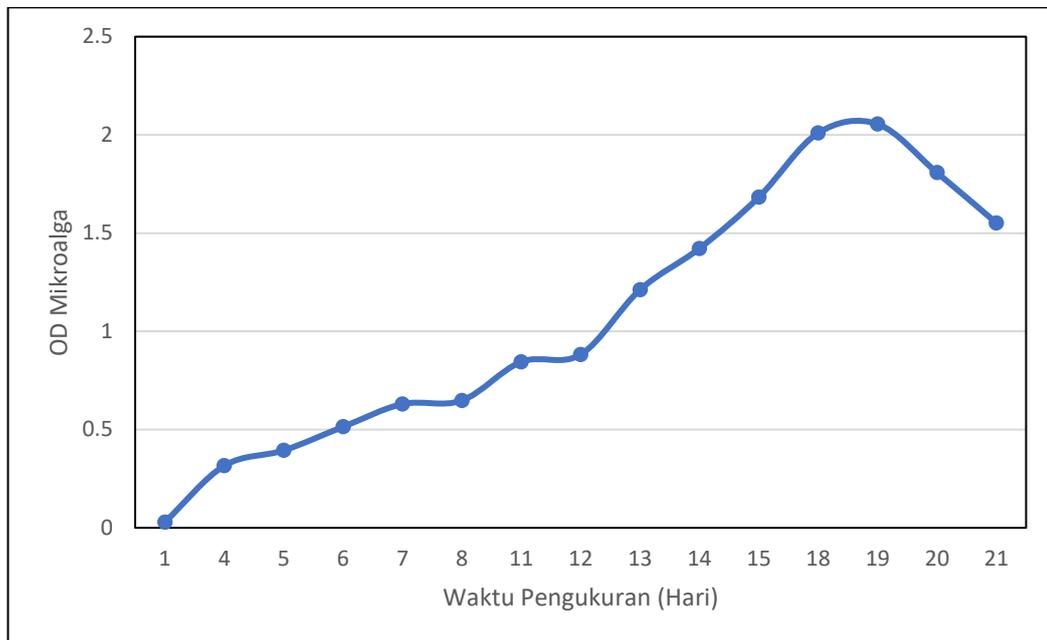
Untuk prosedur pembiakan mikroalga *Chlorella Vulgaris* akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuat larutan berupa air laut buatan dengan cara mimbang garam NaCl seberat 35 gram lalu campurkan dengan aquades lalu aduk hingga merata dengan menggunakan alat pengaduk larutan (*magnetic stirrer*).
2. Setelah itu sterilkan larutan bersama *Beaker Glass* yang nantinya akan digunakan sebagai wadah larutan dengan menggunakan alat *Autoclave* yang bersuhu 121°C dengan tekanan 1.1 atm selama kurang lebih 2 jam. Wadah tersebut selanjutnya ditutup dengan aluminium foil yang bertujuan untuk memastikan agar kandungan didalam wadah tersebut benar-benar steril.
3. Setelah steril mikroalga ditambahkan pada media yang mana pada penelitian kali ini penulis menggunakan perbandingan *chlorella vulgaris* antara inokulum dan media air laut buatan sebesar 30:70.
4. Lalu ditambahkan juga pupuk pada media untuk merangsang pertumbuhan dari mikroalga tersebut berupa pupuk Walne dan juga vitamin sebanyak masing-masing 0,6 mL/L media kultur. Selama proses penambahan mikroalga dan pupuk tadi dilakukan harus secara steril yang mana dilakukan pada *Laminar Air Flow*. Kultur dikultivasi dengan penambahan aerasi menggunakan aerator selama proses pembiakan dan diberi pencahayaan menggunakan sinar artificial dengan rasio gelap : terang 12/12 (Maligan, dkk, 2015).

4.7.1.2. Uji Parameter Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella Vurgaris*

Untuk mendapatkan data laju pertumbuhan mikroalga akan dilakukan pengukuran *Optical density* (OD) mikroalga. Nilai (OD) akan menunjukkan nilai total dari jumlah mikroalga baik yang masih hidup dan juga yang mati. Tanpa menggunakan mikroskop, sel yang hidup maupun yang mati tidak dapat dibedakan dengan nilai OD ini. Pengukuran nilai OD dilakukan menggunakan *spectrophotometer* UV-VIS dengan panjang gelombang 600 nm (Kusuma dan Zulaika, 2014). Pada hasil penelitian penulis, nilai OD dari hari 0 hingga hari 10

mengalami peningkatan dikarenakan jumlah biomassa *Chlorella vulgaris* semakin banyak yang terbentuk (Widayat dan Hadiyanto, 2015).

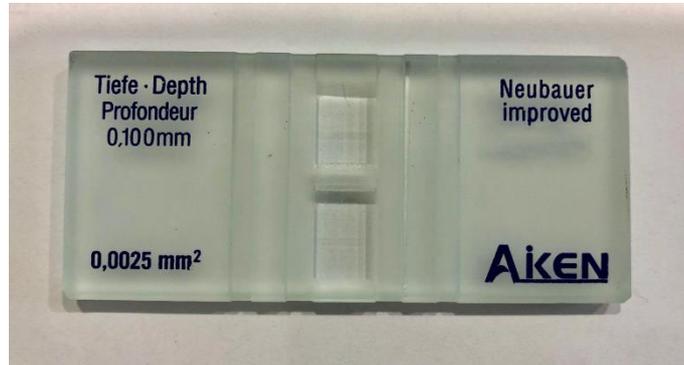


Gambar 4. 7 Nilai OD pada kurva laju pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada hari ke 0 – hari ke 1 hanya mengalami sedikit penambahan OD, hal ini disebabkan karena pada masa itu mikroalga mengalami lag fase yaitu mengalami penambahan jumlah sel tetapi masih beradaptasi terhadap lingkungannya. Pada hari ke 2 – hari ke 15 mikroalga mengalami log fase yaitu fase dimana mikroalga bertambah jumlah selnya secara cepat dan pada fase ini jumlah sel mikroalga yang hidup lebih besar daripada jumlah sel mikroalga yang mati. Pada hari ke 15 – hari ke 20 mikroalga mengalami fase stasioner yaitu dimana jumlah mikroalga yang hidup hampir sama dengan jumlah mikroalga yang mati.

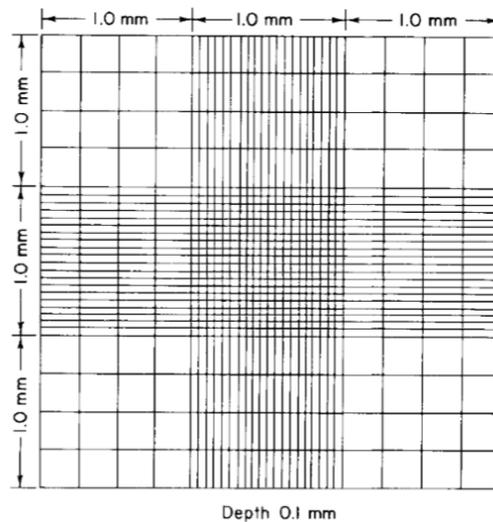
Setelah diketahui OD maka selanjutnya dapat menentukan jumlah sel mikroalga *Chlorella Vulgaris* yang terdapat pada media kultur. Hasil perhitungan ini nantinya akan diregresikan dengan hasil nilai OD. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui jumlah sel yang hidup pada tiap 1 ml yaitu dengan menggunakan alat *Haemocytometer* selama masa uji dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaran 100x (10x lensa object x 10x lensa okuler). *Haemocytometer* dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan alcohol 95%, lalu 1 ml kultur mikroalga diatas bidang yang berisi kamar-kamar baca. Setelah itu ditutup dengan

kaca penutup (*deck glass*). Penutupan harus hati-hati agar tidak terdapat gelembung air dibawah gelas penutup (Absher, M, 1973). Berikut ini merupakan contoh alat yang digunakan serta kamar baca yang terlihat pada mikroskop.



Gambar 4. 8 Hemocytometer Cell Counting

Sumber: (Provost & Wallert Research, 2015)



Gambar 4. 9 Kamar baca Hemocytometer Cell Counting

Sumber: (Absher, M. (1973)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah sel mikroalga adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Sel/ml} = \frac{\sum n}{5} \times D \times 10^4$$

$\sum n$: Jumlah sel mikroalga pada kotak A, B, C, D dan E

5 : Jumlah kotak kecil yang dihitung

D : Faktor pengenceran

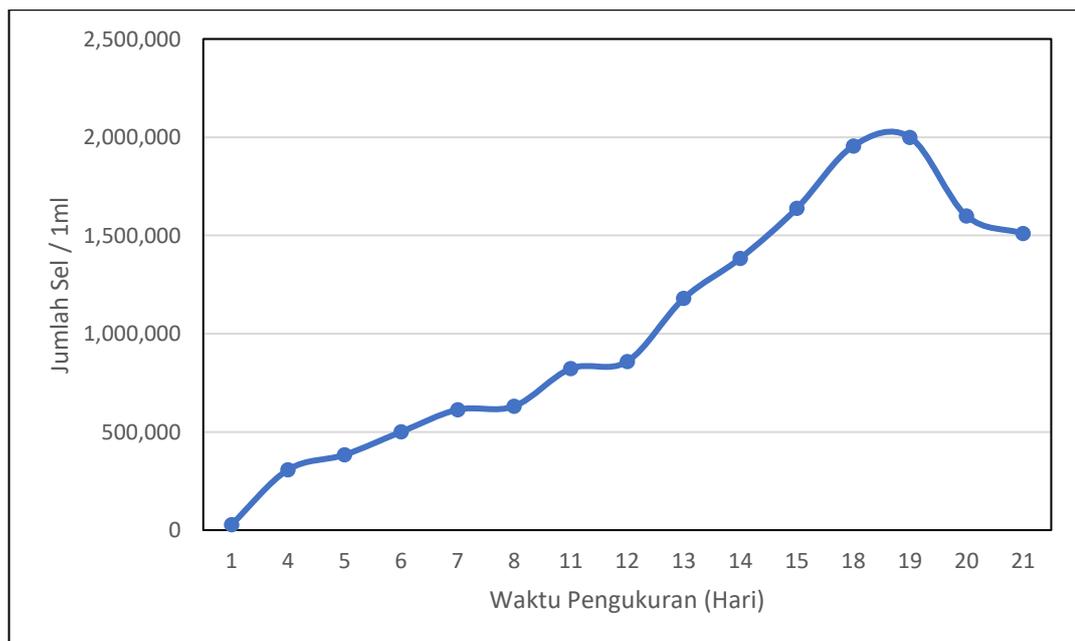
10^4 : Volume setiap kotak pengamatan *hemacytometer*

Hasil perhitungan jumlah sel mikroalga *Chlorella Vulgaris* dalam tiam 1 ml larutan dengan menggunakan *Hemocytometer* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan Jumlah sel

Hari ke	OD Alga	Jumlah Cell (sel/ml)
0	0.011	10,706
1	0.029	28,224
4	0.316	307,543
5	0.394	383,455
6	0.514	500,243
7	0.63	613,139
8	0.648	630,657
11	0.845	822,384
12	0.882	858,394
13	1.212	1,179,562
14	1.422	1,383,942
15	1.683	1,637,956
18	2.01	1,956,204
19	2.055	2,000,000
20	1.808	1,600,000
21	1.552	1,510,462

Dari data perhitungan jumlah sel mikroalga *Chlorella Vulgaris* dibuat kedalam bentuk grafik seperti berikut.



Gambar 4. 10 Grafik Jumlah sel pada mikroalga *Chlorella vulgaris*

Didapat jumlah sel dari mikroalga yang digunakan adalah 858.394 sel mikroalga dalam tiap 1 ml. Dimana densitas yang digunakan adalah pada OD hari ke 12 yaitu dengan nilai 0,882. Sehingga jumlah sel yang digunakan pada setiap reactor pengujian korosi adalah $858.394 \times 20,8 \text{ ml} = 17.854.598,54 \text{ sel}$ atau $1,78 \times 10^7 \text{ sel}$. Sel dari mikroalga secara jelas dapat dilihat melalui mikroskop seperti pada gambar 4.10



Gambar 4. 11 Sel pada *Chlorella Vulgaris* dilihat Menggunakan Mikroskop

4.7.2. Penelitian Utama

Pengujian korosi dengan metode perendaman (*immersion corrosion test*) terhadap material baja ASTM A53 dengan variasi elektroda dengan konsentrasi larutan 3,5% dimana pengujian dilakukan selama satu minggu (168 jam) dengan waktu pengamatan berat yang hilang atau *weight loss* setiap hari.



Gambar 4. 12 Proses Pengujian *Immersion Corrosion Test*

Data hasil pengujian *immersion corrosion test* terhadap material baja ASTM A53 dengan perlakuan panas (*heat treatment*) dan konsentrasi 3,5% dengan pengaruh penambahan mikroalga dan tidak ada penambahan mikroalga selama satu minggu dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 4 Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi material *Non-Heat Treatment*

No	Material Test	Mikroalga	Berat Spesimen								Weight Loss	Persentase Weight Lose Terhadap Berat Awal
			Awal	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
1	Non Heat Treatment (1)	Clorella Vulgaris	7.7036	7.6915	7.6810	7.6720	-	-	7.6632	7.6570	0.0466	0.60
2	Non Heat Treatment (2)	Clorella Vulgaris	8.2637	8.2563	8.2475	8.2370	-	-	8.2250	8.2202	0.0435	0.53
3	Non Heat Treatment (3)	Clorella Vulgaris	7.4030	7.3860	7.3810	7.3760	-	-	7.3684	7.3624	0.0406	0.55
4	Non Heat Treatment (4)	Non-Mikroalga	8.3860	8.3670	8.3580	8.3502	-	-	8.3464	8.3393	0.0467	0.56
5	Non Heat Treatment (5)	Non-Mikroalga	8.5590	8.5510	8.5390	8.5099	-	-	8.5025	8.5007	0.0583	0.68
6	Non Heat Treatment (6)	Non-Mikroalga	8.6520	8.6490	8.6480	8.6462	-	-	8.6387	8.6349	0.0171	0.20

Tabel 4. 5 Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi material *Hardening*

No	Material Test	Mikroalga	Berat Spesimen								Weight Loss	Persentase Weight Lose Terhadap Berat Awal
			Awal	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
1	Hardening (1)	Clorella Vulgaris	8.8190	8.8100	8.7930	8.7867	-	-	8.7780	8.7753	0.0437	0.50
2	Hardening (2)	Clorella Vulgaris	8.1020	8.0930	8.0790	8.0756	-	-	8.0657	8.0626	0.0394	0.49
3	Hardening (3)	Clorella Vulgaris	8.9693	8.9660	8.9550	8.9486	-	-	8.9353	8.9306	0.0387	0.43
4	Hardening (4)	Non-Mikroalga	8.4510	8.4430	8.4360	8.4348	-	-	8.4247	8.4202	0.0308	0.36
5	Hardening (5)	Non-Mikroalga	8.5530	8.5450	8.5330	8.5288	-	-	8.5206	8.5176	0.0354	0.41
6	Hardening (6)	Non-Mikroalga	7.9620	7.9420	7.9370	7.9277	-	-	7.9216	7.9189	0.0431	0.54

Tabel 4. 6 Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi material *Austempering*

No	Material Test	Mikroalga	Berat Spesimen								Weight Loss	Persentase Weight Lose Terhadap Berat Awal
			Awal	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
1	Austempering (1)	Clorella Vulgaris	7.7568	7.7476	7.7410	7.7358	-	-	7.7289	7.7185	0.0383	0.49
2	Austempering (2)	Clorella Vulgaris	8.4822	8.4733	8.4570	8.4548	-	-	8.4487	8.4443	0.0379	0.45
3	Austempering (3)	Clorella Vulgaris	8.9563	9.9520	9.9456	8.9426	-	-	8.9376	8.9250	0.0313	0.35
4	Austempering (4)	Non-Mikroalga	8.3951	8.3910	8.3880	8.3776	-	-	8.3626	8.3561	0.0390	0.46
5	Austempering (5)	Non-Mikroalga	9.1552	9.1520	9.1460	9.1423	-	-	9.1344	9.1290	0.0262	0.29
6	Austempering (6)	Non-Mikroalga	8.3506	8.3300	8.3286	8.3277	-	-	8.3176	8.3155	0.0351	0.42

Tabel 4. 7 Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi material *Normalizing*

No	Material Test	Mikroalga	Berat Spesimen								Weight Loss	Persentase Weight Lose Terhadap Berat Awal
			Awal	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
1	Normalizing (1)	Clorella Vulgaris	7.4800	7.4670	7.4630	7.4580	-	-	7.4500	7.4464	0.0336	0.45
2	Normalizing (2)	Clorella Vulgaris	8.5000	8.4900	8.4890	8.4870	-	-	8.4775	8.4730	0.0270	0.32
3	Normalizing (3)	Clorella Vulgaris	7.7980	7.7950	7.7900	7.7880	-	-	7.7796	7.7744	0.0236	0.30
4	Normalizing (4)	Non-Mikroalga	8.6000	8.5950	8.5920	8.5870	-	-	8.5815	8.5781	0.0219	0.25
5	Normalizing (5)	Non-Mikroalga	7.7920	7.7830	7.7739	7.7732	-	-	7.7654	7.7616	0.0304	0.39
6	Normalizing (6)	Non-Mikroalga	8.1050	8.0910	8.0880	8.0866	-	-	8.0802	8.0789	0.0261	0.32

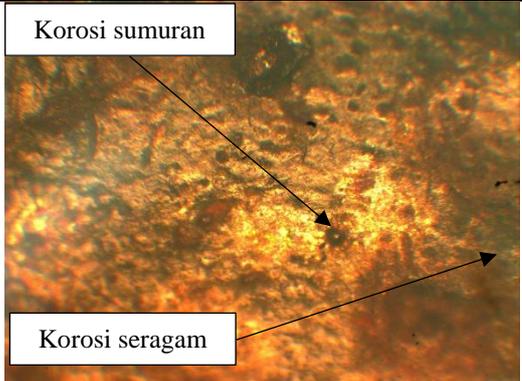
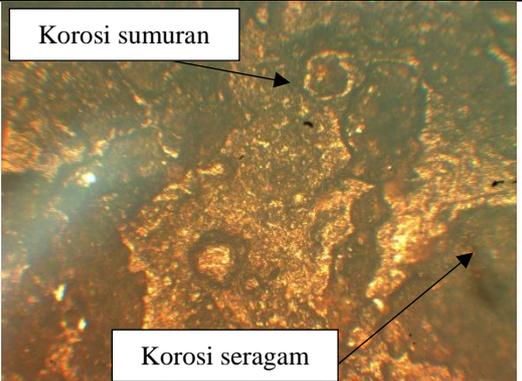
Tabel 4. 8 Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi material *Full Annealing*

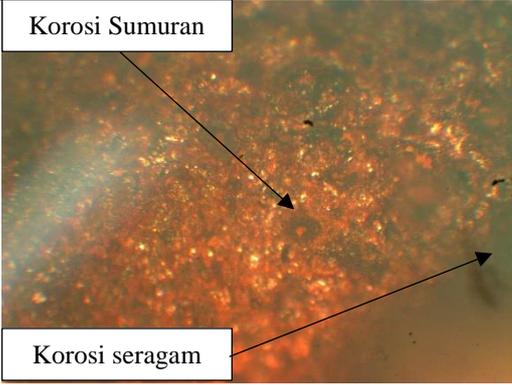
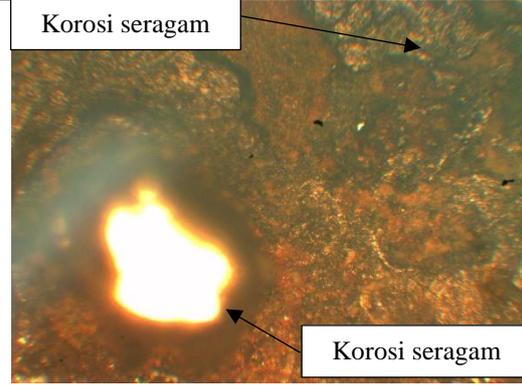
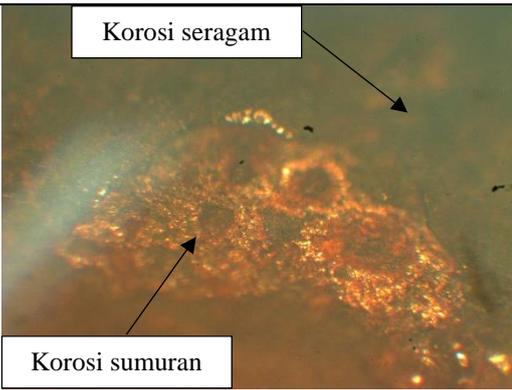
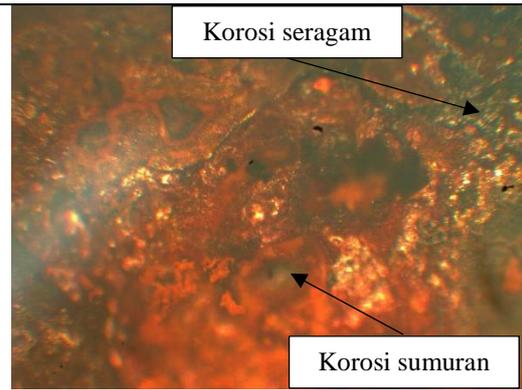
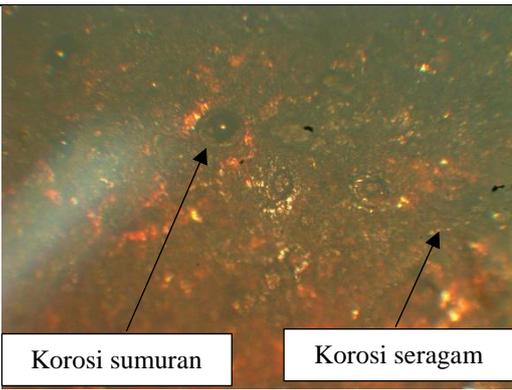
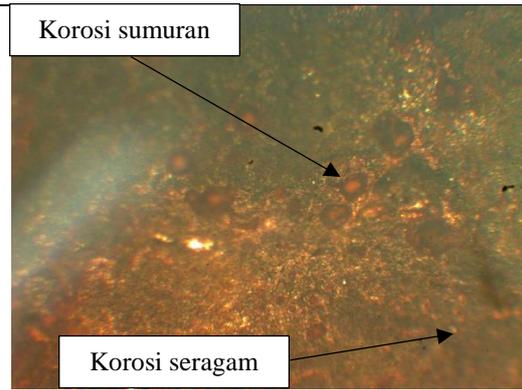
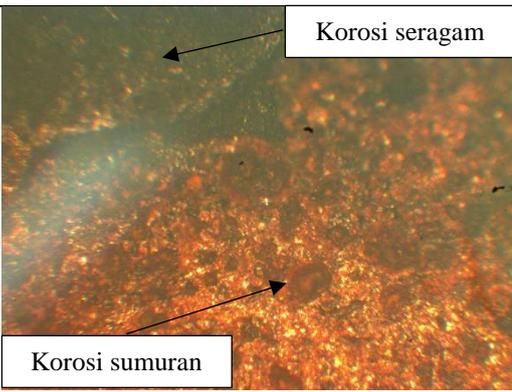
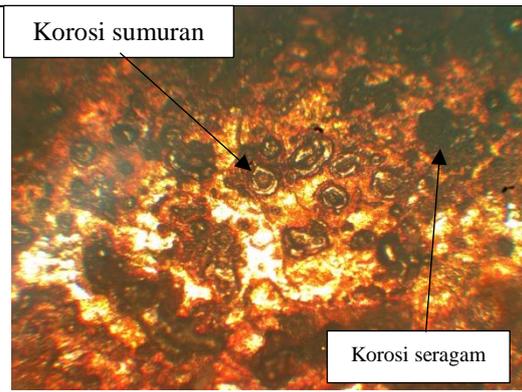
No	Material Test	Mikroalga	Berat Spesimen								Weight Loss	Persentase Weight Lose Terhadap Berat Awal
			Awal	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
1	Full Annealing (1)	Clorella Vulgaris	8.2261	8.2040	8.2150	8.2132	-	-	8.2078	8.2055	0.0206	0.25
2	Full Annealing (2)	Clorella Vulgaris	7.9653	7.9523	7.9500	7.9482	-	-	7.9428	7.9395	0.0258	0.32
3	Full Annealing (3)	Clorella Vulgaris	8.5064	8.4982	8.4930	8.4910	-	-	8.4853	8.4818	0.0246	0.29
4	Full Annealing (4)	Non-Mikroalga	8.6263	8.6169	8.6115	8.6110	-	-	8.6056	8.6038	0.0225	0.26
5	Full Annealing (5)	Non-Mikroalga	9.1457	9.1414	9.1345	9.1290	-	-	9.1247	9.1218	0.0239	0.26
6	Full Annealing (6)	Non-Mikroalga	8.5690	8.5634	8.5578	8.5547	-	-	8.5508	8.5480	0.0210	0.25

4.8. Analisis Pengujian Mikrostruktur Sesudah Pengujian Biokorosi

Tahap selanjutnya adalah dilakukan pengujian korosi adalah pengujian metalografi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro material spesimen uji setelah dilakukan pengujian korosi dan dapat membandingkan dengan sebelum dilakukannya pengujian korosi. Pengujian metalografi adalah pengamatan struktur mikro material uji dibawah mikroskop optik. Pengujian dilakukan dengan perbesaran 100x. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Data Hasil Pengamatan Mikrostruktur Setelah Pengujian Korosi

No.	Material	Tanpa Penambahan Mikroalga Perbesaran 100X	Dengan Penambahan Mikroalga Perbesaran 100X
1	Tanpa Perlakuan Panas		

2	Perlakuan Panas Hardening	 <p>Korosi Sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>	 <p>Korosi seragam</p> <p>Korosi seragam</p>
13	Perlakuan Panas Austempering	 <p>Korosi seragam</p> <p>Korosi sumuran</p>	 <p>Korosi seragam</p> <p>Korosi sumuran</p>
4	Perlakuan Panas Normalizing	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>
5	Perlakuan Panas Full Annealing	 <p>Korosi seragam</p> <p>Korosi sumuran</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>

Berdasarkan Tabel 4.9 diatas dapat disimpulkan bahwa untuk material yang dilakukan penambahan mikroalga maupun tidak melakukan penambahan mikroalga terjadi korosi seragam dan korosi sumuran. Korosi ini disebabkan oleh

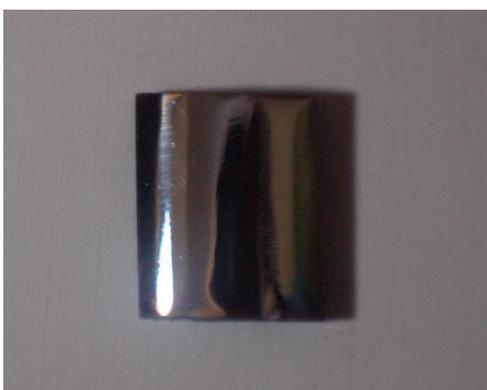
air laut buatan dengan salinitas 3,5% dan mikroalga *Chlorella Vulgaris*. Pada material yang dilakukan penambahan mikroalga memiliki korosi berjumlah lebih banyak dan memiliki ukuran yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa mikroalga dapat memperbesar laju korosi.

4.9. Analisis Pengujian Makrostruktur Sebelum dan Sesudah Pengujian Biokorosi

Sebelum dan sesudah dilakukan pengujian korosi dilakukan foto makrostruktur menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X. Hasil dari foto makrostruktur sebelum dilakukan uji korosi ini nantinya akan digunakan sebagai pembandingan dengan hasil foto makrostruktur sesudah dilakukan pengujian korosi. Untuk lebih jelasnya terkait hasil foto makrostruktur sebelum dan sesudah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4. 10 Data Hasil Pengamatan Mikrostruktur

No.	Material	Struktur Makro Sebelum Pengujian Korosi Perbesaran 4,7x	Struktur Makro Setelah Pengujian Korosi Perbesaran 4,7x
1	Tanpa Perlakuan Panas (+ Mikroalga)		
2	Tanpa Perlakuan Panas (Non-Mikroalga)		

3	Perlakuan Panas Hardening (+ Mikroalga)		
4	Perlakuan Panas Hardening (Non-Mikroalga)		
5	Perlakuan Panas Austempering (+ Mikroalga)		

6	Perlakuan Panas Austempering (Non-Mikroalga)		
7	Perlakuan Panas Normalizing (+Mikroalga)		
8	Perlakuan Panas Normalizing (Non-Mikroalga)		
9	Perlakuan Panas Full Annealing (+Mikroalga)		



Dari hasil foto makrostruktur material baja ASTM A53 sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.10 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan penambahan mikroalga *Chlorella Vulgaris*. Setelah dilakukan pengujian korosi terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Material dengan penambahan mikroalga menghasilkan endapan, bercak dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. G. Shelva mengklasifikasikan warna produk karat baja karbon sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Warna Produk Karat Pada Baja Karbon

Jenis Baja	Warna Karat	Jenis Produk
Baja Karbon	Kuning kehijauan s/d endapan hijau kotor	$\text{Fe}(\text{OH})_2$
	Merah kecoklatan	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan FeOOH
	Coklat kehitaman	Fe_3O_4 (magnetit)
	Kuning	Kation Fe^{3+}

Sumber: (G. Shelva,)

Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.11 diatas. Dari hasil pengamatan makro warna coklat kehitaman tersebut merupakan

magnetik (Fe₃O₄) dan warna merah kecoklatan merupakan Fe(OH)₃, dan FeOOH sesuai dengan tabel 4.11 di atas.

4.10. Analisis Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi pada *immersion corrosion test* pada *weld metal* baja ASTM A36 menggunakan metode *weight loss*. Berikut ini merupakan persamaan untuk mencari laju korosi:

$$\text{Laju korosi (mm/year)} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \times 0,0254 \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana :

W = Kehilangan berat (g)

K = Konstanta (mpy = 3,45 x 10⁶)

D = kerapatan benda uji (g/cm³)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm²)

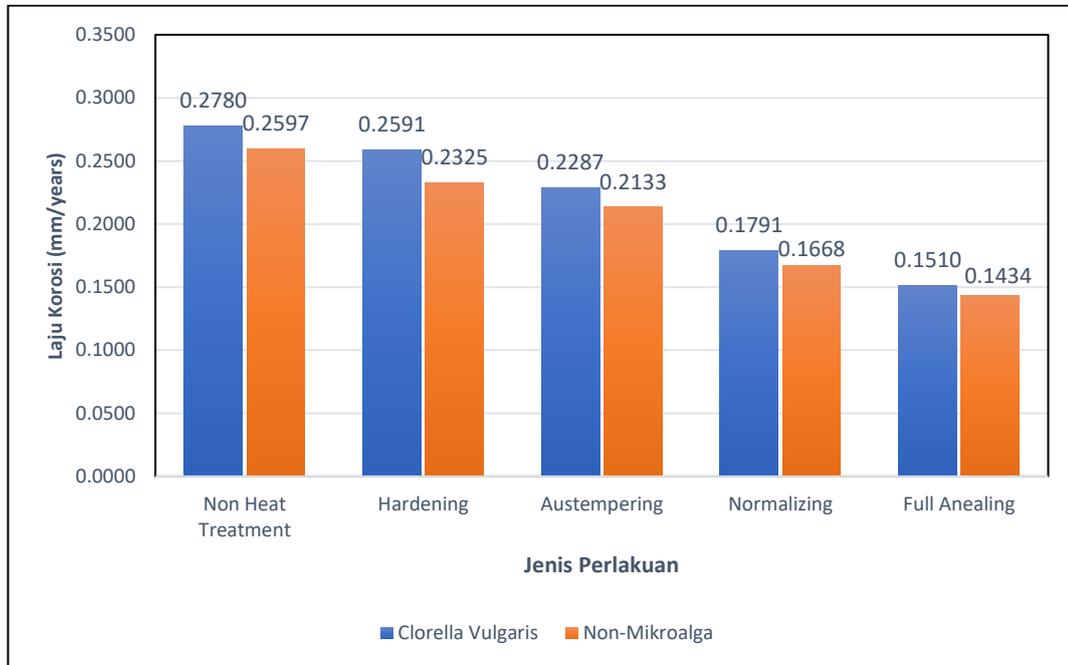
T = Waktu exposure (Jam)

Untuk perhitungan keseluruhan material dengan pengujian korosi *immersion corrosion test* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 12 Perhitungan Laju Korosi

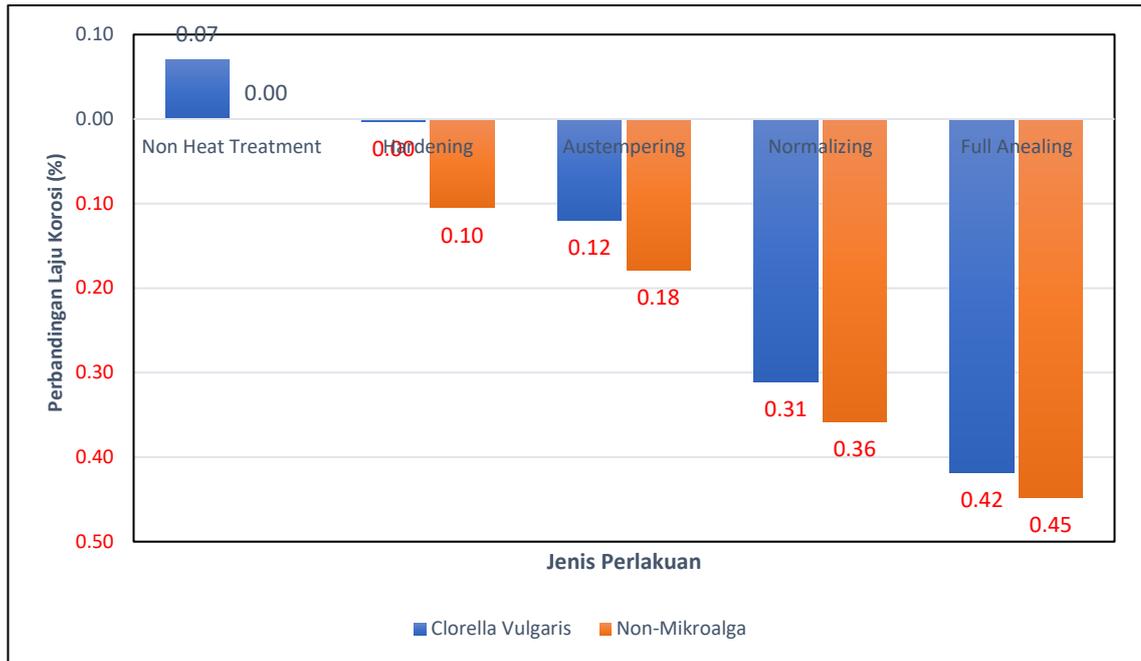
No	Jenis Perlakuan Panas	Mikroalga	K	W (g)	D (g/cm ³)	A (cm ²)	T (jam)	Laju Korosi (mm/years)	Persentase Laju Korosi Terhadap Berat Awal	Persentase Laju Korosi Terhadap Material Tanpa Perlakuan Panas
1	Non Heat Treatment	Clorella Vulgaris	3450000	0.0436	7.86	10.4	168	0.27800	3.57%	7.04%
2	Non Heat Treatment	Non-Mikroalga	3450000	0.0407	7.86	10.4	168	0.25971	3.04%	0.00%
3	Hardening	Clorella Vulgaris	3450000	0.0406	7.86	10.4	168	0.25907	3.00%	-0.25%
4	Hardening	Non-Mikroalga	3450000	0.0364	7.86	10.4	168	0.23248	2.79%	-10.48%
5	Austempering	Clorella Vulgaris	3450000	0.0358	7.86	10.4	168	0.22865	2.72%	-11.96%
6	Austempering	Non-Mikroalga	3450000	0.0334	7.86	10.4	168	0.21334	2.47%	-17.85%
7	Normalizing	Clorella Vulgaris	3450000	0.0281	7.86	10.4	168	0.17909	2.26%	-31.04%
8	Normalizing	Non-Mikroalga	3450000	0.0261	7.86	10.4	168	0.16676	2.04%	-35.79%
9	Full Annealing	Clorella Vulgaris	3450000	0.0237	7.86	10.4	168	0.15102	1.83%	-41.85%
10	Full Annealing	Non-Mikroalga	3450000	0.0225	7.86	10.4	168	0.14336	1.63%	-44.80%

Selanjutnya hasil dari perhitungan laju biokorosi dengan menggunakan metode weight loss tersebut dirubah kedalam bentuk grafik dengan membandingkan antara pengaruh penambahan mikroalga dan tidak menambahkan mikroalga.



Gambar 4. 13 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi

Setelah didapatkan nilai laju korosi dari setiap material, maka nilai laju korosi material dengan perlakuan panas *hardening*, *austempering*, *normalizing*, dan *full annealing* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Hal ini dilakukan untuk mengetahui persentase pengaruh pengaruh perlakuan panas terhadap nilai laju korosi dari material baja ASTM A53 dengan penambahan mikroalga maupun tanpa penambahan mikroalga. Untuk nilai perbandingannya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 14 Persentase Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Laju Biokorosi

4.10.1. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis *Full Annealing* Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.

Pada jenis perlakuan panas *full annealing*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,151 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,1434 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *full annealing* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 41,85% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 44,80%.

Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis *full annealing* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis *full annealing* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 98,3 Micro VHN, 93,3 Micro VHN, dan 92,9 Micro VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *full annealing* ini mengalami penurunan sebesar 35% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan rata-rata material dan penurunan nilai kekerasan perlakuan panas *full annealing* dibandingkan dengan material tanpa perlakuan panas, mengakibatkan

struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir ferit dengan persentase 86 % dan perlit 14 %, ferit memiliki sifat lunak dan ulet serta tahan terhadap karat. Hal ini menyebabkan material dengan jenis perlakuan panas *full annealing* memiliki nilai laju korosi yang paling rendah dibandingkan material dengan jenis perlakuan panas lainnya (*normalizing, hardening, austempering*) dan material tanpa perlakuan panas.

4.10.2. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis *Normalizing* Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.

Pada jenis perlakuan panas *normalizing*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,1791 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,1668 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *normalizing* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *normalizing* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 31,04% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 35,79%.

Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis *normalizing* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap penurunan nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis *normalizing* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 112 Micro VHN, 115 Micro VHN, dan 108 Micro VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *normalizing* ini mengalami penurunan sebesar 24% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan rata-rata material dan penurunan nilai kekerasan perlakuan panas *normalizing*, mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir ferit dengan persentase 61 % dan perlit 39 %, ferit memiliki sifat lunak dan ulet serta tahan terhadap karat. Hal ini menyebabkan material dengan jenis perlakuan panas *austempering* memiliki nilai laju korosi yang lebih rendah dibandingkan material dengan jenis perlakuan panas lainnya (*hardening, austempering*) dan material tanpa perlakuan panas. Akan tetapi nilai laju korosi material dengan perlakuan panas *normalizing* masih diatas material dengan perlakuan panas *full annealing*.

4.10.3. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis *Austempering* Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.

Pada jenis perlakuan panas *austempering*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,2287 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2133 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *austempering* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *austempering* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 11,96 % sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 17,85%.

Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis *austempering* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis *austempering* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 160 Micro VHN, 163 Micro VHN, dan 158 Micro VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *austempering* ini mengalami penambahan sebesar 9% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan rata-rata dan penambahan nilai kekerasan material dengan perlakuan panas *austempering*, mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir bainit dengan persentase 65 % dan austenite sisa 35 %, bainit memiliki sifat keras akan tetapi ulet. Hal ini menyebabkan material dengan jenis perlakuan panas *austempering* memiliki nilai laju korosi yang lebih rendah dibandingkan material dengan jenis perlakuan panas *hardening* dan material tanpa perlakuan panas. Akan tetapi nilai laju korosi material dengan perlakuan panas *austempering* masih diatas material dengan perlakuan panas *full annealing, normalizing*.

4.10.4. Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis *Hardening* Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.

Pada jenis perlakuan panas *hardening*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,2654 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2325 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *hardening* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas

hardening dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 0,25% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 10,48%.

Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis *hardening* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis *hardening* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 191 Micro VHN, 196 Micro VHN, dan 190 Micro VHN. Nilai kekerasan pada perlakuan jenis *hardening* ini mengalami penambahan sebesar 31% di banding nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan rata-rata dan penambahan nilai kekerasan material dengan perlakuan panas *hardening*, mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir martensit dengan persentase 82 % dan austenite sisa 18 %, martensit memiliki sifat keras, kuat dan getas, mudah terkorosi. Hal ini menyebabkan material dengan jenis perlakuan panas *hardening* memiliki nilai laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan material dengan jenis perlakuan panas lainnya (*normalizing, full annealing, austempering*). Akan tetapi nilai laju korosi material dengan perlakuan panas *hardening* masih lebih rendah dibandingkan material dengan tanpa perlakuan panas.

4.10.5. Analisis Pengaruh Tanpa Perlakuan Panas (*Non-Heat Treatment*) Material Baja ASTM A53 Terhadap Laju Korosi.

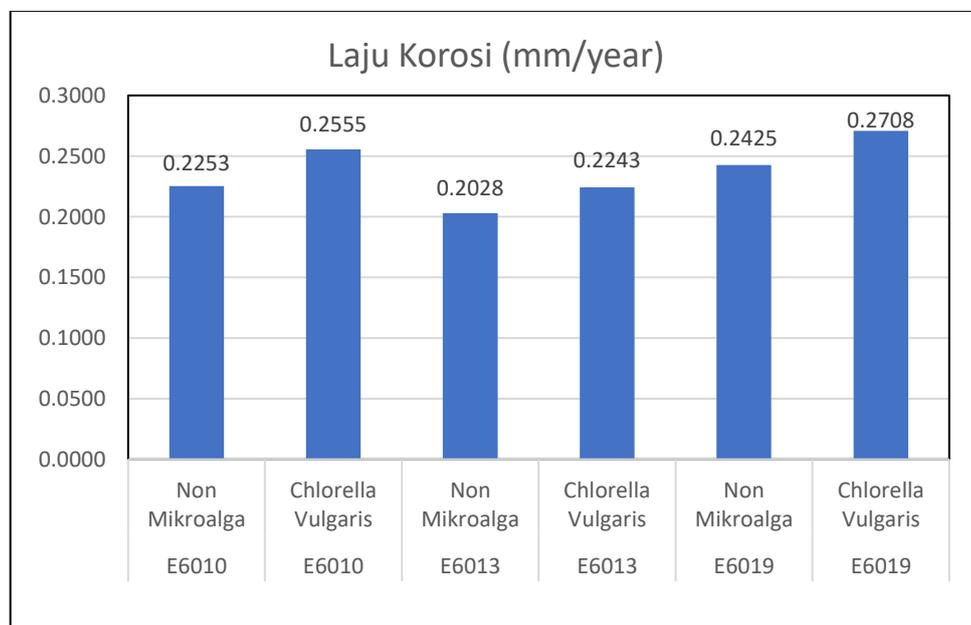
Pada material tanpa perlakuan panas (*non-heat treatment*), untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,2780 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2597 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas tanpa perlakuan panas akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga persentase penambahan nilai laju korosi mencapai 7,04% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 0%.

Tingkat kekerasan dan struktur mikro material tanpa perlakuan panas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana pada material tanpa perlakuan panas memiliki kekerasan rata-rata sebesar 148 Micro

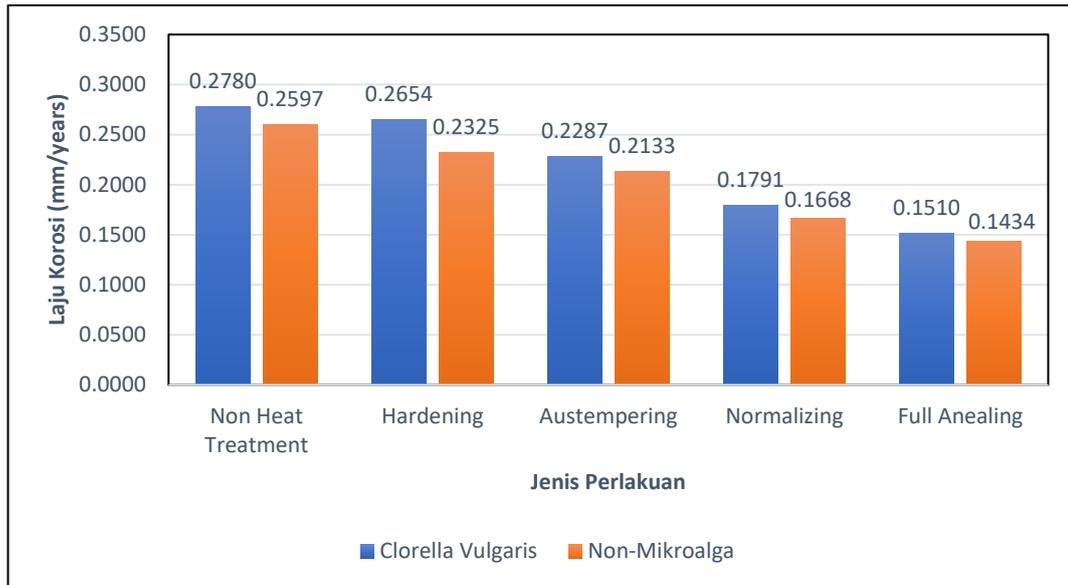
VHN, 146 Micro VHN, dan 147 Micro VHN. Nilai kekerasan rata-rata material dengan tanpa perlakuan panas mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir ferit dengan persentase 52 % dan perlit 48 %, ferit memiliki sifat lunak dan ulet. Hal ini menyebabkan material dengan tanpa perlakuan panas memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi dibandingkan material dengan jenis perlakuan panas lainnya (*normalizing, hardening, austempering, dan full anealing*). Tegangan sisa yang masih tinggi akibat belum adanya perlakuan panas juga menjadi faktor penting tingginya nilai laju korosi.

4.11. Analisis Perbandingan Laju Korosi dengan Penelitian Sebelumnya

Dari hasil perhitungan laju korosi diatas, selanjutnya dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan judul “Analisis Variasi Elektroda pada Sambungan Las Pengelasan SMAW Baja ASTM A36 Terhadap Ketahanan Biokorosi Mikroalga di Lingkungan Laut” (Putra, 2018). Dari perbandingan ini diharapkan dapat diketahui bagaimana pengaruh penambahan mikroalga *Chlorella Vulgaris* terhadap ketahanan material baja. Untuk hasil penelitian kedua penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 15 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi pada Sambungan LAS SMAW Baja ASTM A36



Gambar 4. 16 Pengaruh Penambahan Mikroalga Terhadap Laju Biokorosi pada Material Baja ASTM A53 dengan Variasi *Heat Treatment*

Kedua penelitian ini menggunakan mikroalga *Chlorella Vulgaris* yang ditambahkan pada media perendaman untuk pengujian laju korosi. Dapat diketahui pada penelitian (Putra,2018) bahwa pada jenis elektroda E6019 dengan penambahan mikroalga *Chlorella Vulgaris* memiliki laju korosi tertinggi sebesar 0,2708 mm/year, sedangkan laju korosi terendah pada jenis elektroda E6013 tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2028 mm/year. Sementara itu pada penelitian penulis dapat diketahui bahwa material *non-heat treatment* dengan penambahan mikroalga *Chlorella Vulgaris* memiliki laju korosi tertinggi sebesar 0,2780 mm/year, sedangkan laju korosi terendah pada jenis perlakuan panas *full anealing* tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,1434 mm/year. Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan bahwa mikroalga dapat meningkatkan laju korosi terhadap material baja. Hal ini disebabkan karena mikroalga bisa mengikat unsur logam dan memberikan gangguan terhadap ketahanan material.

Untuk nilai laju korosi tertinggi dari kedua penelitian terdapat pada spesimen uji yang sama-sama menggunakan penambahan mikroalga pada media perendamannya. Nilai laju korosi tertinggi yang didapatkan nilai yang tidak berbeda jauh. Pada penelitian penulis spesimen uji material non heat treatment selisih laju korosi antara material dengan penambahan mikroalga dan tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,01829 mm/year. Sedangkan pada penelitian (Putra,2018)

spesimen uji sambungan las dengan elektroda E6019, selisih laju korosi antara material dengan penambahan mikroalga dan tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,0302 mm/year. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan mikroalga lebih berpengaruh terhadap nilai laju korosi material sambungan las dengan elektroda E6019.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan serta analisa yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1.) Pengaruh perlakuan panas (*Heat Treatment*) pada terhadap laju korosi material baja ASTM A53 dijelaskan sebagai berikut.
 - Material baja ASTM A53 tanpa perlakuan panas memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan material baja ASTM A53 yang diberikan perlakuan panas. Nilai laju korosi pada material baja ASTM A53 tanpa perlakuan panas dengan penambahan mikroalga sebesar 0,2780 mm/year dan 0,2597 untuk material tanpa penambahan mikroalga. Nilai laju korosi material perlakuan panas *full annealing* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga persentase penambahan nilai laju korosi mencapai 7,04% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 0%.
 - Material baja ASTM A53 pada jenis perlakuan panas *hardening*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,2654 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2325 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *hardening* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *hardening* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 0,25% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 10,48%.
 - Material baja ASTM A53 pada jenis perlakuan panas *austempering*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,2287 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,2133 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *austempering* akan dibandingkan terhadap

material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *austempering* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 11,96 % sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 17,85%.

- Material baja ASTM A53 pada jenis perlakuan panas *normalizing*, untuk material dengan penambahan mikroalga didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,1791 mm/year, sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga sebesar 0,1668 mm/year. Nilai laju korosi material perlakuan panas *normalizing* akan dibandingkan terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga). Pada material perlakuan panas *normalizing* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 31,04% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 35,79%.
- Material baja ASTM A53 dengan perlakuan panas *full annealing* memiliki nilai laju korosi paling rendah dari perlakuan panas lainnya. Nilai laju korosi pada material baja ASTM A53 dengan perlakuan panas jenis *full annealing* dengan penambahan mikroalga sebesar 0,1510 mm/year dan 0,1434 mm/year untuk material tanpa penambahan mikroalga. Pada material perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi mencapai 41,85% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 44,80%.

Pengaruh perlakuan panas terhadap nilai laju korosi dari material Baja ASTM A53 dapat menurunkan nilai laju korosinya, secara urut dari jenis perlakuan panas dengan korosi tertinggi hingga terendah yaitu tanpa perlakuan panas (*non-heat treatment*), *hardening*, *austempering*, *normalizing* dan *full annealing*. Hasil nilai laju korosi membuktikan bahwa mikroalga dapat meningkatkan laju korosi dari material baja ASTM A53.

- 2.) Dari hasil foto mikrostruktur dan makrostruktur material baja ASTM A53 sebelum dan sesudah dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* dapat diketahui bahwa material sebelum dilakukan pengujian korosi struktur mikro masih terlihat belum terdapat produk korosi, hal tersebut dibuktikan dengan terbentuknya struktur mikro sesuai dengan tujuan perlakuan panas yaitu ferit, perlit, dan bainit. Namun setelah dilakukan pengujian korosi mulai ditemukan produk korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Untuk struktur makro material sebelum dilakukan pengujian korosi masih terlihat bersih, mengkilap dan tanpa endapan, akan tetapi setelah dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* mulai ditemukan produk korosi dan endapan yang berwarna coklat kehitaman yang merupakan *magnetit* (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan yang merupakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan FeOOH .
- 3.) Dari data laju korosi yang didapat bahwa perlakuan panas (*Heat Treatment*) jenis *full annealing* adalah jenis perlakuan panas (*Heat Treatment*) yang paling baik dalam menghambat terjadinya laju korosi pada material baja ASTM A53 di lingkungan laut. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai laju korosi yang paling rendah dari perlakuan panas lainnya yaitu sebesar 0,1510 mm/year untuk material dengan penambahan mikroalga dan 0,1434 mm/year untuk material tanpa penambahan mikroalga. Pada material perlakuan panas *full annealing* dengan penambahan mikroalga persentase penurunan laju korosi terhadap material tanpa perlakuan panas (tanpa penambahan mikroalga) mencapai 41,85% sedangkan untuk material tanpa penambahan mikroalga penurunan persentase mencapai 44,80%. Hasil ini dapat dijadikan sebagai referensi pemilihan perlakuan panas material baja ASTM A53 sebelum diaplikasikan di lingkungan laut serta sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

5.2. Saran

Sebagai bentuk pengembangan untuk penelitian selanjutnya diharapkan ada beberapa saran antara lain sebagai berikut :

- 1.) Dilakukan penambahan variasi material pada penelitian selanjutnya.
- 2.) Dilakukan variasi suhu dan waktu penahanan (*holding time*) dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*).
- 3.) Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi mikroalga atau salinitas yang dapat mempengaruhi laju korosi.
- 4.) Perhitungan laju korosi menggunakan metode elektrokimia

DAFTAR PUSTAKA

- Absher, M. 1973. *Hemocytometer Counting. Tissue Culture*, 395–397.
- ASM Handbook Vol.4. 2004. “*Heat Treating*”. ASM Internasional
- ASM Handbook Vol.13 A,. 2003. *Corrosion: Fundamental, Testing, and Protection*. USA
- ASTM. 2004. ASTM G31-72. *Standard Practice for laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. United State.
- ASTM. 1997. ASTM E92-82. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. United State.
- ASTM. 1999. ASTM G1-90. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating, Corrosion Test Specimens*. ASTM Internasional West Conshohocken, PA, 2003.
- ASTM. 2003. ASTM D1141-90. *Standard Practice for Preparing of Substitute Ocean Water*. ASTM Internasional West Conshohocken, PA, 2003.
- Budinski, G., dan Budinski., K., 1999, “*Engineering Material-properties and selection*”, 6th edition, Prentice Hall International, Inc., New jersey, USA.
- Chamberlain, J., dan Trethewey, KR. 1991.”*Korosi-Untuk mahasiswa dan Rekayasawan*”. Jakarta: PT Gramedia PustakaUtama.
- D. A. Fadare., T. G. Fadara., dan O. Y. Akanbi. 2011. *Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of NST 37-2 Steel*. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.3, pp.299-308. USA.
- Diktat Jurusan Teknik material dan Metalurgi. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- F.M. Alabbas., C. Williamson, and S.M. Bhola. 2013. “*Influence of sulfate reducing bacterial biofilm on corrosion behavior of low-alloy, high-strength steel (API-5L X80)*”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 78, n. 1, pp. 34-42.
- Fontana, Mars G, 1987, *Corrosion Engineering Third Edition*, New York : Mc Graw-Hill.
- Handoko, B.D. 2017. “*Analisis Pengaruh Heat Treatment Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Material Pipa Baja API 5L Grade B di Lingkungan Laut*”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas Akhir.
- Hung-Wei. 2017 “*High-Temperature Tempered Martensite Embrittlement in Quenched-and-Tempered Offshore Steels*”. Department of Materials Science and Engineering, National Taiwan University, Roosevelt Road, Taipei 10617, Taiwan.
- Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D.W., Augustine, D. 2010. *Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Kusuma dan Zulaika. 2014. “*Potensi Chlorella sp. sebagai Bioakumulator Logam Berat Kadmium*”. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vol.3, No.2. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Surabaya.
- M. I. Al-Hazzaa and M. O. Al-Abdullatif 2009. “*Effect of Soil Conductivity on the Design of Cathodic Protection Systems Used in the Prevention of Pipeline Corrosion*”. Chemical Engineering Department, College of Engineering, King Saud University. Saudi Arabia.

- Miranda, E., Bethencourt, and M., Botana, J.F. 2006. “*Biocorrosion of carbon steel alloys by an hydrogenotrophic sulfate-reducing bacterium Desulfovibrio capillatus isolated from a Mexican oil field separator*”, Corrosion Science, v. 48, n. 9, pp. 2417-2431.
- NACE TM-0169-76, *Standar Test Method laboratory Corrosion Testing of metals for the Process industries, Item No. 5300. Reprinted May 1992.*
- Pratikno, H. dan Titah, H.S. 2017. “*Bio-corrosion on Aluminium 6063 by Escherichia coli in Marine Environment*”. The Journal for Technology and Science.
- Pratikno, Herman., and Harmin S., 2016. “*Bio-corrosion on Steel Structure (ASTM A106 and A53) in Marine Environment*”. Asian Journal of Applied Sciences.
- Putra, M.I. 2018. “*Analisis Variasi Elektroda pada Sambungan Las Pengelasan SMAW Baja ASTM A36 Terhadap Ketahanan Biokorosi Mikroalga di Lingkungan Laut*”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas Akhir.
- Roberge, Pierre R. 2008. “*Corrosion Engineering Principle and Practice*”. McGraw-Hill Companies. New York Chicago San Francisco
- Sarbini, K. 2012. “*Biodegradasi Pyrena Menggunakan Bacillus subtilis C19*”. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tugas Akhir.
- Sastradimaja, F.R. 2016. “*Pengaruh Perlakuan Panas dan Jenis Bakteri terhadap Ketahanan Korosi Pada Material Baja (API 5L dan ASTM A53) di Lingkungan Laut*”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas Akhir.

- Sidiq, M. F. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. Jurnal Foundry. 3 (1): 25 – 30.
- Soegiono. 2006. *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Supardi, Rachmat, 1987. *Korosi*, Penerbit Tarsito. Bandung.
- Supomo, Heri. 2003. *Buku Ajar Korosi*. Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS Surabaya.
- Syahputra, B.E.D. 2017. “*Analisis Ketahanan Biokorosi pada Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Heat Treatment di Lingkungan Laut*”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas Akhir.
- T. Karl-Erik. 1984. “*Steel and heat treatment second edition*”. Replika press Pvt Ltd , Delhi, India.
- Ugochukwu, C.O. 2014. “*Cow Urine Effectiveness in Control of Microbially Induced Corrosion on Oil Transmission Pipelines*”. International Journal Engineering Innovatice Technology, 3: 192-196.
- Utomo, B. 2009. *Jenis Korosi Dan Penanggulangannya*. Kapal, Vol.6. No.2. Semarang. Universitas Diponegoro.
- W.G. Characklis and K.C. Marshall. 1990. “Biofilms: A Basis for an interdisciplinary approach”. pp. 3-15. New York.
- Zagarese, H. dan Helbling, E.W. 2003. “*UV Effects in Aquatic Organisms and Ecosystems*”. The Royal Society of Chemistry. Cambridge CB4 OWF. UK

BIODATA PENULIS



Citra Egy Prasetyo dilahirkan di Kebumen, 20 Mei 1997. Merupakan anak pertama dari pasangan Tusino dan Winarsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Jatiroto, SDN 2 Jatiroto, SMPN 2 Gombang, dan SMA 1 Kebumen. Setelah lulus dari bangku SMA pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada jurusan Teknik Kelautan melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi intra dan ekstra kampus. Dalam organisasi intra kampus penulis aktif di UKM PSHT ITS 2015/2016, Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS tahun kepengurusan 2016/2017 dan 2017/2018. Untuk kepanitiaan, penulis pernah menjadi panitia OCEANO 2017. Untuk organisasi ekstra kampus penulis aktif di FORDA Mahasiswa Kebumen-Surabaya sebagai ketua periode 2016/2017.

Penulis juga sempat melakukan kerja praktek di PT. DPS selama 2 bulan di daerah Surabaya, Jawa Timur dengan keahlian rekayasa bangunan laut terapung. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang keahlian material dan produksi bangunan laut, dengan kajian analisis ketahanan biokorosi mikroalga pada material baja ASTM A53 terhadap variasi *heat treatment* di lingkungan laut. Untuk lebih tahu tentang penulis dapat menghubungi kontak dibawah ini.

Kontak Penulis.

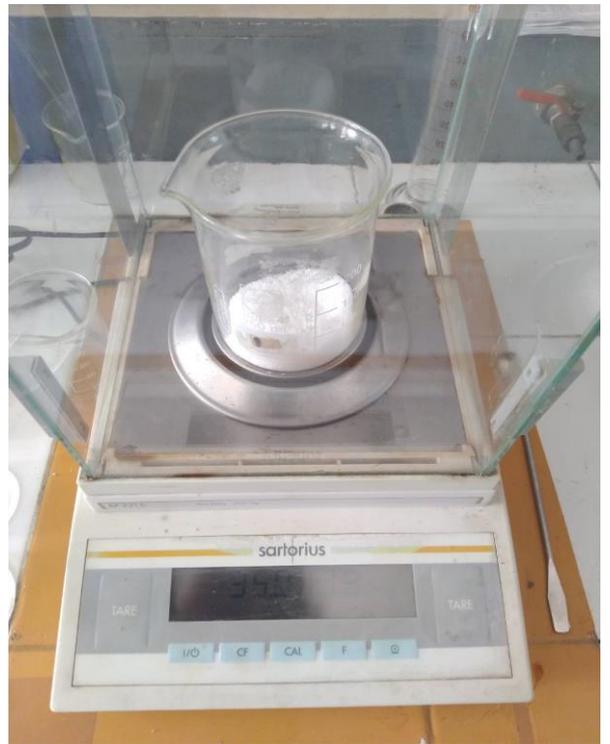
E-mail : citraegy20@gmail.com

No.Hp : 085855235934

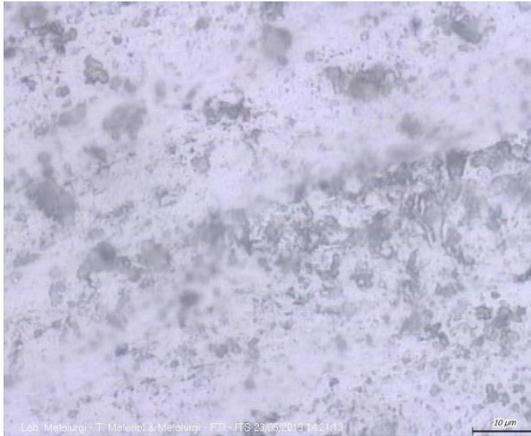
Lampiran A
Perhitungan Persentase Struktur
Mikro

No	Jenis Perlakuan	Total Kotak	Jenis Struktur 1		Jenis Struktur 2		Persentase Jenis Struktur	
			Jenis Struktur Micro	Jumlah Struktur	Jenis Struktur Micro	Jumlah Struktur	% Jenis Struktur 1	% Jenis Struktur 2
1	Full Annealing	100	Ferite	86	Pearlite	14	86%	14%
2	Normalizing	100	Ferite	61	Pearlite	39	61%	39%
3	Austempering	100	Bainite	65	Austenite Sisa	35	65%	35%
4	Hardening	100	Martensit	82	Austenite Sisa	18	82%	18%
5	Non-Heat Treatment	100	Ferite	52	Pearlite	48	52%	48%

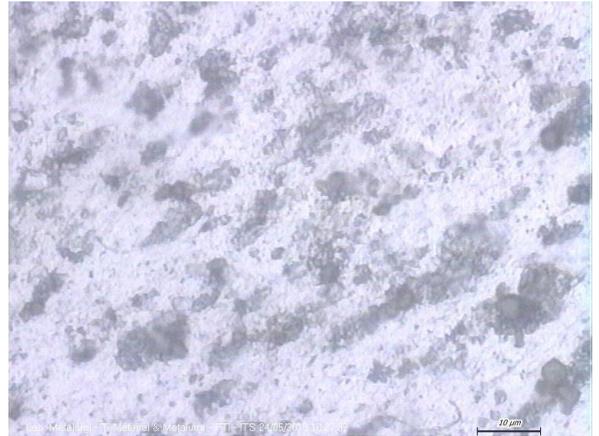
Lampiran B
Dokumentasi Penelitian Biokorosi
Mikroalga



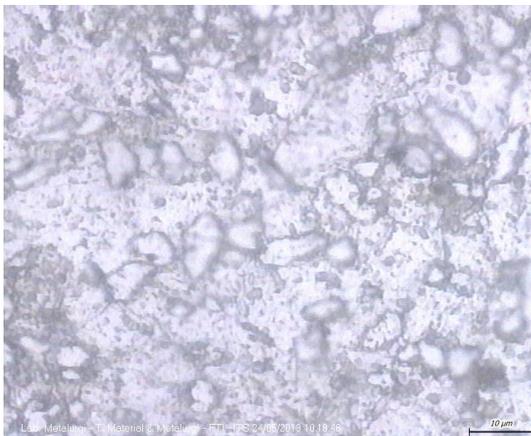
Lampiran C
Foto Metalografi Sebelum Uji Korosi



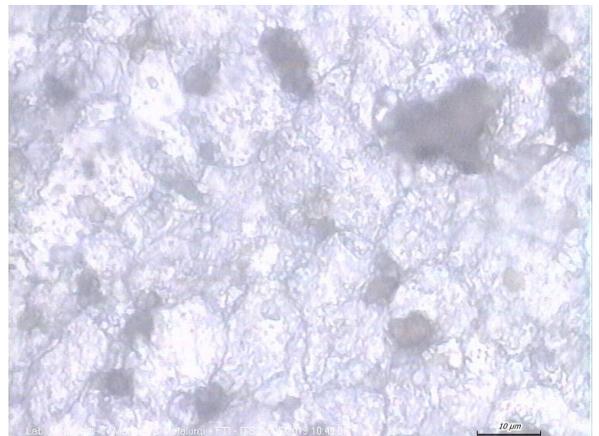
Non Heat Treatment (100X)



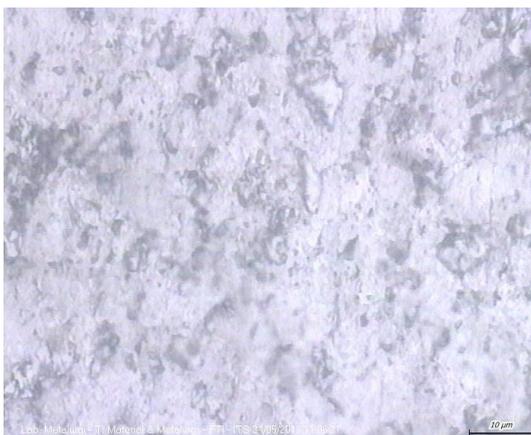
Normalizing (100X)



Hardening (100X)

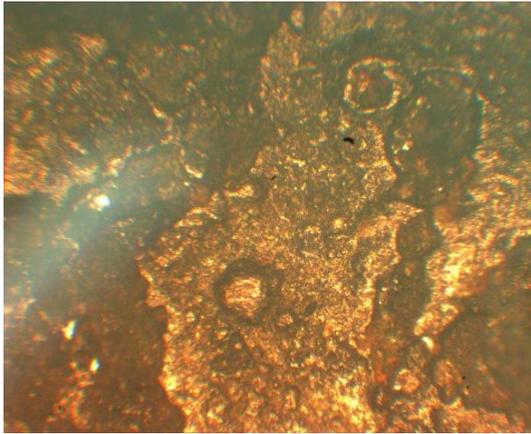


Full Annealing (100X)

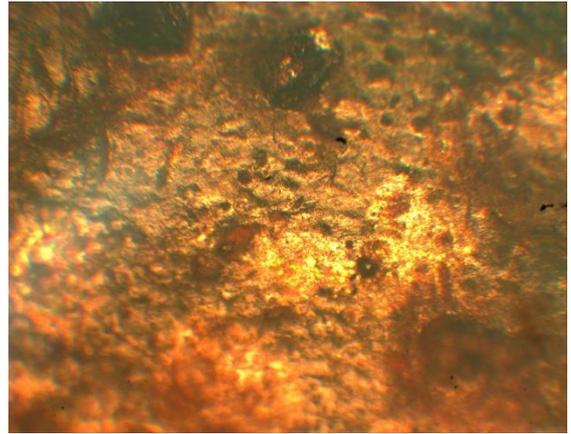


Austempering (100X)

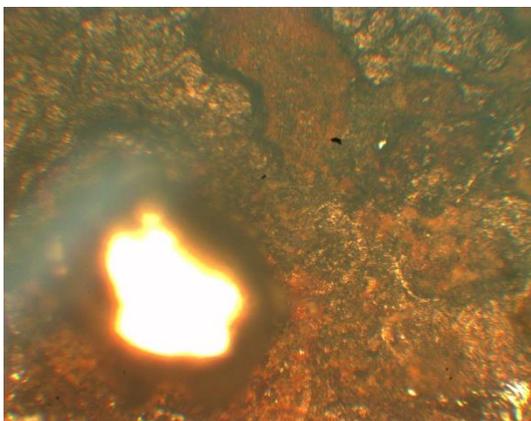
Lampiran D
Foto Metalografi Setelah Uji Korosi



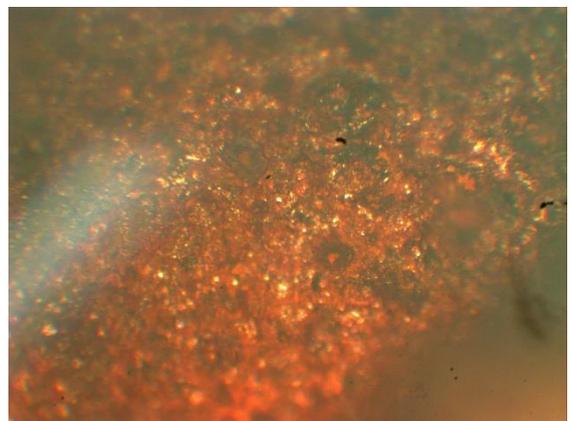
**Non Heat Treatment + Mikroalga
(100X)**



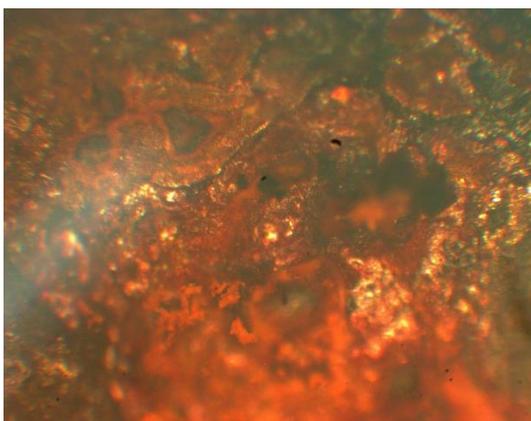
**Non Heat Treatment Non-
Mikroalga (100X)**



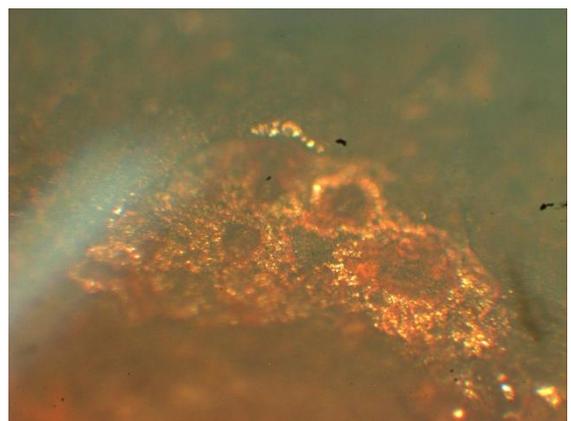
**Hardening + Mikroalga
(100X)**



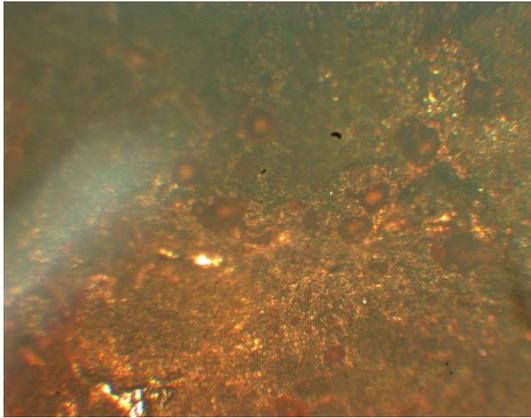
**Hardening Non-Mikroalga
(100X)**



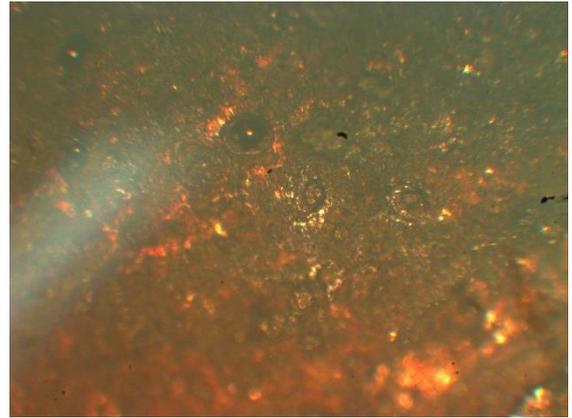
**Austempering + Mikroalga
(100X)**



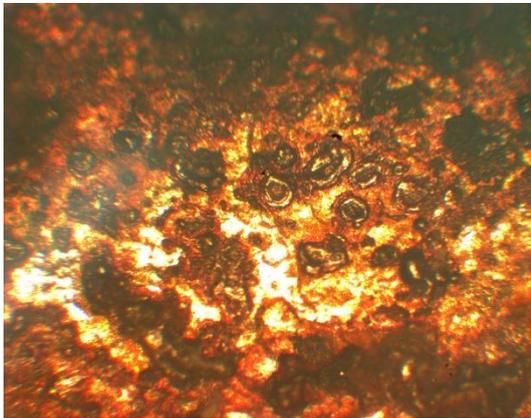
**Austempering Non-Mikroalga
(100X)**



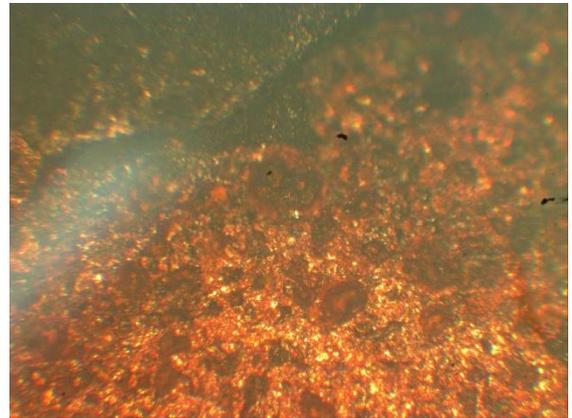
**Normalizing + Mikroalga
(100X)**



**Normalizing Non-Mikroalga
(100X)**



**Full Annealing + Mikroalga
(100X)**



**Full Annealing Non-Mikroalga
(100X)**