



TUGAS AKHIR - MO1326

ANALISIS PENGARUH *HEAT TREATMENT* TERHADAP LAJU KOROSI DAN SIFAT MEKANIS MATERIAL PIPA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN LAUT

Bayu Dwi Handoko

NRP. 4313.100.030

Dosen Pembimbing:

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

Dirta Marina C, S.T., M.T

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



FINAL PROJECT - MO1326

**ANALYSIS OF EFFECT HEAT TREATMENT ON CORROSION
RATE AND MECHANICAL PROPERTISE AT STEEL PIPE API 5L
GRADE B IN THE MARINE ENVIRONMENT**

Bayu Dwi Handoko

NRP. 4313.100.030

Supervisor:

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

Dirta Marina C, S.T., M.T

Departmen Ocean Engineering

Faculty Of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017

Analisis Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Material Pipa Baja API 5L Grade B di Lingkungan Laut

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Progam Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

BAYU DWI HANDOKO

Oleh

NRP. 4313100030

Disetujui oleh:

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

2. Dirta Marina C, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc, Ph.D. (Penguji 2)

5. Wimala L. Dhanista, ST., MT. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2017

Analisis Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Material Pipa Baja API 5L Grade B Di Lingkungan Laut.

Nama : Bayu Dwi Handoko
NRP : 4313100030
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
Dirta Marina C, S.T., M.T.

Abstrak :

Telah dilakukan penelitian 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. 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 magnetik (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 pipa baja API 5L grade B di lingkungan laut.

Kata kunci: Heat Treatment, Immersion corrosion test, Pipa Baja API 5L grade B

Analysis of Effect *Heat Treatment* on Corrosion Rate and Mechanical Properties At Steel Pipe API 5L Grade B In the Marine Environment

Name : Bayu Dwi Handoko
NRP : 4313100030
Department : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
Dirta Marina C, S.T., M.T.

Absctract :

Corrosion rate research of steel pipe material of API 5L grade B. In this research, corrosion rate testing on API 5L grade B steel pipe with heat treatment process variation. Variations of heat treatment process chosen are hardening, normalizing, full annealing and austempering. After heat treatment the material will be subjected to immersion corrosion test on artificial seawater (salinity, 33 ‰, 35 ‰, and 37 ‰). From the results of this study obtained the material without heat treatment (non-heat treatment) has the highest rate of corrosion in each concentration of 33 ‰, 35 ‰ and 37 ‰ is 2,700 mpy, 2,740 mpy, and 2,820 mpy. While the material with heat treatment full Annealing has the lowest corrosion rate value among other heat treatment, the value of corrosion rate in each tested concentration of 33 ‰, 35 ‰ and 37 ‰ is 2,031 mpy, 2,206 mpy, and 2,340 mpy. Microstructure and macrostructure photographs showed that after microstructural photographs there were pitting and uniform corrosion products while macrostructure photographs produced a blackish brown precipitate which was magnetic (Fe_3O_4) and a brownish red color that was $Fe(OH)_3$ and $FeOOH$. From the results of this study obtained the heat treatment type of full annealing is the type of treatment is best in inhibiting the occurrence of corrosion rate on API 5L steel pipe material in the marine environment.

Key words: *Heat Treatment, Immersion corrosion test, API 5L Grade B Steel Pipe.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah dan inayah-Nya, serta tak lupa solawat serta salam senantiasa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Analisa Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Material Pipa Baja API 5L Grade B Di Lingkungan Laut**. Laporan 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 (ITS).

Didalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis tidak lepas dari kesulitan-kesulitan yang disebabkan karena keterbatasan ilmu dan waktu untuk menginterpretasikan secara baik dan benar. Berkat semangat, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak yang dengan penuh kesabaran, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Buku laporan Tugas Akhir ini memuat semua aspek pelaksanaan yang mencakup penyampaian gagasan awal, teori pendukung, metodologi pelaksanaan penelitian, analisa dan pembahasan serta yang terakhir kesimpulan dan saran.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kesalahan yang ditemui dalam laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu kritik dan saran yang membangun merupakan sebuah apresiasi yang berharga untuk penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini serta menjadi koreksi bagi semua pihak yang nantinya memanfaatkan buku ini sebagai referensi. Untuk penulis sendiri kritik dan saran akan dijadikan sebagai bahan untuk evaluasi dan meningkatkan kualitas pemahaman ilmu yang dipelajari. Harapan penulis semoga laporan Tugas Akhir ini berguna bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Bayu Dwi Handoko

UCAPAN TERIMAKASIH

Selama penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, semangat dan dukungan moral maupun spiritual dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis (Bapak Djuli- Ibu Sholihah) dan adik Selvia Khoirinnida yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan, nasihat, kasih sayang, doa, dukungan moral dan materi dan segalanya bagi penulis
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama serta koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir.
4. Ibu Dirda Marina C, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Drs. M. Musta'in, M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan saran, masukan, serta nasihat-nasihat yang membangun selama berkuliah di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
6. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T selaku Kepala Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
7. Bapak dan Ibu dosen penguji, Bapak Ir. J.J. Soedjono, M.Sc., Bapak Ir. Wisnu Wardhana, SE, M.Sc, Ph.D, Ibu Wimala L. Dhanista, ST., MT terimakasih atas saran dan masukan yang diberikan selama sidang Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen-dosen pengajar di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah memberikan ilmunya selama perkuliahan.
9. Seluruh Karyawan dan Staff Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah memberikan bantuan dalam hal administrasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.

10. Bapak Bambang Sumantri S.T selaku teknisi di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), yang telah meluangkan waktunya dan membantu pelaksanaan praktikum dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Bapak Agus dan Bapak Gatot selaku teknisi di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah meluangkan waktunya dan membantu pelaksanaan praktikum dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
12. Bapak Didik selaku teknisi di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah meluangkan waktunya dan membantu pelaksanaan praktikum dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
13. Ibu Iin selaku teknisi di laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah meluangkan waktunya dan membantu pelaksanaan praktikum dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
14. Teman-Teman Seperjuangan di “GEMA COMPANY”, Pieter Ardianto, M. Faris Fatululloh, Hasri Palgunadhi, Asfarur Ridlwan, Farid Vega Ardian yang selalu menjadi solusi ditengah-tengah kesulitan yang datang dalam segala hal.
15. Teman- teman Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) Komisariat Perkapalan Sepuluh Nopember periode 2016-2017 GL 14 Pieter, Faris, Hasri, Wahyu, Bagus Kacong, Kakim, Mirza, Defi AM, Rosi, Denta, Toni febri, Abid, Owi, Miko dll terimakasih ilmu dan kebersamaan yang pernah terjalin dengan erat.
16. Ny.Defi Anggraini Melawati yang telah memberikan support, kritik, dan nasehat yang tak henti-hentinya kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
17. Teman seperjuangan Tugas Akhir Nurika Primiliana yang telah membantu dan meluangkan waktunya selama pengerjaan Tugas Akhir di Laboratorium.
18. Teman setia susah dan senang Pieter Ardianto terimakasih atas pengorbanan, nasihat, waku luang, serta kritik dan saran yang membangun bagi penulis.
19. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir “PAK HERMAN SQUAD” Nurika, Yuda, Hasri, Asni, Astid, Pieter, Lidya, Wildan, Laudy, Kalila, Yossy, Farid,

Robby, Ina, Hani, Cicil, Mano, Danang, yang telah berjuang bersama-sama dari awal sampai akhir.

20. Teman-teman seperjuangan angkatan 2013 “VALTAMERI” yang telah membantu memberikan saran dan masukan dan bersama-sama berjuang.
21. Serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesa Awal	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Baja.....	5
2.2.2 Pipa Baja API 5L Grade B	6
2.2.3 Perlakuan Panas	6
2.2.3.1 Definisi Perlakuan Panas	6
2.2.3.2 Proses Perlakuan Panas	7
2.2.4 Diagram Fase Fe- Fe ₃ C.....	7
2.2.4.1 Ferite.....	8
2.2.4.2 Austenite.....	9
2.2.4.3 Cementite.....	9
2.2.4.4 Martensite.....	9
2.2.4.5 Ledeburite.....	9
2.2.4.6 Pearlite.....	9

2.2.5 Transformasi pada saat pemanasan ekuilibrium.....	10
2.2.6 Transformasi pada saat pendinginan ekuilibrium.....	10
2.2.7 Transformasi pada saat pemanasan non-ekuilibrium	12
2.2.8 Diagram Transformasi	12
2.2.8.1 Diagram transformasi untuk pemanasan	12
2.2.8.2 Diagram transformasi untuk pendinginan	13
2.2.9 Jenis- Jenis Perlakuan Panas.	15
2.2.9.1 Hardening	15
2.2.9.2 Normalizing.....	16
2.2.9.3 Full Annealing.....	17
2.2.9.4 Austempering	18
2.2.10 Korosi.	19
2.2.10.1 Definisi korosi	19
2.2.11 Jenis – jenis Korosi.....	20
2.2.11.1 Korosi seragam (<i>Uniform Corrosion</i>)	20
2.2.11.2 Korosi Sumuran (<i>pitting corrosion</i>)	20
2.2.11.3 Korosi Galvanik (<i>Galvanic Corrosion</i>).....	21
2.2.11.4 Korosi Celah (<i>Crevice Corrosion</i>)	22
2.2.11.5 Korosi Batas butir (<i>Intergranular Corrosion</i>).....	22
2.2.11.6 Korosi Erosi (<i>Errosion corrosion</i>)	23
2.2.11.7 Korosi Tegangan (<i>Stress Corrosion</i>).....	23
2.2.11.8 Korosi Biologi	24
2.2.12 Mekanisme Terjadinya Korosi di Lingkungan Laut.	24
2.2.13 Laju Korosi.....	27
2.2.14 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.	28
2.2.14.1 Temperature.....	28
2.2.14.2 Kadar pH	28
2.2.14.3 Gas terlarut	28
2.2.14.4 Bakteri pereduksi (<i>Sulfat Reducing Bacteria</i>).....	29
2.2.14.5 Padatan Terlarut.....	29
2.2.14.6 Faktor Metalurgi.....	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan	33

3.2.1	Alat-alat yang digunakan.....	33
3.2.1.1	Mesin Gergaji Besi Bolak - Balik (<i>Hacksawing Macine</i>)	33
3.2.1.2	Gerinda	33
3.2.1.3	Dapur Pemanas	34
3.2.1.4	Peralatan Girindhing dan Polishing.....	34
3.2.1.5	Peralatan Uji Kekerasan	35
3.2.1.6	Peralatan Pengujian Etsa (<i>Etching</i>)	35
3.2.1.7	Peralatan Uji Metalografi	36
3.2.1.8	Timbangan Digital.....	36
3.2.1.9	Tabung Elenmeyer , Beaker Glass	37
3.2.1.10	Tiang Penggantung Spesimen	37
3.2.1.11	Hair Drayer	38
3.2.2	Bahan.....	38
3.2.2.1	Pipa Baja API 5L Grade B	38
3.2.2.2	Air untuk Pendinginan Proses Hardening	39
3.2.2.3	Larutan Nital.....	39
3.2.2.4	Larutan HCL untuk Proses Pickling.....	40
3.2.2.5	NaCl (Powder) dan Aquades	40
3.3	Prosedur Penelitian	41
3.3.1	Studi Literatur.....	41
3.3.2	Pembuatan Spesimen Uji.....	41
3.3.2.1	Material Pipa Baja API 5L Grade B.....	42
3.3.2.2	Pemotongan Material.....	43
3.3.2.3	Spesimen Uji Awal.....	44
3.3.2.4	Material Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) ...	44
3.3.2.5	Material Perlakuan Panas Hardening	45
3.3.2.6	Material Perlakuan Panas Normalizing	46
3.3.2.7	Material Perlakuan Panas Full Annealing	46
3.3.2.8	Material Perlakuan Panas Austempering.....	47
3.3.2.9	Uji Kekerasan	48
3.3.2.10	Uji Metalografi	59
3.3.2.11	Pickling Spesimen Uji	51
3.3.2.12	Penghalusan Permukaan Spesimen Uji	51

3.3.2.13 Pembersihan Spesimen Uji dan Penimbangan Berat Awal	52
3.3.2.14 Foto Makrostruktur.....	52
3.3.2.15 Spesimen Uji Siap	53
3.3.3 Pembuatan Larutan Uji.....	53
3.3.4 Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	55
3.3.5 Pembersihan Spesimen.....	56
3.3.6 Penimbangan Berat.....	57
3.3.7 Analisa Berat	57
3.3.8 Perhitungan Laju Korosi.....	57
3.3.9 Foto Mikrostruktur dan Makrostruktur	58
3.3.10 Analisis dan Kesimpulan.....	58
3.3.11 Kesimpulan	58

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perlakuan Panas Hardening	59
4.2 Perlakuan Panas Normalizing.....	60
4.3 Perlakuan Panas Full Annealing.....	61
4.4 Perlakuan Panas Austempering	61
4.5 Data dan Analisis Hasil Pengujian Kekerasan.....	62
4.5.1 Kekerasan Material Spesimen Uji Non- Heat Treatment.....	63
4.5.2 Kekerasan Material Spesimen Uji Hardening	63
4.5.3 Kekerasan Material Spesimen Uji Normalizing	64
4.5.4 Kekerasan Material Spesimen Uji Full Annealing.....	64
4.5.5 Kekerasan Material Spesimen Uji Austempering	65
4.6 Data dan Analisis Hasil Pengujian Metalografi Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>).....	65
4.6.1 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	71
4.6.2 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>).....	72

4.6.3 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Normalizing Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	73
4.6.4 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>).....	74
4.6.5 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	75
4.7 Data dan Analisa Hasil Pengujian Metalografi Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>).....	76
4.7.1 Analisis Foto Makrostruktur Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) Material Pipa Baja API 5L Grade B Seblum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>).....	81
4.7.2 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Seblum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	82
4.7.3 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Normalising Material Pipa Baja API 5L Grade B Seblum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	83
4.7.4 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Seblum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	83
4.7.5 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Seblum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (<i>Immersion Corrosion Test</i>)	84
4.8 Data Hasil Pengujian <i>Immersion Corrosion test</i>	84
4.9 Perhitungan Laju Korosi.....	87

4.10 Pengaruh Perlakuan Panas dan Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.....	88
4.10.1 Analisa Pengaruh Tanpa Perlakuan Panas (<i>Non-Heat Treatment</i>) Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi) ..	88
4.10.2 Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi	89
4.10.3 Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Normalising Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi	90
4.10.4 Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi	91
4.10.5 Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
BIODATA DIRI	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fase Besi-Karbon	8
Gambar 2.2 Tahap Perubahan Baja Hypoeutektoid, Eutektoid, Hypereutektoid ...	11
Gambar 2.3 Perubahan Struktur Mikro Pemanasan Baja.....	13
Gambar 2.4 Perubahan Struktur Pendinginan pada Baja	14
Gambar 2.5 Pendinginan Kontinyu Baja Eutektoid.....	15
Gambar 2.6 Temperatur Austenisasi Untuk Pengerasan Baja Karbon	16
Gambar 2.7 Temperatur Austenisasi Normalizing Baja Karbon	17
Gambar 2.8 Skema Perubahan Selama Proses Anil Baja 0,2 %C	18
Gambar 2.9 Temperatur Austenisasi Normalizing Baja Karbon	19
Gambar 2.10 Korosi Seragam pada Lambung Kapal.....	20
Gambar 2.11 Contoh Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>) pada Pipa	21
Gambar 2.12 Proses Terjadinya Korosi Galvanic.....	21
Gambar 2.13 Korosi Celah pada Sambungan Pipa	22
Gambar 2.14 Korosi Batas Butir (<i>Intergranular Corrosion</i>).....	22
Gambar 2.15 Korosi Erosi pada Pipa.....	23
Gambar 2.16 korosi Tegangan (<i>Stress Corosion</i>).....	23
Gambar 2.17 Korosi Biologis pada Pipa.....	24
Gambar 2.18 Mekanisme Terjadinya Korosi pada Zinc dengan Larutan HCL	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2 Mesin Gergaji Besi Bolak-balik.....	33
Gambar 3.3 Gerinda	34
Gambar 3.4 Dapur Pemanas Merek Nabertherm	34
Gambar 3.5 Mesin Girinding atau Polishing.....	35
Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan.....	35
Gambar 3.7 Petri Dish untuk Membuat Larutan Etsa	36
Gambar 3.8 Peralatan Uji Metalografi	36
Gambar 3.9 Timbangan Digital	37
Gambar 3.10 Gelas Ukur, Tabung Elenmeyer	37
Gambar 3.11 Tiang Penggantung Spesimen Uji	38
Gambar 3.12 Hair Drayer.....	38
Gambar 3.13 Dimensi Ukuran Material Spesimen Uji	39
Gambar 3.14 Air Sebagai Media Pendingin	39
Gambar 3.15 Larutan Nital untuk Uji Etsa	39

Gambar 3.16 Larutan HCL untuk proses pickling	40
Gambar 3.17 NaCl (Powder), Aquades.....	40
Gambar 3.18 Diagram Alir Pembuatan Spesimen Uji	42
Gambar 3.19 Material Pipa Baja API 5L Grade B.....	43
Gambar 3.20 Dimensi Ukuran Material Spesimen Uji	43
Gambar 3.21 Proses Pemotongan Material Spesimen Uji	44
Gambar 3.22 Spesimen Awal Material Spesimen Uji	44
Gambar 3.23 Spesimen Awal Material Spesimen Uji	45
Gambar 3.24 Furnace, Proses Pendinginan, Material yang Sudah di Hardening ..	45
Gambar 3.25 Furnace, Material Hasil Normalizing.....	46
Gambar 3.26 Furnace, Material Hasil Full Annealing.....	47
Gambar 3.27 Furnace, Salt Balt, Material Hasil Austempering	48
Gambar 3.28 mesin polisher, material yang sudah dipolishing	48
Gambar 3.29 Alat Uji Kekerasan Digital Brinell Hardeness Test.....	49
Gambar 3.30 Alat Untuk Gerindhing dan Polishing.....	49
Gambar 3.31 Alat untuk etsa.....	50
Gambar 3.32 Mikroskop Optik Untuk Uji Metalografi	50
Gambar 3.33 Proses Pickling, Hasil dari Pickling	51
Gambar 3.34 Material Spesimen Uji yang Sudah Digosok	52
Gambar 3.35 Timbangan Digital	52
Gambar 3.36 Mikroskop Untuk Foto Makrostruktur.....	53
Gambar 3.37 Material Spesimen Uji yang Sudah Digosok	53
Gambar 3.38 NaCl Powder, Tabung Elenmeyer, Gelas Ukur	55
Gambar 3.39 Larutan NaCl Untuk Pengujian Korosi	55
Gambar 3.40 Proses Pengujian Korosi.....	56
Gambar 3.41 Material Spesimen Uji yang Sudah Dibersihkan	56
Gambar 3.42 Proses Penimbangan Berat Material Spesimen Uji.....	57
Gambar 4.1 Furnace, Proses Pendinginan, Material yang Sudah di Hardening	60
Gambar 4.2 Furnace, Material Hasil Normalizing.....	60
Gambar 4.3 Furnace, Material Hasil Full Annealing.....	61
Gambar 4.4 Furnace, Salt Balt, Material Hasil Austempering	62
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Nilai Kekerasasan Dengan Jenis Perlakuan Panas	63
Gambar 4.6 Proses Pengujian Immersion Corrosion Test	85
Gambar 4.7 Grafik Laju korosi material uji.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Kandungan Kimia Pipa Baja API 5L Grade B	6
Tabel 2.2 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi	27
Tabel 3.1 Kandungan Kimia Pipa Baja API 5L Grade B	38
Tabel 3.2 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^{A B}	54
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekerasan Material Spesimen Uji	62
Tabel 4.2 Struktur Mikro Hasil Pengujian Metalografi Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi.....	66
Tabel 4.3 Foto Makrostruktur Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi.....	76
Tabel 4.4 Warna Produk Karat Pada Baja Karbon	82
Tabel 4.5 Data Hasil weight loss pengujian korosi <i>immersion corrosion test</i> material Non-Heat Treatment.....	85
Tabel 4.6 Data Hasil Weight Loss Pengujian Korosi <i>Immersion Corrosion Test</i> Material Hardening.....	85
Tabel 4.7 Data Hasil Weight Loss Pengujian Korosi <i>Immersion Corrosion Test</i> Material Normalizing	86
Tabel 4.8 Data Hasil Weight Loss Pengujian Korosi <i>Immersion Corrosion Test</i> Material Full Annealing	86
Tabel 4.9 Data Hasil Weight Loss Pengujian Korosi <i>Immersion Corrosion Test</i> Material Austempering	86
Tabel 4.10 Perhitungan Laju Korosi Keseluruhan Spesimen (mpy).....	87

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Data Dimensi Spesimen
LAMPIRAN 2	Data Perhitungan Luas Permukaan
LAMPIRAN 3	Nilai Konstanta Dalam Satuan Laju Korosi
LAMPIRAN 4	Perhitungan Nilai Laju Korosi Spesimen
LAMPIRAN 5	Hasil Uji Metalografi Spesimen Sebelum Uji Korosi
LAMPIRAN 6	Hasil Uji Metalografi Spesimen Sesudah Uji Korosi
LAMPIRAN 7	Foto Makrostruktur Spesimen Sebelum Uji Korosi
LAMPIRAN 8	Foto Makrostruktur Spesimen Sesudah Uji korosi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Minyak bumi dan gas bumi adalah salah satu sumber energi yang semakin lama permintaannya semakin meningkat. Meningkatnya permintaan terhadap minyak bumi dan gas bumi mengakibatkan proses eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber baru harus terus dilakukan guna memenuhi kebutuhan tersebut. Seiring perkembangan teknologi proses eksplorasi dan eksploitasi mengalami pergeseran dari yang awalnya hanya mengesplorasi dan mengesplotasi sumber-sumber yang ada didarat (*onshore*) kini sudah beralih dilaut dalam (*offshore*). Untuk mendukung proses tersebut dibutuhkan teknologi pendukung salah satunya adalah sistem perpipaan. Sistem perpipaan berguna dalam menyalurkan minyak bumi dan gas bumi hasil eksplorasi dan eksploitasi ke tempat yang dituju. Dalam operasinya pipa yang menjadi elemen penting dalam sistem tersebut sangat rentan untuk terkena korosi mengingat letaknya yang berada didasar laut dan temperatur yang melewatinya cukup tinggi hal ini semakin menambah potensi besar terjadinya korosi.

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam (Supriyanto, 2007). Cepat lambatnya suatu material terkorosi erat kaitannya dengan laju korosi sedangkan laju korosi sendiri pada lingkungan netral normalnya adalah sebesar 1 mpy atau kurang. Laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: air, kandungan gas dan padatan terlarut, temperatur, seleksi material, PH, bakteri pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (ASM Internasional, 2003). Seleksi material adalah salah satu elemen yang penting untuk diperhatikan terutama di industri minyak dan gas. Material yang bagus tentunya akan berdampak positif pada banyak hal baik itu ketahanan material, nilai ekonomis, serta *life time* material itu sendiri. Salah satu usaha untuk menghasilkan material yang bagus dan memiliki ketahanan korosi yang baik adalah dengan

perlakuan panas (*Heat Treatment*). Perlakuan panas (*Heat Treatment*) dapat meningkatkan kualitas material yang diinginkan. Pada penelitian kali ini akan dilakukan beberapa variasi perlakuan panas (*Heat Treatment*) pada material pipa baja API 5L grade B, sehingga didapatkan jenis perlakuan panas yang paling baik dalam menghambat terjadinya laju korosi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *Heat Treatment* terhadap laju korosi material pipa baja API 5L grade B pada medium pengujian yaitu air laut buatan?
2. Bagaimana struktur mikro dan makro dari material pipa baja API 5L grade B sebelum dan sesudah mengalami korosi ?
3. Jenis *Heat Treatment* manakah yang paling baik untuk menghambat terjadinya laju korosi pada material pipa baja API 5L grade B di Lingkungan laut?

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan pengaruh *Heat Treatment* terhadap laju korosi material pipa baja API 5L grade B pada medium pengujian yaitu air laut buatan.
2. Mendapatkan Struktur mikro dan makro dari material pipa baja API 5L grade B sebelum dan sesudah mengalami korosi
3. Mendapatkan jenis *Heat Treatment* manakah yang paling baik untuk menghambat terjadinya laju korosi pada material pipa baja API 5L grade B di Lingkungan laut.

1.4 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh *Heat Treatment* terhadap laju korosi material baja API 5L grade B pada medium pengujian yaitu air laut buatan, sehingga nantinya proses *Heat Treatment* yang paling baik dalam menghambat laju korosi pada material baja API 5L dapat dijadikan sebagai acuan dasar dalam perlakuan material baja API 5L sebelum di aplikasikan di lingkungan laut. Dan juga hasil penelitian ini sebagai pelengkap penelitian-penelitian sebelumnya tentang pengaruh *heat treatment* terhadap laju korosi.

1.5. Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang diujikan adalah pipa baja API 5L grade B.
2. Variasi *Heat Treatment* yang digunakan adalah *hardening*, *normalising*, *full anelling* dan *austempering*.
3. Salinitas air laut buatan yang digunakan adalah 33 ‰, 35 ‰ dan 37 ‰
4. Suhu pemanasan 845⁰C dan holding time 15 menit untuk seluruh jenis perlakuan panas.
5. Material dilakukan uji Heat Treatment dan Non- Heat Treatment.
6. Material dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui tingkat kekerasan material
7. Material dilakukan uji metalografi untuk mengetahui struktur mikro dan makro material
8. Material dilakukan uji korosi *immersion corrosion test*.
9. Perhitungan laju korosi dengan 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 (*hardening*, *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 ferit yang bersifat lunak, ulet serta tahan karat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA 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 kadar salinitas tertentu.

Sumar Hadi Suryo (2010), dalam penelitiannya membahas tentang laju korosi pada material baja API 5L-X65 dimana didapatkan hasil laju korosi tertinggi terjadi pada logam dasar tanpa perlakuan normalizing sebesar 0,196 mmpj untuk korosi 2,5 jam, dan 0,147 mmpj untuk korosi 5 jam. Sedang laju korosi terendah terjadi pada logam dasar yang dinormalizing 150 menit sebesar 0,092 mmpj untuk korosi 2,5 jam, dan 0,086 mmpj untuk korosi 5 jam.

Pratikno, Herman (2007) dalam penelitiannya membahas tentang pengaruh perlakuan panas (*Austemper Processing*) pada baja untuk mengetahui perubahan strukturnya.

Febrian (2016), dalam penelitiannya membahas tentang laju korosi pada material baja API 5L Grade B dan ASTM A53 dimana material ini sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pipa bawah laut. Material akan diberikan perlakuan panas sebelum dilakukan *immersion corrosion test* pada air laut buatan (salinitas 35%) yang telah ditambahkan bakteri dan tanpa bakteri. Dari penelitian ini didapatkan laju korosi paling tinggi yaitu pada material ASTM A53 original dan API 5L original dengan penambahan bakteri T. Ferrooxidant berturut-turut sebesar 3.63 mpy dan 3.50 mpy. Sedangkan laju korosi paling rendah yaitu pada material ASTM A53 heat treatment dan API 5L heat treatment tanpa penambahan bakteri berturut-turut sebesar 2.33 mpy dan 2.01 mpy.

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 Automotife 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 memilki kandungan karbon ($0,30 < C < 0,70\%$) dan baja karbon tinggi ($0,70 < C < 1,40\%$). Sedangkan baja paduan terdiri dari paja paduan rendah (jumlah unsur paduan khusus $< 8,0\%$) dan baja paduan tinggi (jumlah unsur paduan khusus $> 8,0\%$).

2.2.2 Pipa Baja API 5L Grade B

Pipa baja API 5L grade B adalah jenis pipa baja yang biasa didesain untuk pipa bawah laut sebagai sarana untuk mendistribusikan minyak bumi maupun gas. Spesifikasi 5L menunjukkan jenis yang khusus digunakan untuk *offshore pipeline*. Dengan grade B menunjukkan pipa bawah laut ini mempunyai *yield strength minimum* sebesar 35.000 psi atau 241 MPa dan *ultimate tensile strength minimum* sebesar 60.000 psi atau 414 Mpa (API Standard, 2004). Unsur kandungan dari pipa baja API 5L grade B dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Tabel kandungan Kimia pipa baja API 5L grade B (API Standard, 2004)

Grade & Class	C _{max}	Mg _{max}	P _{max}	P _{min}	Su _{max}	Ti _{max}
B	0,28	1,20	0,045	0,030	0,030	0,04

Sumber: API Standard, 2004

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.

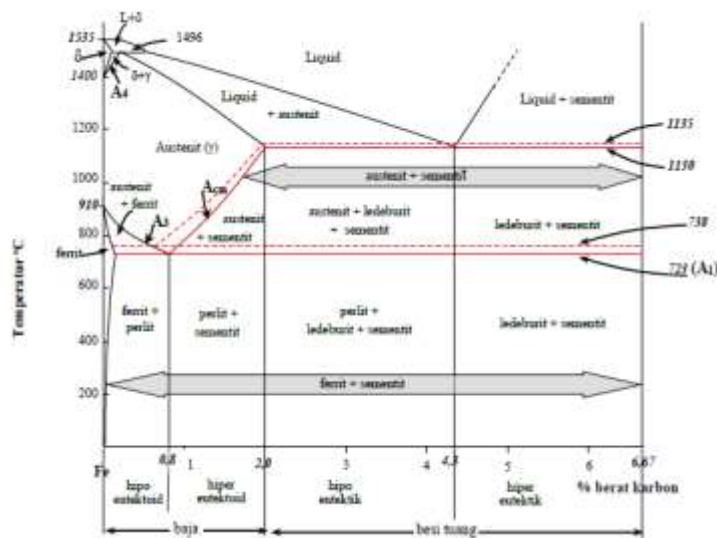
Didalam mempelajari proses perlakuan panas perlu diketahui tentang perubahan struktur atau fase pada logam. Struktur atau fase pada logam dikatakan telah mencapai ekuilibrium apabila tidak terjadi lagi perubahan struktur atau fase dengan berubahnya waktu. Struktur atau fase yang sudah mencapai keseimbangan 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 2.1). 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

Diagram fase diatas juga disebut diagram kesetimbangan. Pada diagram ini juga ditunjukkan perubahan. Perubahan fase yang terjadi pada campuran besi karbon sebagai berikut.

2.2.4.1 Ferite

Ferite adalah larutan padat karbon yang memiliki struktur kristal BCC (Body Cen-tered Cubic). Ferite mempunyai sifat antara lain stabil dibawah suhu 98⁰C, tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya sedikit, kandungan karbonnya masimum 0.0255 yaitu pada suhu kritis, lunak liat dan tahan karat serta memiliki kekerasan 60-100 HBN

2.2.4.2 Austenite.

Austenite adalah larutan padat karbon yang memiliki struktur kristal FCC (Face Centered Cubic) austenite memiliki sifat-sifat antara lain stabil disuhu 1350°C , dapat dikeraskan dengan 2% karbon, dapat ditempa dimana tegangan tariknya sekitar 50000 psi, memiliki spesifik volume yang rendah jika dibandingkan dengan mikrostruktur lain, bersifat lunak non magnetis serta memiliki kekerasan 170-200 HBN

2.2.4.3 Cementit.

Cementit adalah senyawa besi dan karbon 6.67% disebut juga karbida. Memiliki sifat-sifat stabil dibawah suhu 150°C , bersifat rapuh magnetis.

2.2.4.4 Martensite.

Martensit adalah larutan padat karbon dan besi yang terbentuk akibat pendinginan yang sangat cepat (quenching) dari austenite dengan system kristal BCT (Body centered tetragonal). Martensite memiliki sifat-sifat antara lain stabil dibawah suhu 1500°C , keras rapuh magnetis, kandungan karbin $> 0.2\%$, konduktor panas dan listrik yang lemah serta memiliki kekerasan 700-850 HBN

2.2.4.5 Ledeburite

Ledeburite yang biasa disebut juga dengan besi eutektoid memiliki kandungan karbon 0.3% yang terbentuk dibawah suhu 723°C . Memiliki sifat-sifat rapuh, keras, getas dan memiliki nilai kekerasan 700 HBN

2.2.4.6 Pearlite

Pearlite adalah baja eutektoid yang tersusun atas dua fase yaitu ferit dan cementit dengan kandungan karbon 0.83%. Perlit memiliki sifat-sifat antara lain: keras, tidak tahan karat, memiliki kekerasan 160-200 HBN.

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 non-ekuilibrium.

2.2.5 Transformasi Pada Saat Pemanasan Ekuilibrium

Pada pemanasan yang ekuilibrium terhadap besi murni transformasi allotropik dari besi menjadi besi γ berlangsung pada suhu 910°C , mulai dan selesai pada temperature yang sama atau tetap. Hal yang sama juga terjadi pada pendinginan ekuilibrium. Akan tetapi apabila sudah ada unsur lain (misal karbon) yang larut dalam besi maka transformasi allotropik akan mulai dan selesai pada temperature yang berbeda, seperti yang ada pada diagram fasenya.

Baja eutektoid dengan kadar karbon 0,8 % strukturmikronya adalah perlit. Ketika dipanaskan secara ekuilibrium akan menghasilkan reaksi eutektoid pada temperature kritis dibawah A_1 , 723°C , ferit dan sementit akan bereaksi menjadi austenit, reaksi ini berlangsung pada temperatur konstan, di A_1 . Setelah perlit habis menjadi austenit baru kemudian temperature akan naik lagi, dan struktur sekarang seluruhnya adalah austenit.

Baja hypoeutektoid, dengan kadar karbon kurang dari 0,8 %, struktur mikronya adalah terdiri dari ferit dan perlit, juga akan mengalami reaksi eutektoid pada temperatur konstan yang sama, temperature kritis dibawah A_1 , perlitnya akan menjadi austenit. Setelah perlit habis baru temperature akan naik lagi dan ferit sedikit demi sedikit akan berubah menjadi austenit. Transformasi allotropik ini selesai pada temperatur A_3 dan seluruh strukturnya adalah austenit.

Baja hypereutektoid, dengan kadar karbon lebih dari 0,8 %, struktur mikronya adalah perlit yang terbungkus oleh jaringan sementit, mengalami reaksi eutektoid pada temperatur konstan A_1 , kemudian dengan naiknya temperatur jaringan sementit akan larut ke dalam austenit. Dan jaringan ini akan habis kedalam austenit pada suhu A_{cm} .

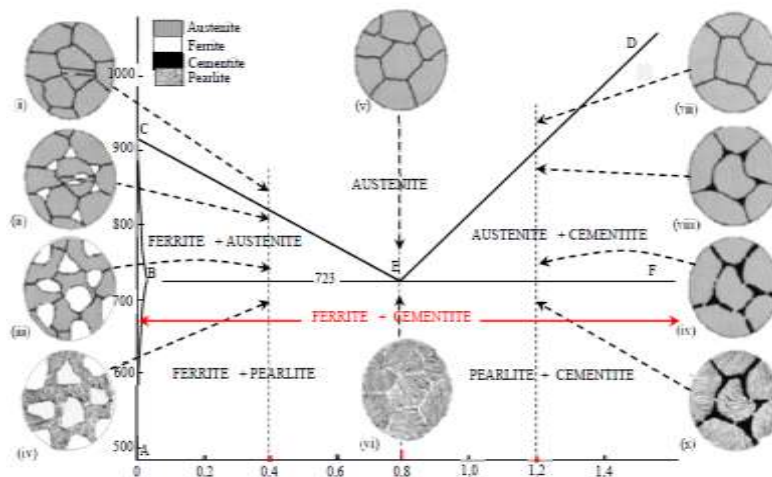
2.2.6 Transformasi Pada Saat Pendinginan Ekuilibrium

Dalam melaksanakan proses perlakuan panas seringkali pemanasan dilakukan sampai daerah austenit fase tunggal (di atas A_1 atau A_{cm}). Pada baja eutektoid dengan kadar karbon 0,8 % apabila didinginkan secara ekuilibrium akan mengalami reaksi eutektoid pada A_1 , menjadi perlit (Gambar 3.2).

Baja hypoeutektoid apabila didinginkan secara ekuilibrium akan mengalami allotropik dahulu sebelum berlangsungnya reaksi eutektoid. Pada A_3 sebagian austenit mulai bertransformasi menjadi ferit (Gambar 3.2 0,4 % C, ii-iii). Ferit

sangat sedikit melarutkan karbon, sehingga sebagian besar austenit kadar karbonnya lebih tinggi, karena itu austenit yang akan berubah menjadi ferit harus mengeluarkan karbonnya sehingga sisa austenit kadar karbon akan naik (mengikuti garis CE pada hambar 3.2). Pada A_1 austenit mencapai komposisi eutektoid dan sisa austenit akan bertransformasi menjadi perlit, sedang ferit tetap tidak mengalami perubahan. Struktur yang terbentuk selesai transformasi adalah butiran-butiran kristal ferit dan butiran-butiran perlit (Gambar 3.2, iv)

Baja hypereutektoid dengan kadar karbon 1,2 % mengalami perubahan austenit fase tunggal pada (Gambar 3.2). Apabila austenit didinginkan dengan semakin rendah temperaturnya maka kemampuan austenit melarutkan karbon akan semakin rendah hingga mencapai batas kelarutannya pada temperature A_{cm} . A_{cm} adalah garis solvus merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Dibawah A_{cm} akan ada karbon yang keluar dan membentuk sementit, selanjutnya sementit mengumpul pada batas butir austenit (Gambar 3.2. viii-ix). Keluarnya karbon mengakibatkan kadar karbon dalam austenit menurun (mengikuti garis DE Gambar 3.2) sehingga pada temperatur A_1 komposisi sisa austenit akan mencapai eutektoid, sisa dari austenit akan mengalami reaksi eutektoid menjadi perlit dan menghasilkan struktur akhir pada temperature kamar berupa perlit yang terbungkus dengan jaringan sementit (Gambar 3.2. x).



Gambar 2.2 Tahap perubahan baja hypoeutektoid, eutektoid, hypereutektoid

Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

2.2.7 Transformasi Pada Saat Pemanasan Non-Ekuilibrium

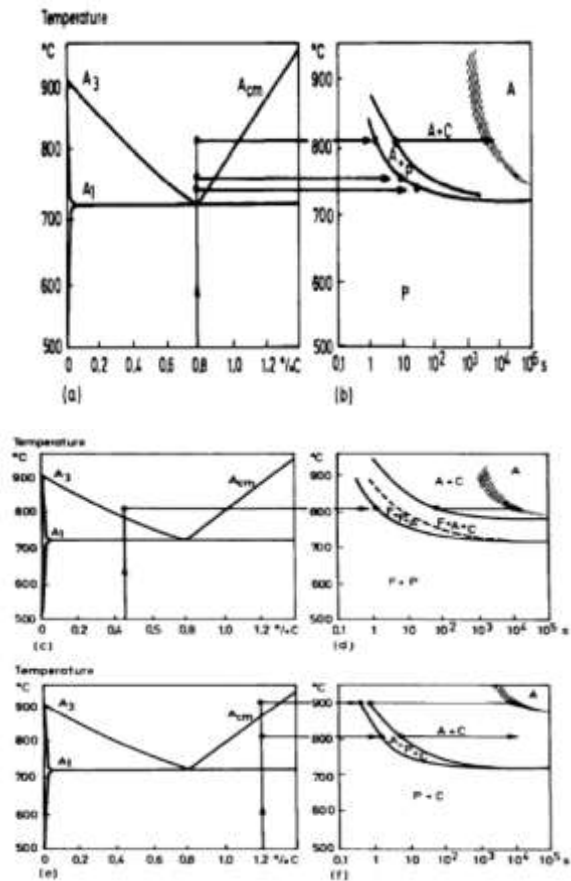
Proses perlakuan panas yang dilakukan secara non-ekuilibrium akan berbeda dengan perlakuan ekuilibrium. Temperatur tidak lagi konstan pada angka $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ akan tetapi sedikit di atasnya, sehingga reaksi eutektod tidak benar-benar pada temperatur konstan. Demikian pula dengan transformasi pendinginan non-ekuilibrium transformasi akan berlangsung pada temperatur yang lebih rendah dari pada temperatur pendinginan ekuilibrium. Untuk itu pada temperatur ini akan ada temperatur pada A_{c1} dan A_{c2} untuk pemanasan dan A_{r1} dan A_{r3} untuk pendinginan.

2.2.8 Diagram Transformasi.

Diagram fase yang telah dibahas diatas memang menjadi sebuah dasar yang sangat penting dalam proses perlakuan panas. Akan tetapi diagram fase hanya menunjukkan kondisi setelah tercapainya keadaan ekuilibrium, yaitu sebuah keadaan yang tidak berubah terhadap waktu. Keadaan tersebut dapat didekati dengan pemanasan atau pendinginan yang sangat lambat. Akan tetapi pada kenyataannya banyak proses perlakuan panas atau pendinginan dilakukan dengan tidak sangat lambat, sehingga diperlukan sebuah diagram transformasi terhadap waktu dan temperatur. Diagram ini dinamakan Time-Temperatur-Transformation Diagram atau Diagram Transformasi, dimana temperatur sebagai ordinat dan waktu sebagai absis (dengan skala logaritmik). Untuk itu akan sedikit dibahas terkait diagram transformasi untuk pemanasan dan pendinginan.

2.2.8.1 Diagram Transformasi Untuk Pemanasan

Diagram ini memperlihatkan pengaruh temperatur dan waktu terhadap perkembangan transformasi pada pemanasan. Bila suatu baja dipanaskan dengan sangat cepat ke beberapa temperatur (di daerah austenite), ditahan pada temperature tersebut dan diamati kapan mulai dan berakhirnya suatu transformasi di masing-masing temperature, maka akan diperoleh beberapa kurva yang menunjukkan mulai dan berakhirnya suatu transformasi. Untuk baja eutektoid, hypoeutektoid, dan hypereutektoid diagram transformasinya dan perubahan fase akan dijelaskan pada (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 perubahan struktur mikro pemanasan baja 0,8 %C, 0,45 %C, 1,2 %C

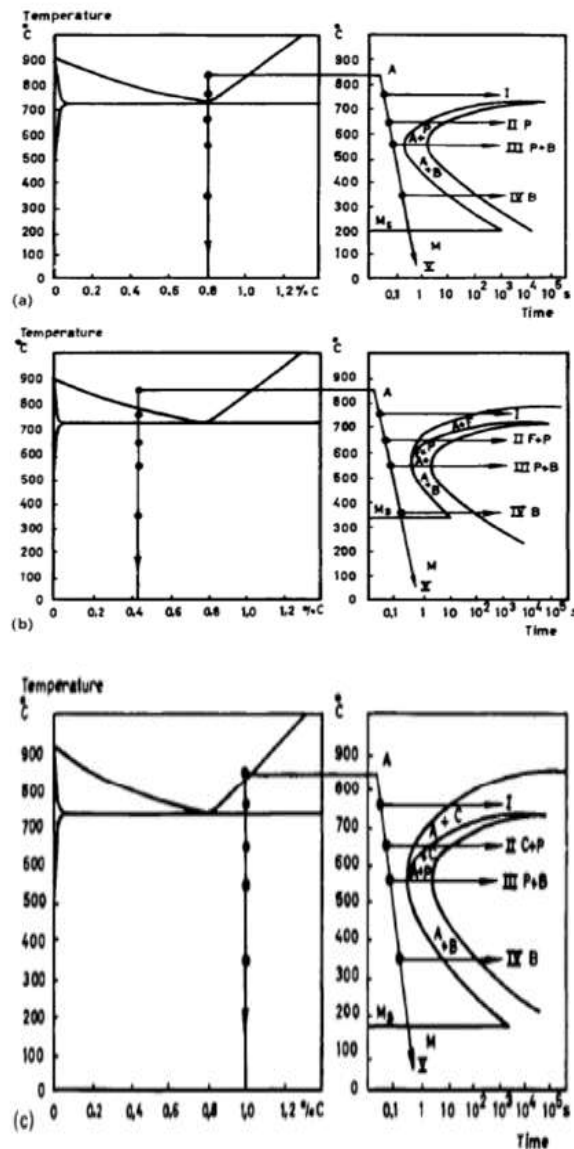
Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

Transformasi yang dijelaskan diatas adalah tranformasi yang berlangsung pada temperatur konstan, transformasi isothermal, dimana specimen dipanaskan sangat cepat ke suatu temperatur dan ditahan pada temperature tersebut sehingga dinamakan diagram tranformasi isothermal. Pemanasan dengan cara ini hanya dapat dilakukan untuk benda dengan ukuran yang kecil dan menggunakan dapur pemanasan yang khusus. Selain diagram tranformasi isothermal juga ada diagram tranformasi kontinyu yaitu tranformasi yang berlangsung dengan naiknya temperatur. Dalam praktanya diagram tranformasi pemanasan belum banyak tersedia oleh karena itu orang harus memperkirakan secara sederhana prosesnya dan melakukan holding time beberapa saat. Untuk itu perlu dipelajari komposisi kimia dari baja tersebut.

2.2.8.2 Diagram Transformasi Untuk Pendinginan

Ada dua jenis diagram tranformasi untuk pendinginan yaitu diagram tranformasi isothermal dan diagram tranformasi kontinyu. Diagram tranformasi

isothermal adalah diagram untuk transformasi yang berlangsung secara isothermal, biasa disebut TTT diagram. Specimen didinginkan cepat pada temperature yang berbeda dibawah suhu kritis kemudian ditahan pada suhu tersebut serta diamati perubahan yang terjadi. Dari setiap spesimen dicatat waktu mulai dan berakhirnya tranformasi. Untuk lebih jelasnya mengenai diagram transformasi isothermal dapat dilihat pada (Gambar 2.4) untuk jenis baja eutektoid, hypoeutektoid, dan hypereutektoid.

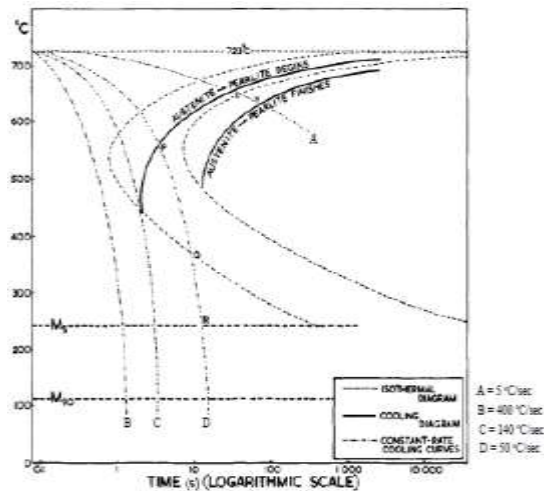


Gambar 2.4 perubahan struktur pendinginan pada baja 0,8 %C, 0,45 %C, 1,0 %C

Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

Berbeda dengan pendinginan isothermal, pendinginan yang dilakukan dengan kontinyu yaitu pada temperatur yang menurun akan menghasilkan kurva

transformasi yang berbeda. Letak kurva transformasi akan tergeser sedikit ke kanan bawah. Dan juga pada pendinginan jenis ini fase martensit akan lebih cepat di capai oleh sebuah specimen uji. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada (Gambar 2.5) untuk jenis baja eutektoid.



Gambar 2.5 pendinginan kontinyu baja eutektoid

Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

2.2.9 Jenis- Jenis Perlakuan Panas.

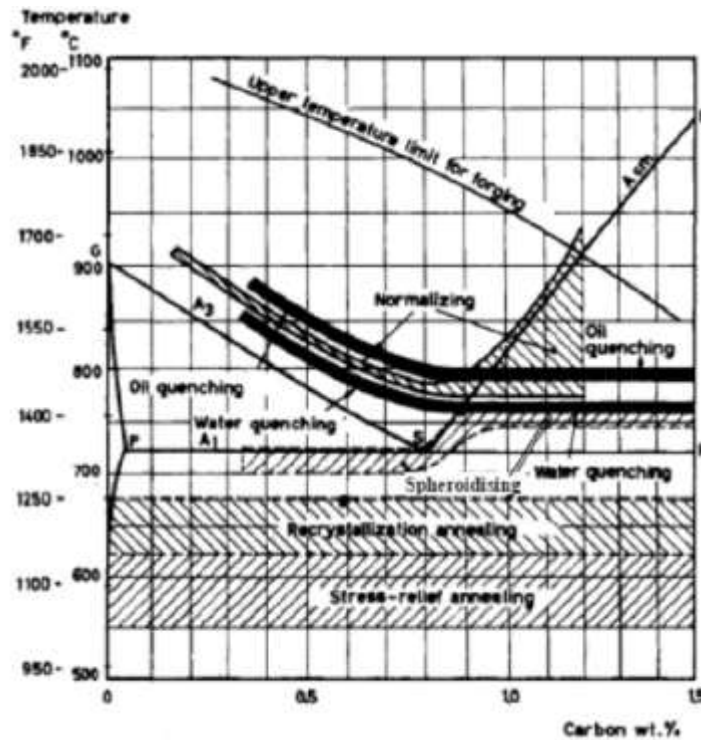
Jenis-jenis perlakuan panas pada material baja ada beberapa macam antara lain perlakuan panas hardening, annealing, normalizing dan austempering. Setiap jenis perlakuan panas mempunyai tujuan dan fungsi masing-masing. Untuk lebih jelasnya terkait tujuan dan fungsi dari masing-masing perlakuan panas akan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

2.2.9.1 Hardening

Hardening (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 hardening sendiri adalah untuk mendapatkan material baja yang memiliki sifat keras, lebih kuat dan tahan aus.

Di dalam proses hardening (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.

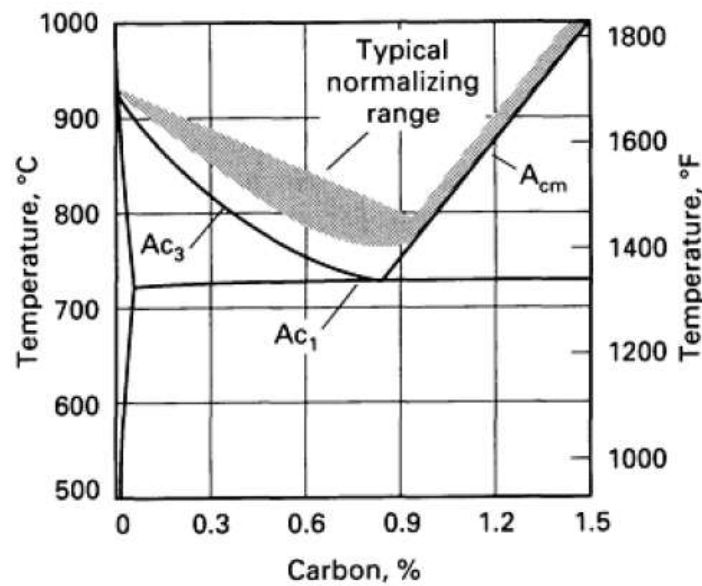


Gambar 2.6 Temperatur austenisasi untuk pengerasan baja karbon

Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

2.2.9.2 Normalising

Proses normalising 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.

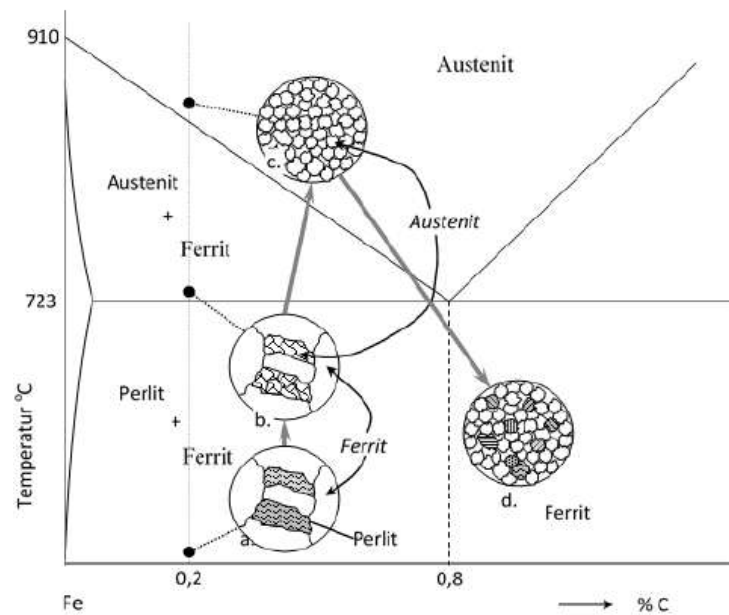


Gambar 2.7 Temperatur Austenisasi Normalising baja karbon

Sumber: ASM Metal Handbook Vol. 4

2.2.9.3 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 3.6) tentang skema perubahan strukturmikro selama proses anil baja karbon 0,2 %.



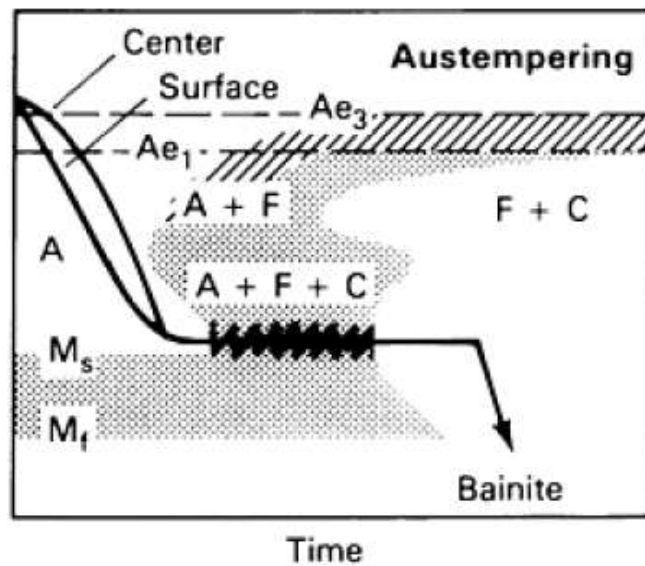
Gambar 2.8 Skema perubahan selama proses anil baja 0,2 %C

Sumber: Diktat jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

2.2.9.4 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.

Proses pencelupan tertunda seperti tampak pada gambar 3.7 disebut austempering. 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 M_s 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 2.9 Temperatur Austenisasi Normalizing baja karbon

Sumber: ASM Metal Handbook Vol.4

2.2.10 Korosi

2.2.10.1 Definisi Korosi

National Association of Corrosion Engineers (NACE) International mendefinisikan korosi sebagai kerusakan atau degradasi sifat-sifat logam yang disebabkan oleh lingkungan korosif. (Kennet dan Chamberlain, 1991) mengemukakan korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Supardi (1997) memberikan definisi bahwa korosi adalah proses pengrusakan 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.

Secara garis besar ada dua komponen penting yang mempengaruhi terjadinya korosi yaitu material dan lingkungan. Material dapat berupa logam atau non-logam, material logam terdiri dari besi, baja, alumunium, seng dan lain-lain. Sedangkan material non logam terdiri dari keramik, karet, plastik, dan lain-lain. Lingkungan dapat berupa kelembaban udara, asam atau basa, gas, temperatur, dan lain-lain. Proses korosi suatu material dapat berlangsung dengan cepat ataupun lambat, tergantung pada tingkat kereaktifan material tersebut dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi kimia, elektrokimia, atau mekanik.

2.2.11 Jenis-Jenis Korosi

Jenis-jenis korosi berdasarkan penyebabnya antara lain sebagai berikut: korosi seragam (*uniform corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi galvanik, korosi celah (*crevice corrosion*), korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), korosi tegangan (*stress corrosion*), korosi biologi. Untuk penjelasan masing-masing jenis korosi akan diuraikan sebagai berikut:

2.2.11.1 Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam (*Uniform Corrosion*) adalah jenis korosi yang pada umumnya terjadi. Korosi ini biasanya ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan yang bereaksi. Logam menjadi tipis dan akhirnya mengalami kegagalan. Logam-logam yang terkena korosi jenis ini biasanya terletak di luar dan mudah untuk dilakukan inspeksi untuk diketahui ketebalan logam yang masih diijinkan, sehingga memungkinkan dilakukan maintenance secara berkala. Jenis korosi ini bisa dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor, dan proteksi katodik.



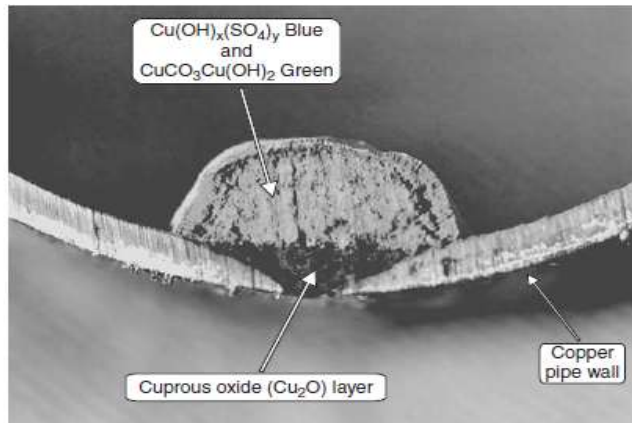
Gambar 2. 10 Korosi seragam pada lambung kapal

Sumber: CV Borneo Perkasa Teknik

2.2.11.2 Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*) adalah jenis korosi lokal yang menyerang pada daerah tertentu saja yang dapat mengakibatkan timbulnya lubang dalam logam. Lubang ini memiliki diameter yang kecil atau besar, namun dalam banyak kasus lubang yang ditimbulkan berukuran kecil. Korosi jenis ini adalah salah satu korosi yang paling merusak dan berbahaya. Hal tersebut dikarenakan dapat menyebabkan kegagalan pada logam dikarenakan mengalami penurunan massa. Korosi jenis ini juga sulit untuk mendeteksi lubang (*pit*) karena ukuran yang

kecil dan lubang-lubang tersebut tertutup oleh produk korosi. Akan tetapi korosi ini terjadi dalam rentang waktu yang cukup lama untuk dapat mengakibatkan timbulnya lubang pada logam.

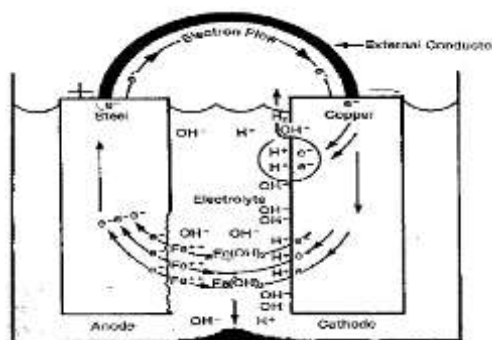


Gambar 2.11 contoh Korosi sumuran (Pitting Corrosion) pada pipa

Sumber: Russ Gren TMI

2.2.11.3 Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*) adalah jenis korosi yang terjadi antara dua logam yang memiliki perbedaan potensial dan kedua logam tersebut berada di lingkungan yang korosif. Kontak dari kedua logam tersebut akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam kurang mulia (anodik) menuju ke logam yang lebih mulia (katodik). Akibatnya logam yang kurang mulia akan berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif pada logam bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada didalam elektrolit menjadi garam metal. Akibatnya korosi akan menyerang logam yang ketahanan korosinya lebih rendah dan serangan terhadap logam yang lebih tahan korosi akan lebih sedikit.



Gambar 2.12 Proses terjadinya korosi galvanic

Sumber: pmahatrisna.wordpress.com

2.2.11.4 Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi celah adalah jenis korosi lokal yang sering terjadi pada celah dan permukaan tertutup lainnya yang berada pada lingkungan yang korosif, biasanya berada pada larutan elektrolit (air pH-nya rendah). Korosi jenis ini terjadi dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap lewat lubang, gasket, lap joint maupun baut.

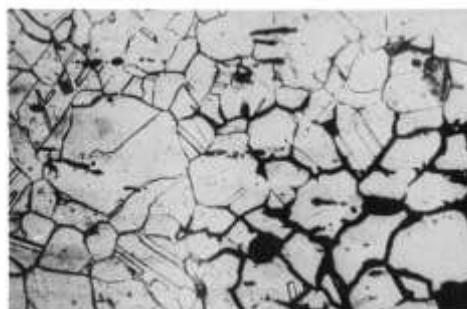


Gambar 2.13 korosi celah pada sambungan pipa

Sumber: yayan lutfi. 2014

2.2.11.5 Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Korosi batas butir (*Intergranular Corrosion*) adalah jenis korosi yang terjadi di daerah batas butir yang memiliki sifat reaktif. Jumlah batas butir dalam logam akan mempengaruhi kegunaan logam tersebut. Semakin sedikit batas butir pada material tersebut akan mempengaruhi kekuatan material, sehingga apabila logam terkena karat maka daerah batas butir tersebut akan terkena serangan terlebih dahulu serangan terhadap daerah batas butir tersebut yang biasanya dinamakan dengan korosi batas butir (*Intergranular Corrosion*).



Gambar 2.14 korosi batas butir (*Intergranular Corrosion*)

Sumber: Marine and offshore corrosion Kenneth A Chandler

2.2.11.6 Korosi Erosi (*Errosion corrosion*)

Korosi erosi (*Errosion corrosion*) adalah jenis korosi yang disebabkan oleh gerakan relative fluida yang bersifat korosif pada sebuah logam dalam kurun waktu tertentu. Pada pipa-pipa penyalur gas biasanya sering terkena korosi jenis ini dikarenakan fluida yang bersifat korosif mengalir melewati pipa tersebut dalam waktu yang cukup lama. Perubahan geometri pipa juga menjadi penyebab utama timbulnya korosi erosi karena terjadi tumbukan langsung antara material dengan fluida dengan kecepatan tertentu.

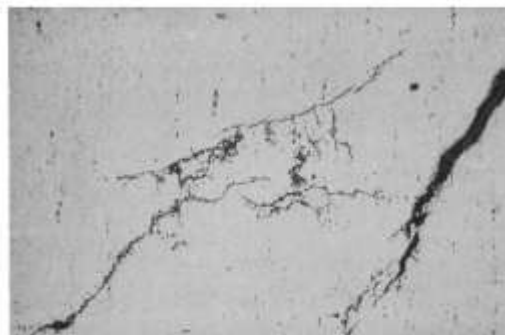


Gambar 2.15 korosi erosi pada pipa

Sumber: Marine and offshore corrosion Kenneth A Chandler

2.2.11.7 Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

Korosi tegangan (*Stress Corrosion*) adalah jenis korosi yang diakibatkan oleh adanya retakan akibat tegangan tarik serta berada pada lingkungan yang bersifat korosif. Perlindungan dengan cara coating dan pemilihan material yang tepat menjadi sebuah upaya untuk meminimalisir terjadinya korosi tegangan. Pada lingkungan laut ada beberapa material yang rentan terkena korosi tegangan antara lain Al/ Zn / Mg, Al / Mg dan Al / Cu.



Gambar 2.16 korosi Tegangan (*Stress Corosion*)

Sumber: Marine and offshore corrosion Kenneth A Chandler

2.2.11.8 Korosi Biologi

Korosi biologi adalah jenis korosi yang diakibatkan oleh aktifitas organisme hidup baik secara langsung maupun tidak langsung. Organisme tersebut bisa bersifat makroorganisme maupun mikroorganisme. Dilingkungan laut mikroorganisme seperti bakteri menjadi salah satu penyebab korosi biologis. Aktifitas metabolisme bakteri sehingga menghasilkan reaksi asam menjadi pemicu timbulnya korosi biologis.



Gambar 2.17 korosi Biologis pada Pipa

Sumber: MACAW's Pipeline Defect, published by Yellow Pencil Marketing Co.

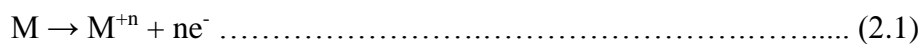
2.2.12 Mekanisme Terjadinya Korosi di Lingkungan Laut

Seperti yang telah diuraikan diatas korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Kennet dan Chamberlin, 1991). Proses korosi pada logam pada dasarnya terjadi secara elektrokimia yang berlangsung pada daerah anoda dan katoda dengan membentuk rangkaian arus tertutup (Fontana, 1987). Reaksi elektrokimia terdiri dari reaksi reduksi dan reaksi oksidasi melibatkan suatu proses transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Proses ini menghasilkan perubahan bilangan oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif. Naiknya bilangan oksidasi logam dari nol menjadi bermuatan positif menyebabkan logam dapat larut sebagai kation didalam larutan yang bersifat polar. Arus yang mengalir merupakan pergerakan elektron yang terjadi selama reaksi elektrokimia berlangsung akibat perbedaan potensial antara anoda dan katoda. Dengan demikian proses korosi merupakan proses terjadinya perubahan sebagian logam menjadi kationnya sehingga terjadi perubahan sebagian logam menjadi kationnya sehingga terjadi perubahan kualitas dan bahkan dapat

menyebabkan logam tidak dapat berfungsi sebagaimana maksud dan tujuan penggunaannya (Fadli, 2011)

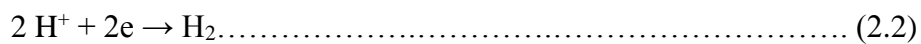
Korosi dapat terjadi apabila terpenuhinya 4 komponen dasar (Chamberlain, 1995) antara lain sebagai berikut:

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi yang menghasilkan elektron. Proses terjadinya reaksi anodik sebagai berikut.

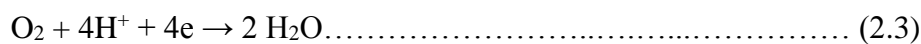


2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik. Reaksi reduksi yang sering terjadi adalah (Chamberlain, 1995) :

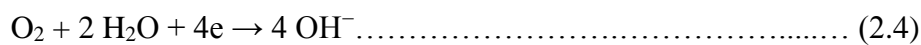
- Reaksi pembentukan hydrogen :



- Reaksi reduksi oksigen dalam larutan asam



- Reaksi reduksi oksigen dalam larutan basa/netral



- Reaksi reduksi logam

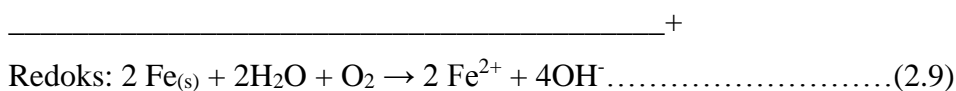
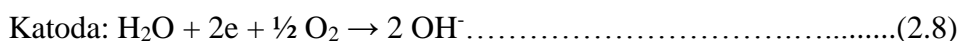


- Deposisi logam



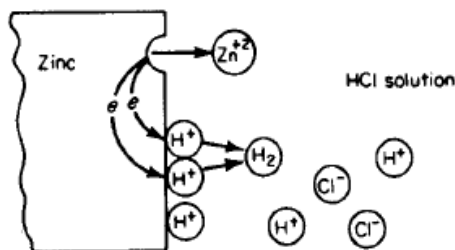
3. Pengantar listrik, dimana diantara katoda dan anoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir.
4. Elektrolit, sebuah media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

Didalam prakteknya didunia industri sebagai contoh pipa penyalur gas sering mengalami proses korosi. Hal tersebut dikarenakan pipa penyalur gas terbuat dari logam baja paduan dan berada dilingkungan air laut. Proses reaksi elektrokimianya adalah sebagai berikut:



Penjelasan dari reaksi diatas adalah pada anoda terjadi reaksi oksidasi dimana logam Fe menghasilkan ion-ion Fe^{2+} dan elektron. Sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana terjadi pelepasan ion-ion OH^- yang menyebabkan lingkungan menjadi bersifat basa atau netral. Ion OH^- berasal dari reduksi oksigen.

Logam Fe yang berlaku sebagai sel korosi akan memberikan elektron (anoda) dan lingkungannya akan menerima elektron (katoda). Logam-logam yang teroksidasi akan larut kedalam lingkungannya dan menghasilkan ion-ion logam serta melepaskan elektron secara bersamaan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi dimana ion-ion dari lingkungan mendekati logam dan menangkap elektron-elektron yang tertinggal pada logam. Korosi terjadi melalui perantara dimana perantara tersebut adalah lingkungan dan biasa disebut sebagai elektrolit. Untuk lebih jelasnya gambaran proses korosi dapat dilihat pada gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.18 mekanisme terjadinya korosi pada zinc dengan larutan HCL

Sumber: Fontana. 1987

Berdasarkan uraian diatas tentang mekanisme terjadinya korosi dapat disimpulkan bahwa ada dua faktor yang berpengaruh terhadap korosi yaitu faktor material dan lingkungan. Faktor dari material meliputi aspek kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk Kristal, serta unsur-unsur kelumit lainnya. Faktor lingkungan meliputi suhu, kelembaban, zat-zat kimia yang bersifat korosif, kadar pH, perpindahan panas, pergerakan fluida, potensial elektrokimia dan lain-lain.

2.2.13 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:

$$\text{Laju korosi (mpy)} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan keterangan:

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)

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 2.10 untuk mendapatkan nilai laju korosi. Metode ini sering digunakan dalam proses menentukan laju korosi dikarenakan aplikasinya yang mudah dan lebih baik.

2.2.14 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.

Cepat lambatnya laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain faktor temperature, kadar pH, gas terlarut, bakteri pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB), dan faktor padatan terlarut, faktor metalurgi. Berikut akan dijelaskan masing-masing dari faktor yang mempengaruhi laju korosi.

2.2.14.1 Temperatur

Pada umumnya penambahan temperatur akan meningkatkan laju korosi walaupun pada kenyataannya juga mengurangi kelarutan oksigen. Logam dalam hal ini baja apabila berada pada temperatur yang tidak uniform akan mempengaruhi besar laju korosi.

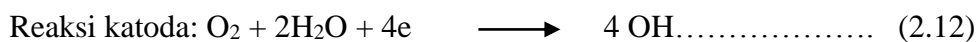
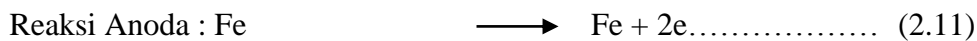
2.2.14.2 Kadar pH

Laju korosi akan tinggi jika material berada pada lingkungan yang bersifat korosif yaitu dengan kadar pH < 7 karena bersifat asam untuk pH > 7 yang bersifat basa juga korosif. Untuk besi laju korosi rendah apabila pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada pH < 7 dan pada pH > 13.

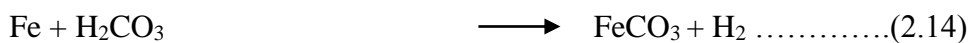
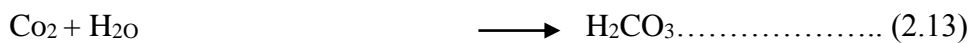
2.2.14.3 Gas Terlarut

Oksigen (O₂), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada mild stell alloys akan bertambah dengan

meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



Karbon dioksida (CO₂), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₂) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO₃ merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

2.2.14.4 Bakteri Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H₂S yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

2.2.14.5 Padatan Terlarut

Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion, dan juga menyebabkan pecahnya alooys. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktiviti larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.

Karbonat (CO₃), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.

Sulfat (SO_4), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

2.2.14.6 Faktor Metalurgi

Faktor metalurgi adalah pada material itu sendiri. Apakah suatu logam dapat tahan terhadap korosi, berapa kecepatan korosi yang dapat terjadi pada suatu kondisi, jenis korosi apa yang paling mudah terjadi, dan lingkungan apa yang dapat menyebabkan terkorosi, ditentukan dari faktor metalurgi tersebut. Adapun yang termasuk dalam faktor metalurgi adalah sebagai berikut.

a. Jenis logam dan paduannya

Pada lingkungan tertentu, suatu logam dapat tahan terhadap korosi. Sebagai contoh aluminium dapat membentuk lapisan pasif pada lingkungan tanah dan air biasa, sedangkan Fe, Zn, dan beberapa logam lainnya dapat dengan mudah terkorosi.

b. Morfologi dan Homogenitas

Bila suatu paduan memiliki elemen paduan yang tidak homogeny, maka paduan tersebut akan memiliki karakteristik ketahanan korosi yang berbeda-beda pada tiap daerahnya.

c. Perlakuan panas

Logam yang di-heat treatment akan mengalami perubahan struktur kristal atau perubahan fasa. Sebagai contoh perlakuan panas pada temperatur $500\text{-}800^\circ\text{C}$ terhadap baja tahan karat akan menyebabkan terbentuknya endapan krom karbida pada batas butir. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi intergranular pada baja tersebut. Selain itu, beberapa proses heat treatment menghasilkan tegangan sisa. Bila tegangan sisa tersebut tidak dihilangkan, maka akan memicu terjadinya korosi retak tegang.

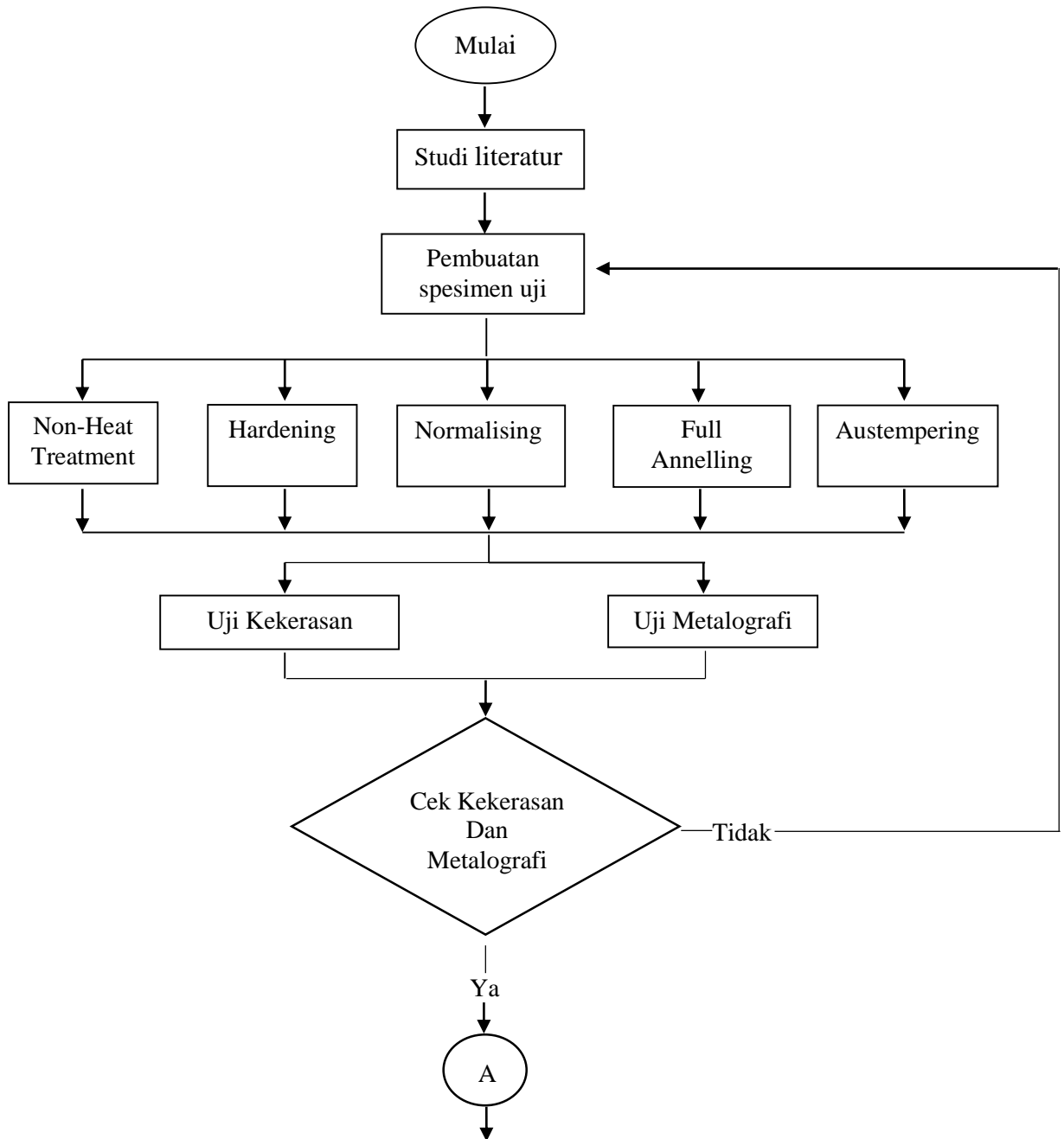
d. Sifat mampu fabrikasi dan pemesinan

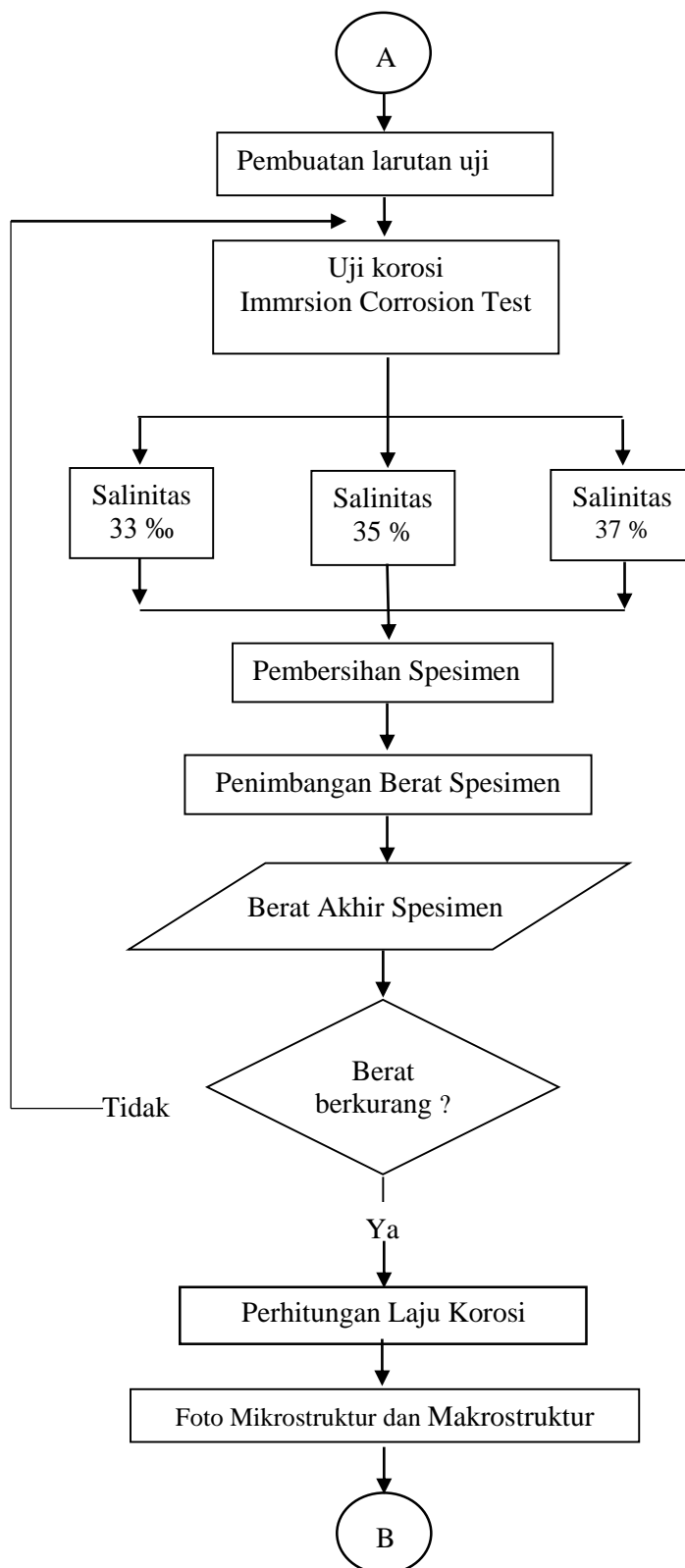
Merupakan suatu kemampuan material untuk menghasilkan sifat yang baik setelah proses fabrikasi dan pemesinan. Bila suatu logam setelah fabrikasi memiliki tegangan sisa atau endapan inklusi maka memudahkan terjadinya retak.

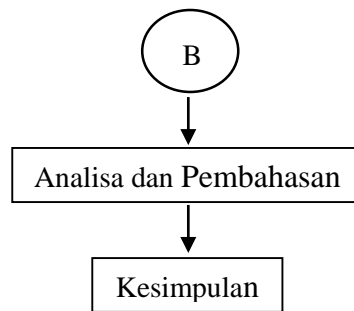
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah antara lain sebagai berikut:







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Untuk melakukan penelitian ini dibutuhkan elemen-elemen pendukung yang berupa alat dan bahan. Adapun kebutuhan akan alat dan bahan dalam menunjang penelitian ini akan dijelaskan secara lebih rinci sebagai berikut:

3.2.1 Alat-alat yang digunakan.

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1.1 Mesin gergaji besi bolak-balik (*Hacksawing Machine*)

Mesin gergaji adalah alat yang digunakan untuk memotong spesimen material uji pipa baja API 5L grade B. sebelum dipotong terlebih dahulu spesimen ditandai dengan marker dan setelah itu pemotongan dengan mesin gergaji besi bolak-balik dapat dilakukan. Komponen utama dari mesin ini adalah gergaji, tangki penyimpanan air, dan tuas pengungkit. Dengan menggunakan mesin ini pemotongan material menjadi lebih mudah dan cepat.



Gambar 3.2 Mesin gergaji besi bolak-balik

3.2.1.2 Gerinda

Gerinda adalah alat yang digunakan untuk menghaluskan material spesimen uji setelah dipotong sesuai kebutuhan. Tepi-tepi material uji yang masih tajam dan kasar dihaluskan agar benda kerja tidak berbahaya dan korosi yang nantinya terjadi tidak terkonsentrasi pada tempat-tempat tertentu saja.



Gambar 3.3 Gerinda

3.2.1.3 Dapur Pemanas

Dapur pemanas adalah alat yang digunakan untuk memberikan perlakuan panas dan juga *holding time* pada material spesimen uji. Dapur pemanas yang digunakan bermerek *Nabertherm* dan mampu memanaskan material spesimen uji dengan kapasitas 27⁰C – 900⁰C.



Gambar 3.4 Dapur Pemanas merek Nabertherm

3.2.1.4 Peralatan Girinding dan Polishing

Girinding adalah alat untuk membuat permukaan material spesimen uji menjadi rata, sehingga dapat dilakukan pengamatan struktur mikro dan makro serta untuk uji kekerasan. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid tertentu dengan dialiri air sampai spesimen tersebut halus. Sedangkan polishing adalah proses penghalusan material spesimen uji menggunakan kain wol yang diberi alumina yang telah dicampur dengan air agar spesimen uji menjadi lebih halus lagi.



Gambar 3.5 Mesin Girinding atau Polishing

3.2.1.5 Peralatan uji kekerasan.

Mesin uji kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah milik laboratorium konstruksi dan kekuatan departemen teknik perkapalan FTK-ITS dengan nama digital brinell hardness test. Metode uji kekerasan menggunakan metode brinell dengan satuan HBN (Hardness Brinell).



Gambar 3.6 Mesin Uji kekerasan

3.2.1.6 Peralatan pengujian etsa (*Etching*)

Proses etsa dilakukan untuk mengkorosikan daerah batas butir material spesimen uji yang sudah dilakukan grinding dan polishing. Agar saat dilakukan pengamatan struktur mikro dibawah mikroskop bisa tampak dengan jelas bentuk dari struktur mikro material spesimen uji. Pada saat proses etsa ini larutan kimia yang digunakan adalah larutan “nital “. Yang merupakan campuran antara alkohol sebanyak 98% volume dan asam nitrat sebanyak 2% volume. Larutan tersebut dibuat dalam wadah petri dish.



Gambar 3.7 Petri Dish untuk membuat larutan etsa

3.2.1.7 Peralatan Uji Metalografi

Proses uji metalografi bertujuan untuk mengamati struktur mikro dan makro material spesimen uji. Pengujian dilakukan di Laboratorium metalurgi departemen teknik mesin FTI-ITS. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro dan makro terlebih dahulu dilakukan grinding dan polishing lagi pada material spesimen uji. Peralatan yang digunakan adalah 1 unit komputer dan mikroskop dengan kamera digital. Gambar yang telah diperoleh dari mikroskop dikirim ke digital still recorder melalui kamera. Kemudian gambar disimpan didalam komputer dalam bentuk file. Perbesaran yang dapat digunakan antara 200X – 1000X sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.8 Peralatan uji metalografi

3.2.1.8 Timbangan digital

Timbangan digital yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan dengan merek Sartorius milik laboratorium remediasi departemen teknik lingkungan FTSP-ITS. Fungsi dari timbangan adalah untuk menimbang berat material sebelum dan sesudah dilakukan uji korosi. Kalibrasi dari timbangan ini sudah ditentukan dan disetting yaitu 4 digit dibelakang koma. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.9 Timbangan digital

3.2.1.9 Tabung elenmeyer, beaker glass.

Peralatan selanjutnya yang menunjang penelitian ini adalah gelas ukur, tabung elenmayer, beaker glass dan spatula. Masing-masing peralatan tersebut mempunyai kegunaan yang berbeda-beda antara, tabung elenmayer digunakan sebagai tempat shaker, beaker glass untuk tempat pengujian korosi dan pembuatan larutan NaCl. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



(i)



(ii)

Gambar 3.10 (i) Gelas ukur, (ii) Tabung elenmeyer

3.2.1.10 Tiang penggantung spesimen

Tiang penggantung spesimen adalah alat yang digunakan untuk menggantung spsesimen pada saat pengujian korosi (*immersion corrosion test*) ada dua tiang yang diletakkan di samping kanan dan kiri untuk selanjutnya dihubungkan dengan tali senar sebagai media untuk menggantung spesimennya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.11 Tiang penggantung spesimen uji

3.2.1.11 Hair Drayer

Hair drayer adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan spesimen uji pada saat akan dilakukan penimbangan berat spesimen. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel serta berat yang dihasilkan maksimal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.12 Hair Drayer

3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

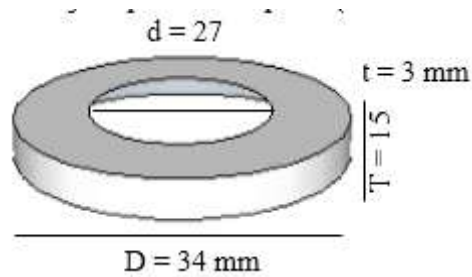
3.2.2.1 Pipa Baja API 5L Grade B

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa baja API 5L grade B. Unsur kandungan kimia dari pipa baja API 5L grade B (dalam %). Dimensi dari material spesimen uji adalah dengan ukuran $D = 34 \text{ mm}$, $d = 27 \text{ mm}$, $T = 15 \text{ mm}$, $t = 3 \text{ mm}$. Ukuran tersebut dibuat sesuai kebutuhan pengujian di laboratorium.

Tabel 3.1 kandungan Kimia pipa baja API 5L grade B

Grade & Class	C _{max}	Mg _{max}	P _{max}	P _{min}	SU _{max}	Ti _{max}
B	0,28	1,20	0,045	0,030	0,030	0,04

Sumber: (API Standard, 2004)



Gambar 3.13 Dimensi ukuran material spesimen uji

3.2.2.2 Air untuk pendinginan proses Hardening

Air adalah bahan yang digunakan untuk proses pendinginan saat perlakuan panas jenis hardening. Sekitar 10 liter air dituangkan ke dalam drum. Selanjutnya setelah pemanasan dan *holding time* selesai maka material spesimen uji didinginkan dengan media pendingin berupa air.



Gambar 3.14 Air sebagai media pendingin

3.2.2.3 Larutan Nital

Larutan nital adalah larutan yang digunakan untuk proses etsa. Larutan ini terdiri dari 98% alkohol dan 2% asam nitrat. Fungsi dari larutan ini adalah untuk mengkorosi batas butir material agar saat dilakukan uji metalografi dibawah mikroskop struktur mikro dan makro dari material spesimen uji terlihat dengan jelas.



Gambar 3.15 Larutan Nital untuk uji etsa

3.2.2.4 Larutan HCL untuk proses pickling.

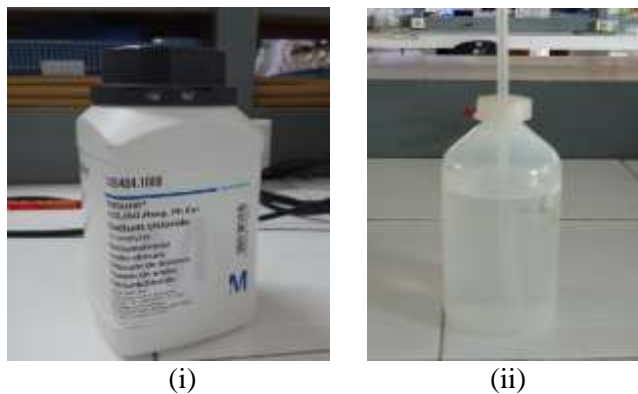
Larutan HCL adalah larutan yang digunakan untuk proses pickling. Material spesimen uji direndam didalam larutan HCL selama 3 menit, hal ini bertujuan untuk menghilangkan kerak, lapisan coating dan kotoran lain yang menempel pada material spesimen uji.



Gambar 3.16 Larutan HCL untuk proses pickling

3.2.2.5 NaCl (Powder) dan Aquades

NaCl (Powder) adalah bahan utama yang akan digunakan untuk membuat air laut buatan dengan tiga salinitas yang berbeda yaitu 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Aquades digunakan sebagai cairan yang akan melarutkan NaCl (Powder). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.17 (i) NaCl (Powder), (ii) Aquades

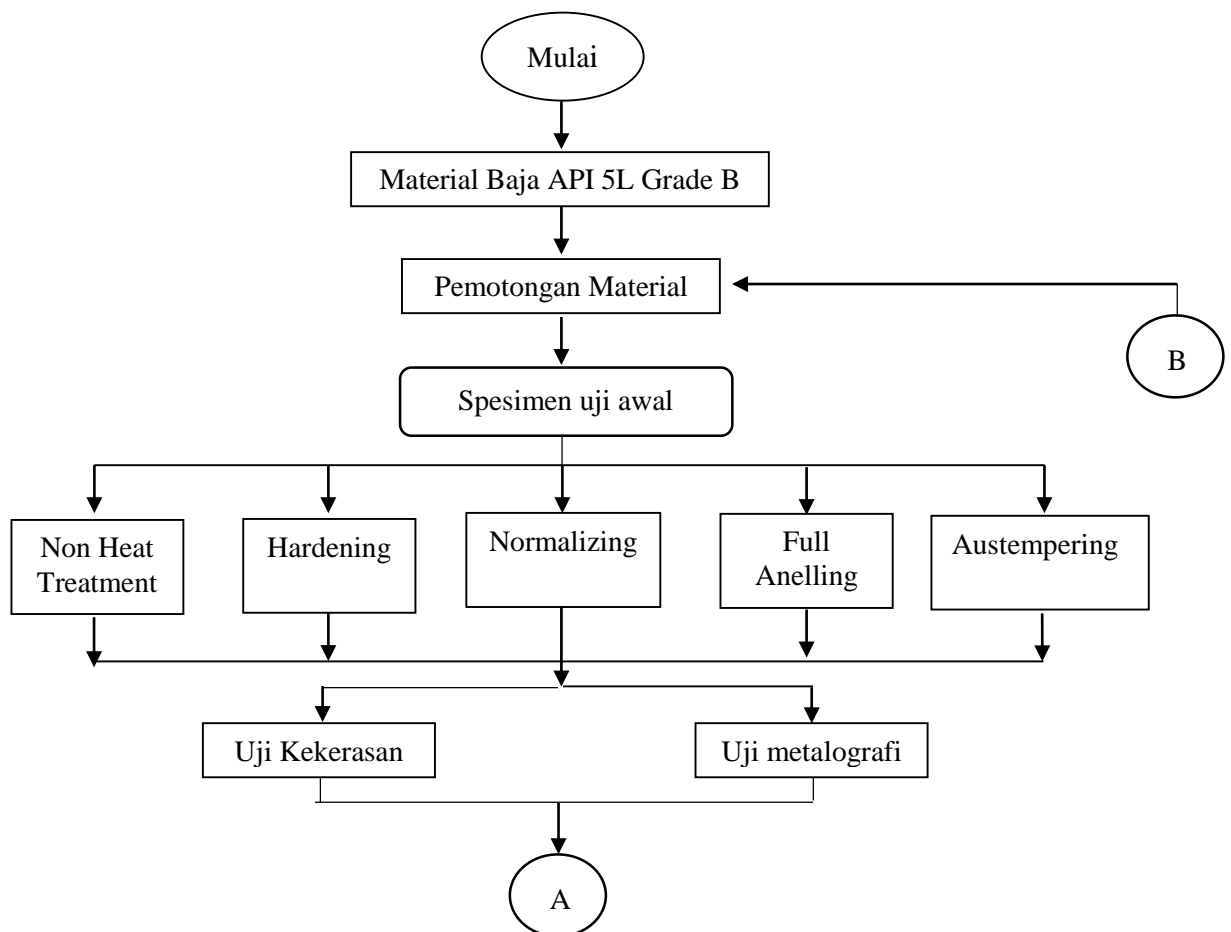
3.3 Prosedur Penelitian

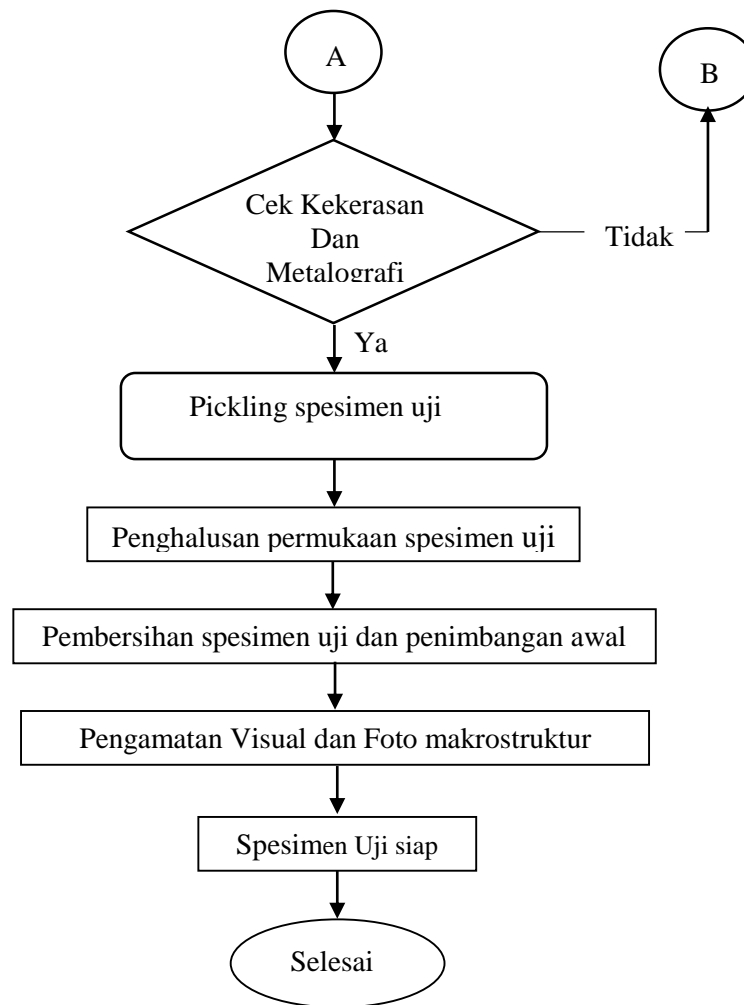
3.3.1 Studi Literatur

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 refrensi antara lain berupa buku, jurnal, code (standard), serta laporan tugas akhir. Studi literatur diperlukan agar penelitian yang dilakukan oleh penulis sesuai dengan prosedur dan kaidah ilmiah yang baik dan benar.

3.3.2 Pembuatan Spesimen Uji.

Sebelum dilakukan pengujian korosi pada material baja API 5L grade B, langkah pertama yang harus dilakukan adalah pembuatan spesimen uji yang siap untuk dilakukan pengujian korosi. Tahapan dalam pembuatan spesimen uji dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.





Gambar 3.18 Diagram Alir Pembuatan Spesimen Uji

Proedur pembuatan spesimen uji yang telah dijelaskan pada diagram alir pada (Gambar 3.14) akan dijelaskan sebagai berikut :

3.3.2.1 Material Pipa Baja API 5L Grade B

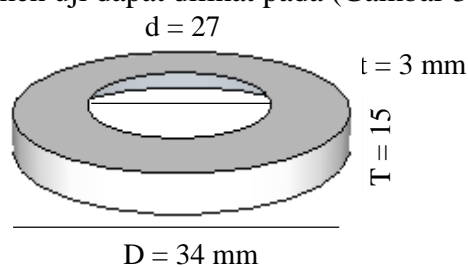
Material baja yang akan digunakan sebagai spesimen uji adalah pipa baja API 5L grade B adalah jenis pipa baja yang biasa di desain untuk pipa bawah laut sebagai sarana untuk mendistribusikan minyak bumi maupun gas. Terkait spesifikasi dan kandungan kimia dari material pipa baja API 5L grade B dapat dilihat pada (tabel 3.1). Sebelum dilakukan pemotongan material, pipa baja API 5L yang didapatkan berbentuk silinder.



Gambar 3.19 Material Pipa Baja API 5L Grade B

3.3.2.2 Pemotongan Material

Tahapan selanjutnya adalah pemotongan material yang akan digunakan untuk spesimen uji. mengacu pada penelitian yang dilakukan Herman Pratikno (2016) yang berdasarkan American Society of Mechanical Engineers (ASME) material dipotong dengan luas area $+2 \text{ cm}^2$. Material pipa baja dipotong berbentuk silinder-silinder kecil dengan dimensi tinggi 15 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, dimana volume larutan minimal untuk merendam sebuah sampel adalah 0,4 kali luas permukaan sampel. Material dipotong sebanyak 15 buah dengan rincian 3 untuk spesimen uji non-heat treatment, 3 untuk spesimen uji heat treatment jenis hardening, 3 untuk spesimen uji heat treatment jenis normalizing, 3 untuk spesimen uji heat treatment jenis full annealing, dan 3 untuk spesimen uji heat treatment jenis austempering. Untuk lebih jelasnya dimensi material pipa baja yang akan digunakan sebagai spesimen uji dapat dilihat pada (Gambar 3.20)



Gambar 3.20 Dimensi ukuran material spesimen uji

Proses pemotongan dilakukan di laboratorium metalurgi departemen teknik mesin FTI-ITS. Sebelum dilakukan pemotongan terlebih dahulu spesimen ditandai dengan marker sebanyak 15 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. Untuk lebih jelasnya terkait pemotongan material spesimen uji dapat dilihat pada (Gambar 3.21)



Gambar 3.21 Proses pemotongan material spesimen uji

3.3.2.3 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. Spesimen awal yang dihasilkan dapat dilihat lebih lanjut pada (Gambar 3.22) berikut ini :



Gambar 3.22 spesimen awal material spesimen uji

3.3.2.4 Material Tanpa perlakuan panas (Non- Heat Treatment)

Dari ke-15 spesimen awal yang disiapkan selanjutnya diambil 3 spesimen awal untuk kategori material tanpa perlakuan panas. Tiga spesimen ini nantinya akan dilakukan pengujian-pengujian selanjutnya meliputi uji kekerasan, metalografi, uji korosi, foto makro dan mikro struktur. Hal ini bertujuan sebagai pembandingan dengan material lain yang diberikan perlakuan panas dengan variasi

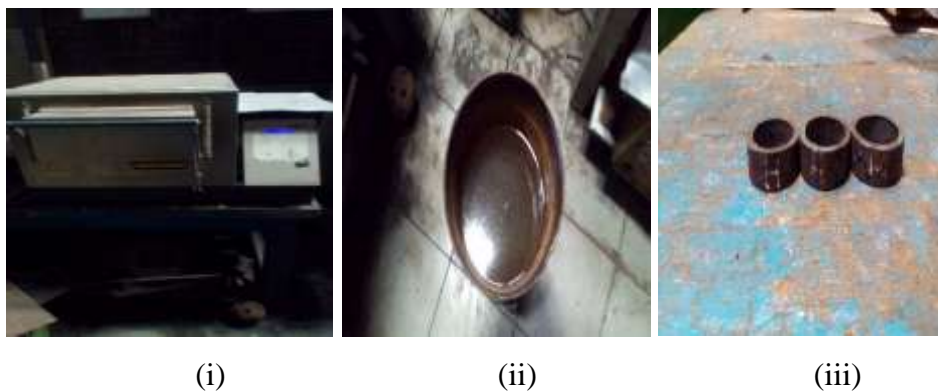
yang berbeda-beda. Material spesimen uji tanpa perlakuan panas dapat dilihat pada (Gambar 3.23) berikut.



Gambar 3.23 spesimen awal material spesimen uji

3.3.2.5 Material Perlakuan panas Hardening

Perlakuan panas yang pertama adalah hardening (pengerasan) adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan cepat. Pada penelitian ini Hardening dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 845°C dengan 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 secara cepat didalam air. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fase austenite menjadi martensit yang memiliki sifat kuat tetapi getas (Budinski, 1999).



Gambar 3.24 (i) Furnace, (ii) proses pendinginan pada air, (iii) material yang sudah di Hardening

3.3.2.6 Material Perlakuan panas Normalising

Perlakuan panas yang kedua adalah *Normalising* adalah proses pemanasan baja 10 sampai 40⁰ C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. Pada penelitian ini *Normalising* dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 845 ⁰C dengan holding time 15 menit. Merujuk pada (ASM *hand book vol 4 heat treating*) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845 ⁰C sudah masuk dalam temperatur A₃ dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 ⁰C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan lambat di udara yaitu dengan mengeluarkan material yang telah dipanaskan dari mesin *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 menghasilkn distribusi ukuran butir yang seragam dari *pearlite* dan *ferrite*. Material hasil perlakuan panas normalising dapat dilihat pada (Gambar. 25)

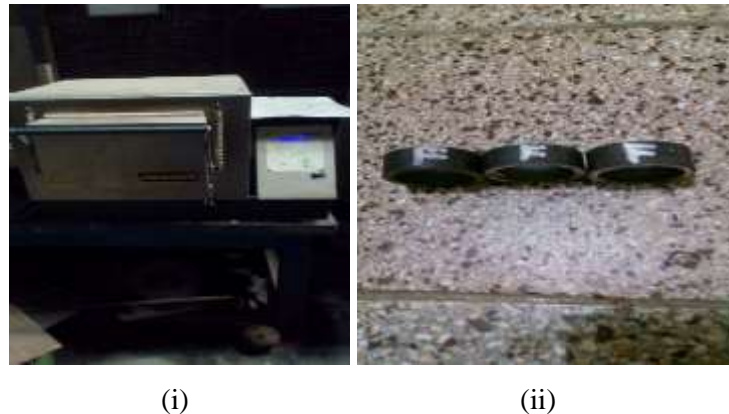


(i) (ii)
Gambar 3.25 (i) Furnace, (ii) material hasil Normalising

3.3.2.7 Material Perlakuan panas Full Anealling

Perlakuan panas yang ketiga adalah *Full Anealling* 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 ⁰C dengan *holding time* 15 menit. Merujuk pada (ASM *hand book vol 4 hrat treating*) suhu untuk melakukan proses Full annealing berkisar antara 750-850 ⁰C. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 ⁰C 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*. Untuk lebih jelasnya terkait proses Full Anealing yang dilakukan pada saat eksperimen di laboratorium dapat dilihat pada (Gambar 3.26)



Gambar 3.26 (i) Furnace, (ii) material hasil Full Annealing

3.3.2.8 Material 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 Balt*. Pada penelitian ini Austempering dilakukan didalam mesin pemanas (*furnace*) dengan suhu mencapai 845°C dengan 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. Setelah dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit selanjutnya material dikelaurkan dari dalam dapur pemanas (*furnace*) dan dilanjutkan dengan pendinginan didalam salt balt dengan suhu 300°C dan dengan waktu penahanan selama 60 menit. Hal ini bertujuan untuk menghasikan struktur mikro jenis *bainite*. Gambaran terkait proses perlakuan panas jenis Austempering dapat dilihat pada (Gambar 3.27).



(i) (ii) (iii)

Gambar 3.27 (i) Furnace, (ii) salt bath, (iii) material yang sudah di Austempering

3.3.2.9 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 kontruksi dan kekuatan departemen teknik perkapalan FTK-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#.



(i) (ii)

Gambar 3.28 (i) mesin polisher, (ii) material yang sudah dipolishing

Girinding bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus supaya saat dilakukan uji kekerasan dapat diperoleh hasil yang maksimal. Pada saat dilakukan uji kekerasan beban yang diberikan sebesar 62,5 kgf dengan waktu identer 20 sekon hal ini dikarenakan material yang diuji berukuran cukup kecil, pengujian dilakukan pada 5 titik untuk tiap-tiap spesimen untuk selanjutnya

dilakukan rata-rata nilai kekerasan pada setiap spesimen. Proses saat dilakukan pengujian kekerasan dapat dilihat pada (Gambar 3.29)



Gambar 3.29 Alat uji kekerasan Digital Brinell Hardness Test

3.3.2.10 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.



Gambar 3.30 alat untuk gerinding dan polishing

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 98 ml alkohol dan 2 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 serta dikeringkan dengan menggunakan *hari dryer*.



Gambar 3.31 alat untuk girinding dan polishing

3. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik

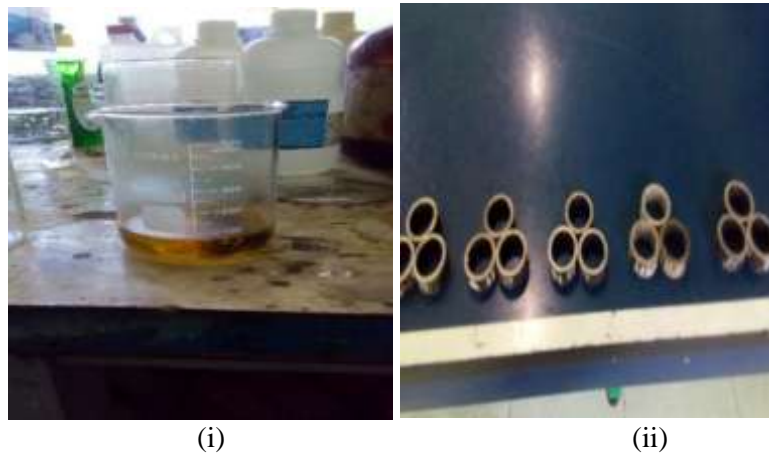
Setelah dilakukan etsa langkah selanjutnya adalah pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan computer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Perbesaran yang digunakan adalah 100x dan 500x. pengamatan 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 3.32 mikroskop optik untuk uji metalografi

3.3.2.11 Pickling spesimen Uji

Tahap selanjutnya adalah melakukan pickling pada material spesimen uji. Prosedur pickling mengacu pada ASTM G1-90. 1999 dimana untuk material baja larutan yang digunakan untuk proses pickling adalah HCL dengan waktu pickling 1-25 menit dalam suhu 20 – 25⁰ C. pickling sendiri berfungsi untuk menghilangkan kerak, kotoran serta lapisan coating yang sudah terkorosi dan menempel pada material spesimen uji. Pada penelitian kali ini ada 15 spesimen yang dipickling masing-masing direndam dalam larutan HCL dengan volume 5 ml. proses pickling dapat dilihat pada (Gambar 3.33)



Gambar 3.33 (i) Proses pickling pada material spesimen uji,
(ii) hasil dari proses pickling

3.3.2.12 Penghalusan permukaan spesimen uji

Material spesimen uji yang sudah dipickling kemudian di gosok dengan kertas kertas gosok grid #120 (ASTM G 31-72) dengan mesin grindhing. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang halus serta menghilangkan kerak-kerak yang masih menempel. Material spesimen uji yang telah digosok permukaannya dapat dilihat pada (Gambar 3.34).



Gambar 3.34 material spesimen uji yang sudah digosok

3.3.2.13 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 FTSP-ITS. Berat awal yang diperoleh nantinya akan digunakan sebagai data untuk menghitung nilai laju korosi. Material spesimen uji yang sudah dibersihkan dan proses penimbangan berat awal material spesimen uji dapat dilihat pada (Gambar 3.35)



Gambar 3.35 timbangan digital

3.3.2.14 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 pembandingan hasil dari penelitian yang dilakukan. Hasil makrostruktur dapat dilihat pada (Gambar 3.36)



Gambar 3.36 mikroskop untuk foto makrostruktur

3.3.2.15 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*). Material spesimen uji yang sudah siap dapat dilihat pada (Gambar 3.37).



Gambar 3.37 material spesimen uji yang sudah digosok

3.3.3 Pembuatan Larutan Uji

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan larutan kimia pengganti air laut dengan salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Salinitas ini berhubungan dengan kedalaman perairan dilaut, dimana perbedaan kedalaman akan memberikan tingkat korosifitas yang berbeda, sehingga nanti dapat diketahui pada kedalaman berapa material baja pipa API 5L grade B rentan terhadap korosi. Dalam penelitian ini digunakan NaCl sebagai pengganti air laut buatan, berdasarkan ASTM D1 141-

0924 rumus untuk menentukan jumlah volume larutan yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} \text{Volume Larutan} &= (0.2 \text{ s.d. } 0.4) \times \text{Luas permukaan} \\ &= 0.4 \times 2271.79 \\ &= 908.716 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standar ASTM D1141-90, 1994 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^A_B (ASTM D1141-90)

Solution	Concentration, g/L
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

Proses pembuatan air laut buatan salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰ yaitu sebagai berikut :

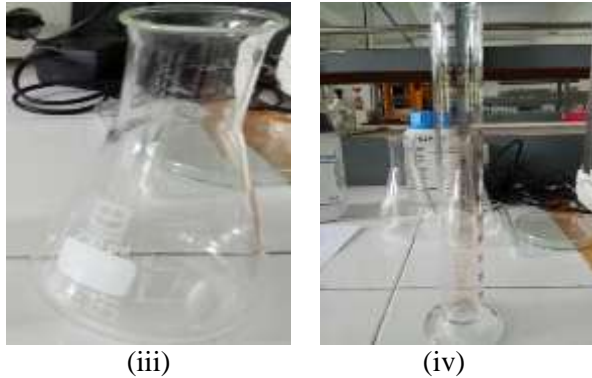
1. Persiapkan bahan yaitu NaCl (powder), aquades, beserta peralatan yaitu spatula gelas ukur, breaker glass, labu ukur, timbangan digital, elenmeyer berukuran 250 ml.



(i)



(ii)



Gambar 3.38 (i) NaCl Powder (ii) Aquades (iii) Tabung Elenmeyer (iv) Gelas Ukur

2. Timbang NaCl dengan menggunakan spatula pada timbangan digital, masing-masing untuk salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰.

3. Larutkan NaCl powder dengan menggunakan aquades kedalam breaker glass, setela itu tuangkan pada labu ukur 500 ml. Ayunkan labu ukur sebanyak satu kali agar NaCl dapat terlarut secara sempurna dengan aquades.

4. Tuangkan larutan NaCl masing-masing salinitas pada gelas ukur yang akan digunakan untuk pengujian korosi. Hasil dari larutan NaCl yang siap untuk dilakukan pengujian korosi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.39 larutan NaCl untuk pengujian korosi

3.3.4 Pengujian korosi (*Immersion corrosion test*)

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian korosi (*immersion corrosion test*). Setelah larutan NaCl dengan salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰ siap, material uji kemudian direndam didalam larutan NaCl dengan salinitas yang sudah ditentukan. Material direndam selama 30 hari dengan waktu pengamatan 1 minggu

sekali (ASTM G31 – 72, 2004) untuk mencatat berat yang hilang (*weight loss*). Dari data berat hilang yang diperoleh inilah nantinya akan digunakan dalam penghitungan laju korosi. Untuk lebih jelasnya terkait proses perendaman material spesimen uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.40 proses pengujian korosi

3.3.5 Pembersihan spesimen

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pembersihan spesimen dengan menggunakan tisu serta pengeringan. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada material spesimen uji. Proses ini dilakukan seminggu sekali pada saat akan dilakukan penimbangan berat yang hilang. Selain dilakukan pembersihan material, spesimen uji juga dikeringkan dengan menggunakan hair drayer agar saat dilakukan penimbangan diperoleh berat yang sesuai. Contoh material spesimen uji yang sudah dibersihkan dan siap untuk di timbang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.41 material spesimen uji yang sudah dibersihkan

3.3.6 Penimbangan Berat

Tahap selanjutnya adalah melakukan penimbangan berat material spesimen uji. Penimbangan dilakukan selama 1 minggu sekali dalam waktu 1 bulan. Data yang diperoleh inilah yang nantinya digunakan untuk perhitungan laju korosi. Proses penimbangan dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Hasil dari penimbangan berat ini adalah berupa data berat yang hilang pada setiap material spesimen uji selama 4 minggu



Gambar 3.42 Proses penimbangan berat material spesimen uji

3.3.7 Analisa Berat

Sebelum dilakukan perhitungan laju korosi dari hasil penimbangan berat material spesimen uji dilakukan analisa terhadap berat awal dan berat akhir. Apabila berat akhir sama dengan atau lebih besar dari berat awal maka perlu dilakukan pengujian korosi ulang. Tetapi apabila terjadi penurunan berat, maka perhitungan laju korosi dapat dilakukan

3.3.8 Perhitungan Laju Korosi

Setelah diperoleh data berat yang hilang dan telah sesuai maka tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode weight loss. Rumus perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat sesuai dengan ASTM G1 – 90, 1999 sebagai berikut :

$$\text{Laju korosi (mpy)} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan keterangan :

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)

3.3.9 Foto Mikrostruktur dan Makrostruktur

Tahap selanjutnya adalah dilakukan foto mikrostruktur dan makrostruktur setelah dilakukan pengujian korosi. Hal ini bertujuan untuk membandingkan bagaimana kondisi material spesimen uji sebelum dan setelah dilakukan pengujian korosi. Tahapan dari proses ini adalah sama dengan tahap saat melakukan pengujian mikrostruktur dan makrostruktur material spesimen uji sebelum dilakukan pengujian korosi.

3.3.10 Analisa dan Kesimpulan

Dari keseluruhan proses yang dilakukan selanjutnya akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil penelitian serta disesuaikan dengan teori yang sudah ada pada penelitian maupun sumber-sumber sebelumnya. Terkait hal ini akan dijelaskan secara lebih detail pada bab IV

3.3.11 Kesimpulan

Tahap terakhir dari penelitian ini akan ditarik beberapa kesimpulan yang menjadi rumusan masalah serta tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Hal ini akan dijelaskan secara lebih detail pada pembahasan di bab V.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *heat treatment* terhadap laju korosi material pipa baja API 5L Grade B di lingkungan laut. Dibutuhkan 15 spesimen uji untuk melakukan penelitian ini 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. Sebelum dilakukan pengujian korosi terlebih dahulu dilakukan pengujian kekerasan dan metalografi. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro spesimen uji. Setelah pengujian kekerasan dan metalografi selesai dilakukan preparasi material spesimen uji lebih lanjut meliputi proses pickling, pembersihan dan penimbangan berat awal spesimen uji sampai pada akhirnya spesimen uji siap untuk dilakukan pengujian korosi dengan metode perendaman (*immersion corrosion test*). Perendaman dilakukan pada salinitas yang berbeda-beda masing-masing dengan salinitas 33‰, 35‰, dan 37‰. Waktu yang diperlukan untuk melakukan pengujian korosi selama 1 bulan dengan pengamatan berat yang hilang 1 minggu sekali. Setelah dilakukan prosedur penelitian seperti yang diuraikan di bab III, maka analisis dan pembahasan dari hasil penelitian tugas akhir ini akan diuraikan secara lebih rinci pada bab ini.

4.1 Perlakuan Panas Hardening

Perlakuan panas hardening dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*). Pada penelitian ini suhu yang digunakan untuk pemanasan jenis hardening adalah 845⁰C dengan holding time 15 menit. Merujuk pada (*ASM hand book vol 4 heat treating*) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845⁰C sudah masuk dalam temperatur A₃ dimana seluruh strukturnya adalah austenit. 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. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fase

austenite menjadi martensit yang memiliki sifat kuat, keras tetapi getas (Budinski, 1999).



(i) (ii) (iii)
Gambar 4.1 (i) Furnace, (ii) proses pendinginan pada air,
(iii) material yang sudah di Hardening

4.2. Perlakuan Panas Normalising

Perlakuan panas normalising dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*). Pada penelitian ini suhu yang digunakan untuk pemanasan jenis normalizing adalah 845°C dengan 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. Fase austenit yang terbentuk ketika pemanasan pada saat dilakukan pendinginan akan terdekomposisi menjadi pearlit dan ferrit. pearlit yang terbentuk mempunyai karakteristik yang lebih halus.



(i) (ii)
Gambar 4.2 (i) Furnace, (ii) material hasil Normalising

4.3 Perlakuan panas Full Annealing

Perlakuan panas Full Annealing dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*). Pada penelitian ini suhu yang digunakan untuk pemanasan jenis Full Annealing adalah 845⁰C dengan holding time 15 menit. Merujuk pada (*ASM hand book vol 4 heat treating*) suhu untuk melakukan proses Full Annealing berkisar antara 750-850 ⁰C. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 ⁰C 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



(i)

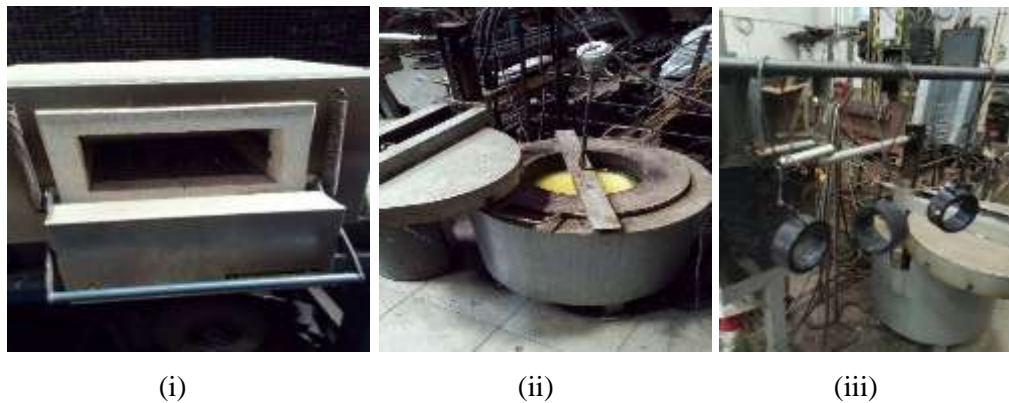
(ii)

Gambar 4.3 (i) Furnace, (ii) material hasil Full Annealing

4.4 Perlakuan Panas Austempering

Perlakuan panas Austempering dilakukan didalam dapur pemanas (*furnace*). Pada penelitian ini suhu yang digunakan untuk pemanasan jenis Austempering adalah 845⁰C dengan holding time 15 menit. Merujuk pada (*ASM hand book vol 4 heat treating*) pada diagram fase Fe-Fe₃C dimana suhu 845 ⁰C sudah masuk dalam temperatur A₃ dimana seluruh strukturnya adalah austenite. Setelah material dipanaskan sampai suhu 845 ⁰C selanjutnya dilakukan penahanan (*holding time*) selama 15 menit untuk selanjutnya dilakukan pendinginan didalam salt bath dengan suhu 300⁰C 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 (i) Furnace, (ii) salt bath, (iii) material yang sudah di Austempering

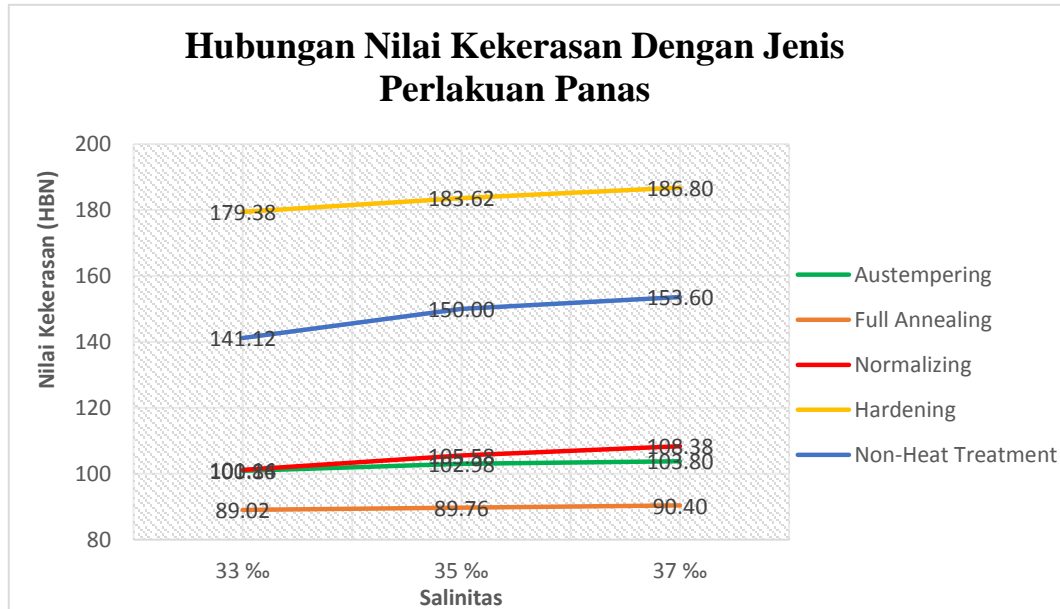
4.5 Data dan Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan terhadap 15 material spesimen uji. Pengujian kekerasan dilakukan dilima titik tiap material spesimen uji, kemudian nilai dari lima titik tersebut dirata-rata nilai kekerasannya. Metode yang digunakan untuk pengujian kekerasan adalah dengan metode brinell. Niali kekerasan disimbolkan dengan satuan HBN (Hardness Brinell). Nila dari hasil uji kekerasan material spesimen uji pipa baja API 5L grade B dapat dilihat pada tabel. 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan material spesimen uji pipa baja API 5L Grade B

Material	No	Jenis Perlakuan Panas	T1 (HBN)	T2 (HBN)	T3 (HBN)	T4 (HBN)	T5 (HBN)	Rata-rata (HBN)
API 5L Grade B	1	Non-Heat Treatment 33‰	137.8	140.6	145.9	139.5	141.8	141.12
	2	Non-Heat Treatment 35‰	143.9	159.5	147.4	160.3	138.9	150.00
	3	Non-Heat Treatment 37‰	156.5	141.6	175.5	150.4	144	153.60
	4	Hardening 33‰	169	187.9	165.6	181.3	193.1	179.38
	5	Hardening 35‰	209.4	170.6	180.7	195.3	162.1	183.62
	6	Hardening 37‰	201	186.8	175.5	174.5	196.2	186.80
	7	Normalizing 33‰	95.5	103.1	101.2	101	104.9	101.14
	8	Normalizing 35‰	107.8	109.5	100.8	103.8	106	105.58
	9	Normalizing 37‰	108.7	115	112.9	97.5	107.8	108.38
	10	Full Annealing 33‰	83.5	85.8	84.9	92.1	98.8	89.02
	11	Full Annealing 35‰	89.8	89.3	92.2	86.8	90.7	89.76
	12	Full Annealing 37‰	90.2	87.4	91.2	87.5	95.7	90.40
	13	Austempering 33‰	98.9	99.5	107.5	103.1	95.3	100.86
	14	Austempering 35‰	103.6	103.8	106.7	99.2	101.6	102.98
	15	Austempering 37‰	93.8	95.2	113.4	108.7	107.9	103.80

Kemudian hasil uji kekerasan pada tabel 4.1 dibuat kedalam bentuk grafik hubungan nilai kekerasan dengan perlakuan panas material spesimen uji sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik hubungan nilai kekerasasan dengan jenis perlakuan panas

4.5.1 Kekerasan Material Spesimen Uji Non- Heat Treatment

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan untuk material awal (tanpa perlakuan panas) cukup tinggi yaitu untuk tiga spesimen uji memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 141.12 HBN, 150 HBN, 153.6 HBN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh struktur mikro dari material spesimen uji terdiri dari butir ferit dan perlit dimana ferit dan perlit memiliki nilai kekerasan 60 - 100 HBN dan 160 – 200 HBN. Persentase kenaikan kekerasan material spesimen uji non heat treatment adalah 6.29 % dan 8.84 %. Nilai kekerasan dari material specimen uji akan mengalami perubahan terhadap jenis perlakuan panas yang akan diberikan (hardening, normalising, full annealing, dan austempering).

4.5.2 Kekerasan Material Spesimen Uji Hardening

Dari grafik diatas dapat dilihat material spesimen uji setelah diberikan perlakuan panas jenis hardening dengan pendinginan cepat menggunakan media pendingin berupa air maka nilai kekerasan mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu sebesar 179.38 HBN, 183.62 HBN, dan 186.8 HBN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh pendinginan yang sangat cepat dengan menggunakan media air, akibat pendinginan sangat cepat tersebut terjadi

dekomposisi butir austenit menjadi butir martensit dimana butir martensit memiliki nilai kekerasan antara 700-850 HBN. Persentase kenaikan kekerasan material spesimen uji hardening adalah 2.36 % dan 4.14 %. Nilai kekerasan ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan material awal hal ini dikarenakan pendinginan yang dilakukan sangat cepat sehingga kekerasan yang dicapai maksimum.

4.5.3 Kekerasan Material Spesimen Uji Normalising

Dari grafik diatas dapat dilihat material spesimen uji setelah diberikan perlakuan panas jenis normalising dengan pendinginan lambat diudara menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 101.14 HBN, 105.58 HBN, 108.38 HBN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh pendinginan yang dilakukan diudara, akibat pendinginan diudara tersebut terjadi dekomposisi butir austenit menjadi butir ferit dan perlit, dimana ferit dan perlit memiliki nilai kekerasan 60 - 100 HBN dan 160 – 200 HBN. Persentase kenaikan kekerasan material spesimen uji jenis normalising yaitu mencapai 4.39 % dan 7.16 %. Nilai kekerasan ini lebih rendah dibanding nilai kekerasan material awal hal ini dikarenakan laju pendinginan jenis perlakuan panas normalising dilakukan dengan lambat diudara sehingga kekerasan yang dicapai tidak maksimum.

4.5.4 Kekerasan Material Spesimen Uji Full Annealing

Dari grafik diatas dapat dilihat material spesimen uji setelah diberikan perlakuan panas jenis full annealing dengan pendinginan sangat lambat didalam dapur pemanas (*furnace*) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 89.02 HBN, 89.76 HBN, 90.4 HBN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh pendinginan yang sangat lambat didalam dapur pemanas (*furnace*) akibat pendinginan sangat lambat tersebut terjadi dekomposisi fase austenit menjadi butir ferit dan perlit dimana ferit dan perlit memiliki nilai kekerasan 60 - 100 HBN dan 160 – 200 HBN. Persentase kenaikan kekerasan material spesimen uji jenis full annealing yaitu mencapai 0.83 % dan 1.55 %. Nilai kekerasan ini lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan material awal hal ini dikarenakan laju pendinginan jenis perlakuan panas full annealing dilakukan sangat lambat didalam dapur pemanas (*furnace*) sehingga kekerasan yang dicapai tidak maksimum.

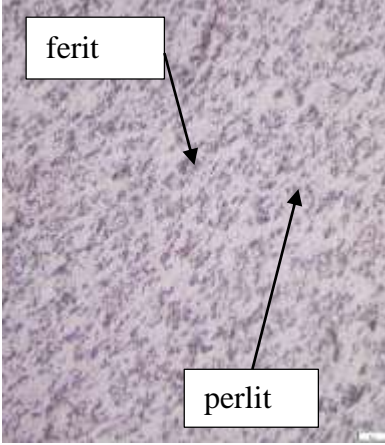
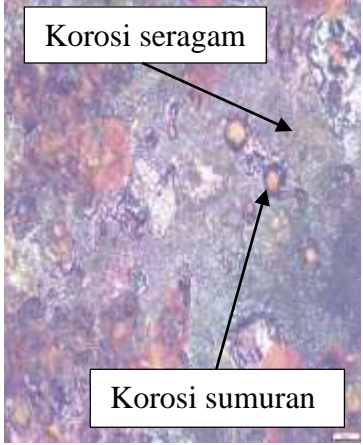
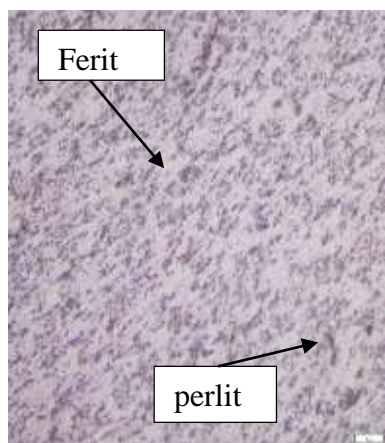
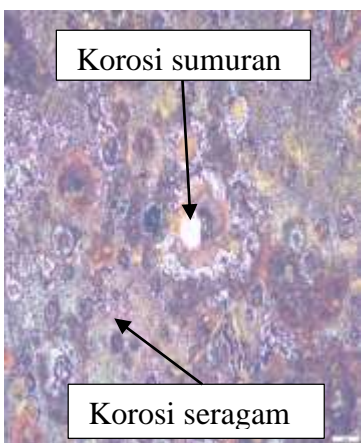
4.5.5 Kekerasan Material Spesimen Uji Austempering

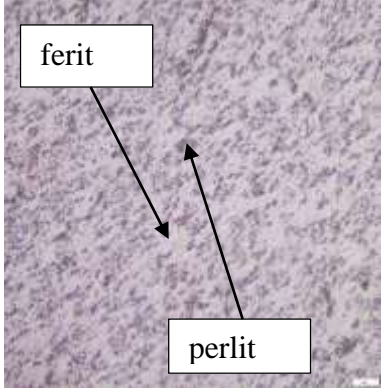
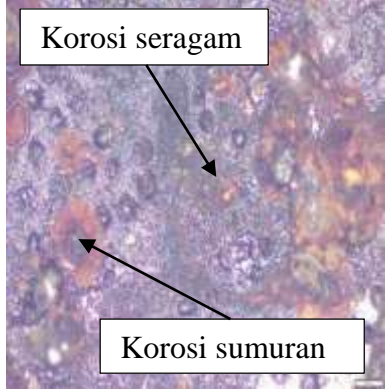
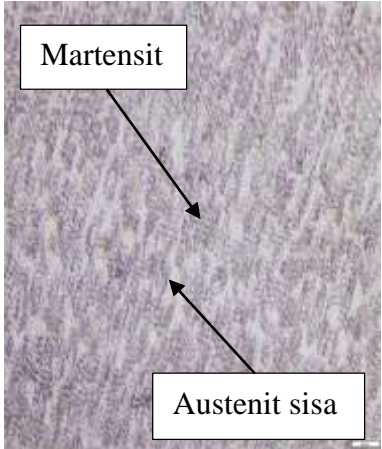
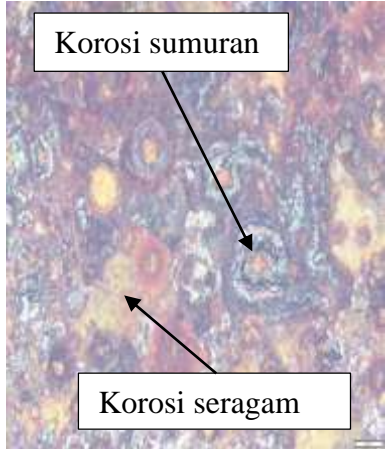
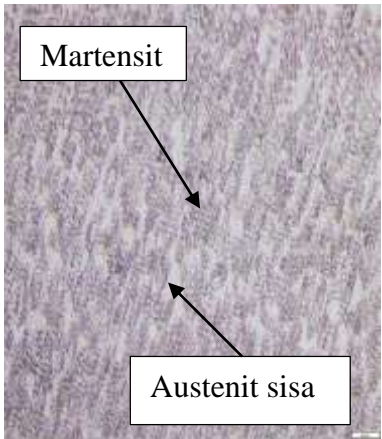
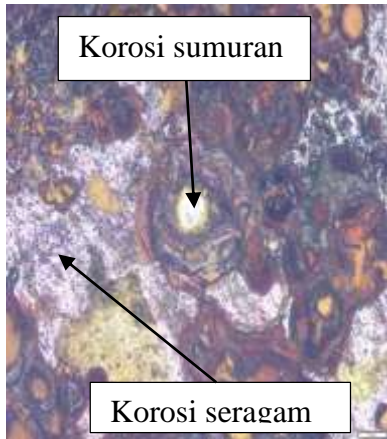
Dari grafik diatas dapat dilihat material spesimen uji setelah diberikan perlakuan panas jenis austempering dengan pendinginan didalam *salt bath* memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 100.86 HBN, 102.98 HBN, 100.86 HBN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh pendinginan yang dilakukan didalam *salt bath*, akibat pendinginan tersebut terjadi dekomposisi fase austenite menjadi butir bainit dimana bainit memiliki nilai kekerasan 200 - 500HBN. Persentase kenaikan kekerasan material spesimen uji jenis austempering yaitu 2.10 % dan 2.91 %. Nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan nilai kekerasan material awal hal ini dikarenakan laju pendinginan yang dilakukan didalam *salt bath* sehingga kekerasan yang dicapai tidak maksimum.

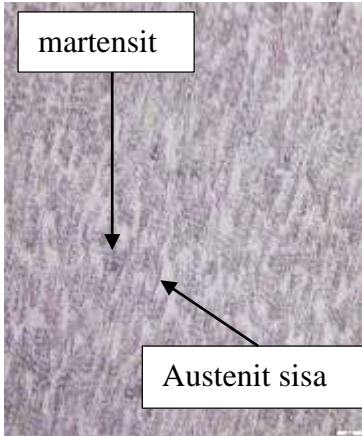
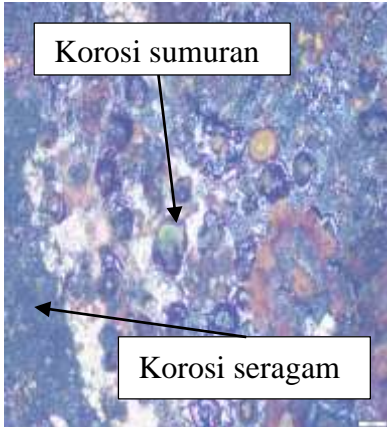
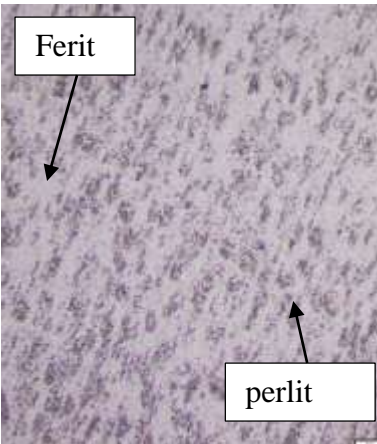
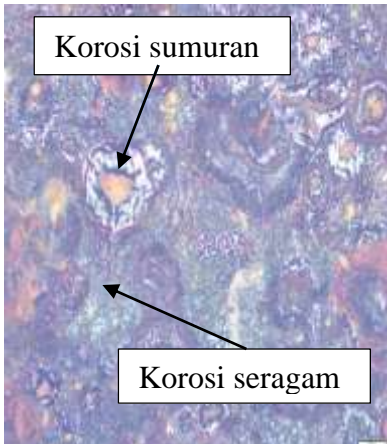
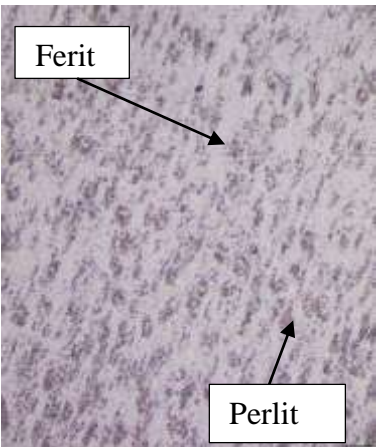
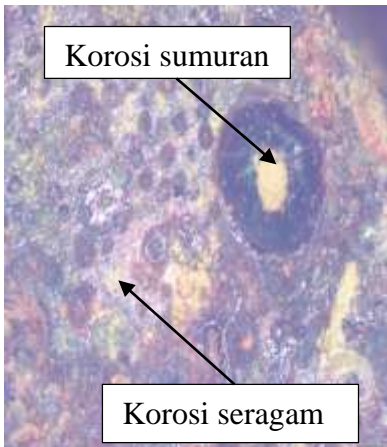
4.6 Data dan Analisis Hasil Pengujian Metalografi Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

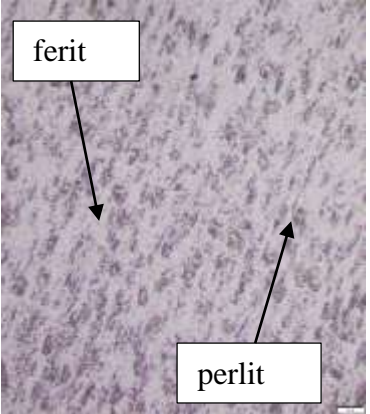
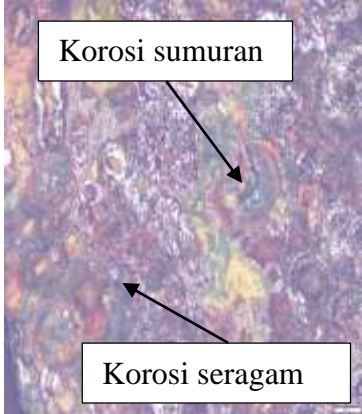
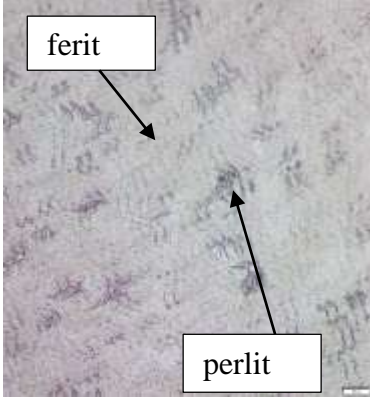
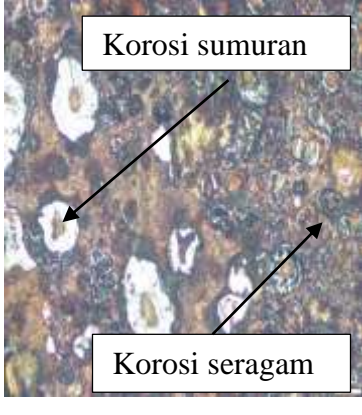
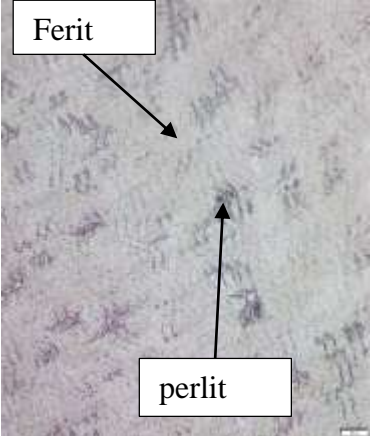
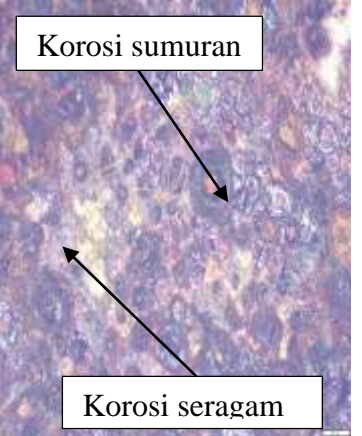
Tahap selanjutnya setelah dilakukan pengujian kekerasan adalah pengujian metalografi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro material spesimen uji pipa baja API 5L grade B sebelum dan sesudah dilakukan uji korosi. Pengujian metalografi adalah pengamatan struktur mikro material spesimen uji dibawah mikroskop optik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perbesaran 500X dan 100X. Hal ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro material spesimen uji sebelum dan sesudah dilakukan uji korosi. Untuk lebih jelasnya hasil dari pengujian metalografi dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

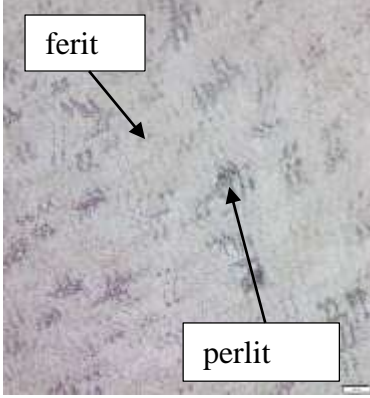
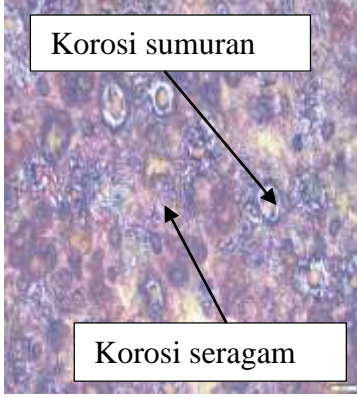
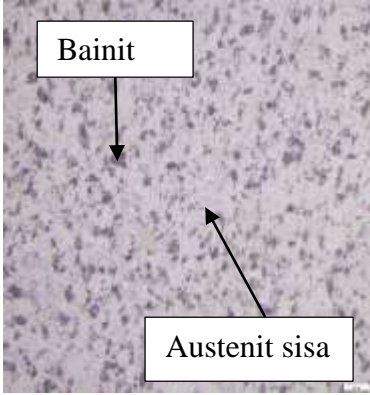
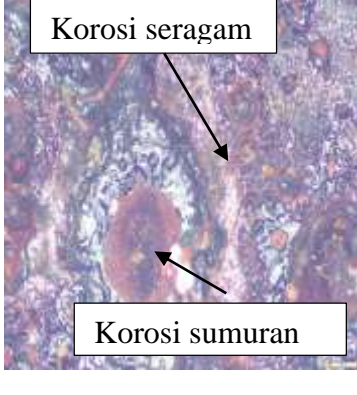
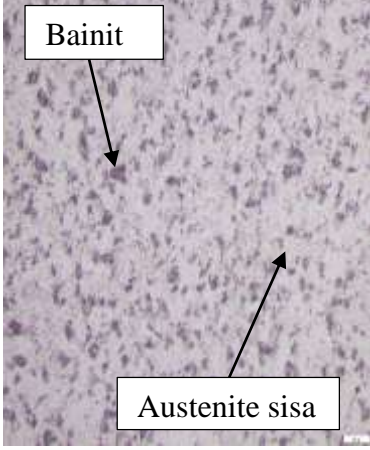
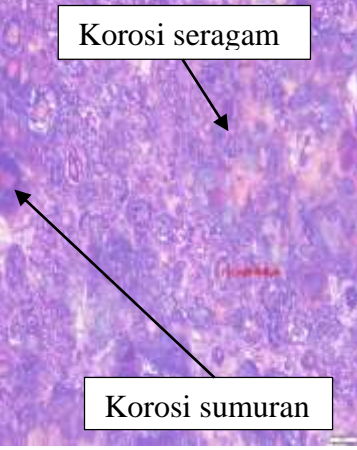
Tabel 4.2 Struktur Mikro Hasil Pengujian Metalografi
Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi

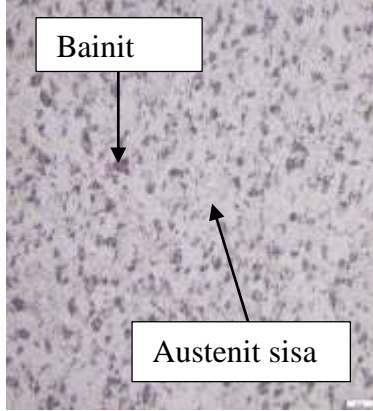
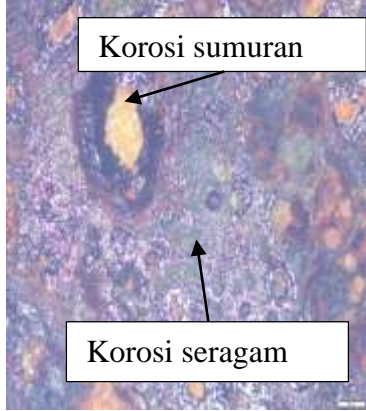
No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
1	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 33 ‰)		
2.	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 35 ‰)		

No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
3	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 37 ‰)		
4	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 33 ‰)		
5	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 35 ‰)		

No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
6	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 37 ‰)	 <p>martensit</p> <p>Austenit sisa</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>
7	Perlakuan Panas Normalising (Salinitas 33 ‰)	 <p>Ferit</p> <p>perlit</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>
8.	Perlakuan Panas Normalising (Salinitas 35 ‰)	 <p>Ferit</p> <p>Perlit</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>

No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
9	Perlakuan Panas Normalising (Salinitas 37 %)		
10	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 33 %)		
11	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 35 %)		

No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
12	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 37 %)		
13	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 33 %)		
14	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 35 %)		

No	Material	Struktur mikro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur mikro sesudah pengujian korosi perbesaran 100X
15	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 37 ‰)	 <p>Bainit</p> <p>Austenit sisa</p>	 <p>Korosi sumuran</p> <p>Korosi seragam</p>

4.6.1 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Tanpa Perlakuan Panas (*Non-Heat Treatment*) Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Pipa baja API 5L adalah jenis pipa baja dengan kandungan karbon 0.28% (API Standard, 2004). Dengan kandungan karbon tersebut pipa baja API 5L grade B masuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut *hypoeutektoid*. Sebelum dilakukan pengujian korosi, struktur mikro dari material baja tanpa perlakuan panas terdiri dari ferit dan perlit, butir ferit mempunyai bentuk pipih dan berwarna terang sedangkan butir perlit mempunyai bentuk pipih berwarna gelap. Dari hasil perhitungan *point counting* diketahui persentase dari ferit adalah 49% dan butir perlit 51 %. Butir ferit dan perlit akan mengalami perubahan seiring pertambahan suhu sampai mencapai batas akhir yaitu fase austenit dan dilakukan variasi pendinginan untuk berbagai macam perlakuan panas.

Sedangkan setelah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.2 no 1, 2, dan 3 untuk material non-heat treatment yang dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* pada variasi konsentrasi NaCl 33‰, 35‰, dan 37‰ mengalami perubahan yang cukup signifikan. Terlihat pada permukaan material pipa baja API 5L Grade B telah terjadi korosi jenis sumuran (*pitting*) dan korosi jenis seragam (*uniform*). Tingkat konsentrasi salinitas NaCl yang berbeda-beda akan mempengaruhi pola korosi yang terjadi. Pada salinitas 33‰ korosi sumuran

(*pitting*) dan seragam (*uniform*) yang terjadi relatif sedikit dan tidak merata, pada salinitas 35‰ persebaran korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) mulai terjadi peningkatan dan pada salinitas 37‰ terjadi peningkatan yang signifikan pada korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Hal ini sesuai dengan teori dasar yang sudah ada bahwa komposisi kimia dan tingkat konsentrasi sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Pada penelitian ini NaCl dengan konsentrasi 37‰ mengandung ion klor yang lebih banyak sehingga lebih bersifat korosif.

4.6.2 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Pipa baja API 5L adalah jenis pipa baja dengan kandungan karbon 0.28% (API Standard, 2004). Dengan kandungan karbon tersebut pipa baja API 5L grade B masuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut *hypoeutektoid*. Sebelum dilakukan pengujian korosi, perlakuan panas jenis hardening berdampak langsung pada perubahan struktur mikro material tersebut. Terlihat dari tabel 4.2 perlakuan panas hardening pada suhu diatas A_3 telah mengakibatkan perubahan fase dari ferite +perlite menjadi austenite. Pendinginan yang dilakukan secara cepat mengakibatkan fasa austenite terdekomposisi menjadi fase martensit. Martensit mempunyai sifat yang keras dan getas dan berbentuk seperti jarum. Dari hasil perhitungan *point counting* diketahui presentase dari butir martensit adalah 78% dan 22 % austenit sisa.

Sedangkan setelah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.2 no 4, 5, dan 6 dapat dilihat bahwa untuk material hardening yang dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* pada variasi konsentrasi NaCl 33‰, 35‰, dan 37‰ mengalami perubahan yang cukup signifikan. Terlihat pada permukaan material pipa baja API 5L Grade B telah terjadi korosi jenis sumuran (*pitting*) dan korosi jenis seragam (*uniform*). Tingkat konsentrasi salinitas NaCl yang berbeda-beda akan mempengaruhi pola korosi yang terjadi. Pada salinitas 33‰ korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) yang terjadi relatif sedikit dan tidak merata, pada salinitas 35‰ persebaran korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) mulai terjadi peningkatan dan pada salinitas 37‰ terjadi peningkatan yang signifikan pada korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Hal ini

sesuai dengan teori dasar yang sudah ada bahwa komposisi kimia dan tingkat konsentrasi sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Pada penelitian ini NaCl dengan konsentrasi 37‰ mengandung ion klor yang lebih banyak sehingga lebih bersifat korosif.

4.6.3 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Normalising Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Pipa baja API 5L adalah jenis pipa baja dengan kandungan karbon 0.28% (API Standard, 2004). Dengan kandungan karbon tersebut pipa baja API 5L grade B masuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut *hypoeutektoid*. Perlakuan panas normalizing adalah proses pemanasan baja diatas A_3 dalam hal ini suhu yang digunakan untuk mencapai fase austenisasi adalah 845°C . Pendinginan dengan lambat diudara akan mengakibatkan austenite terdekomposisi menjadi ferit dan perlit. Tabel 4.2 no 3 memperlihatkan struktur ferit dan perlit terbentuk pada proses perlakuan panas jenis ini. Pada gambar tersebut terlihat jumlah perlit lebih banyak dari ferit, hal ini diakibatkan proses pendinginan yang dilakukan adalah pendinginan lambat diudara. Dari hasil perhitungan *point counting* diketahui presentase dari ferit adalah 58 % dan butir perlit 42 %.

Sedangkan setelah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.2 no 7, 8, dan 9 dapat dilihat bahwa untuk material normalizing yang dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* pada variasi konsentrasi NaCl 33‰, 35‰, dan 37‰ mengalami perubahan yang cukup signifikan. Terlihat pada permukaan material pipa baja API 5L Grade B telah terjadi korosi jenis sumuran (*pitting*) dan korosi jenis seragam (*uniform*). Tingkat konsentrasi salinitas NaCl yang berbeda-beda akan mempengaruhi pola korosi yang terjadi. Pada salinitas 33‰ korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) yang terjadi relatif sedikit dan tidak merata, pada salinitas 35‰ persebaran korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) mulai terjadi peningkatan dan pada salinitas 37‰ terjadi peningkatan yang signifikan pada korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Hal ini sesuai dengan teori dasar yang sudah ada bahwa komposisi kimia dan tingkat konsentrasi sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Pada penelitian ini NaCl

dengan konsentrasi 37‰ mengandung ion klor yang lebih banyak sehingga lebih bersifat korosif.

4.6.4 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Pipa baja API 5L adalah jenis pipa baja dengan kandungan karbon 0.28% (API Standard, 2004). Dengan kandungan karbon tersebut pipa baja API 5L grade B masuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut *hypoeutektoid*. Baja karbon rendah tersusun atas struktur mikro yaitu ferit dan perlit. Kandungan karbon 0.28% berbutir kasar akan dihaluskan. Pemanasan tidak akan memberikan perubahan yang berarti sebelum melampaui temperature kritis bawah A_1 . Pada temperature ini perlit mengalami reaksi eutektoid, berubah dari perlit (yang tadi berbutir kasar) menjadi austenite berbutir halus. Tetapi sampai disini ferit tidak berubah, masih berbutir kasar, bila dilakukan pendinginan ferit masih tetap berbutir kasar karena ferit tidak mengalami perubahan.

Pemanasan selanjutnya akan mengubah ferit menjadi austenit, tetapi tidak menyebabkan penambahan bertumbuhnya butiran austenite yang sudah ada. Perubahan ini terjadi dengan pengintian dan pertumbuhan, sehingga dari satu butiran dapat terjadi beberapa butiran austenit yang lebih halus. Perubahan ini akan selesai pada temperature kritis atas A_3 . Pada temperature sedikit diatas A_3 ini struktur seluruhnya terdiri dari austenite dengan butiran halus. Bila dilakukan pendinginan sangat lambat akan diperoleh struktur perlit + ferit dengan butiran yang halus. Sebagai contoh dapat dilihat pada tabel 4.2 untuk jenis perlakuan panas full annealing. terlihat struktur ferite lebih mendominasi dari pada struktur perlit. Dari hasil perhitungan *point counting* diketahui presentase dari ferit adalah 85 % dan butir perlit 15 %.

Sedangkan setelah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.2 no 10, 11, dan 12 dapat dilihat bahwa untuk material full annealing yang dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* pada variasi konsentrasi NaCl 33‰, 35‰, dan 37‰ mengalami perubahan yang cukup signifikan. Terlihat pada permukaan material pipa baja API 5L Grade B telah terjadi korosi jenis sumuran (*pitting*) dan korosi jenis seragam (*uniform*). Tingkat konsentrasi salinitas NaCl yang berbeda-

beda akan mempengaruhi pola korosi yang terjadi. Pada salinitas 33‰ korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) yang terjadi relatif sedikit dan tidak merata, pada salinitas 35‰ persebaran korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) mulai terjadi peningkatan dan pada salinitas 37‰ terjadi peningkatan yang signifikan pada korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Hal ini sesuai dengan teori dasar yang sudah ada bahwa komposisi kimia dan tingkat konsentrasi sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Pada penelitian ini NaCl dengan konsentrasi 37‰ mengandung ion klor yang lebih banyak sehingga lebih bersifat korosif.

4.6.5 Analisis Hasil Pengujian Metalografi Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Pipa baja API 5L adalah jenis pipa baja dengan kandungan karbon 0.28% (API Standard, 2004). Dengan kandungan karbon tersebut pipa baja API 5L grade B masuk dalam kategori baja karbon rendah (*low carbon steel*) atau biasa disebut *hypoeutektoid*. Perlakuan panas jenis austempering adalah proses pencelupan tertunda. Austenit akan bertransformasi secara isothermal dan berubah menjadi bainite yang memiliki sifat keras tapi ulet. Pada gambar yang tertera di tabel 4.2 no 5 terlihat bahwa struktur bainit yang berwarna hitam dan berbentuk memanjang. Struktur ini hampir sama dengan martensit hanya saja bainit sifatnya lebih ulet. Dari hasil perhitungan *point counting* diketahui presentase dari butir bainit adalah 78 % dan 22 % austenit sisa.


Sedangkan setelah dilakukan uji korosi dapat dilihat pada tabel 4.2 no 13, 14, dan 15 dapat dilihat bahwa untuk material Austempering yang dilakukan pengujian korosi *immersion corrosion test* pada variasi konsentrasi NaCl 33‰, 35‰, dan 37‰ mengalami perubahan yang cukup signifikan. Terlihat pada permukaan material pipa baja API 5L grade B telah terjadi korosi jenis sumuran (*pitting*) dan korosi jenis seragam (*uniform*). Tingkat konsentrasi salinitas NaCl yang berbeda-beda akan mempengaruhi pola korosi yang terjadi. Pada salinitas 33‰ korosi pitting (sumuran) dan seragam (*uniform*) yang terjadi relatif sedikit dan tidak merata, pada salinitas 35‰ persebaran korosi sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*) mulai terjadi peningkatan dan pada salinitas 37‰ terjadi peningkatan

yang signifikan pada korosi jenis sumuran (*pitting*) dan seragam (*uniform*). Hal ini sesuai dengan teori dasar yang sudah ada bahwa komposisi kimia dan tingkat konsentrasi sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Pada penelitian ini NaCl dengan konsentrasi 37% mengandung ion klor yang lebih banyak sehingga lebih bersifat korosif.







4.7 Data dan Analisis Hasil Pengujian Metalografi Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).







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 pembanding 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 4.3







Tabel 4.3 Foto Makrostruktur Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi





No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
1	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 33 %)		

No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
2	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 35 %)		
3	Tanpa Perlakuan Panas (Salinitas 37 %)		
4	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 33 %)		

No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
5	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 35 %)		
6	Perlakuan Panas Hardening (Salinitas 37 %)		
7	Perlakuan Panas Normalizing (Salinitas 33 %)		

No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
8	Perlakuan Panas Normalizing (Salinitas 35 %)		
9	Perlakuan Panas Normalizing (Salinitas 37 %)		
10	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 33 %)		

No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
11	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 35 ‰)		
12	Perlakuan Panas Full Annealing (Salinitas 37 ‰)		
13	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 33 ‰)		

No	Material	Struktur makro sebelum pengujian korosi perbesaran 500X	Struktur makro sesudah pengujian korosi perbesaran 4.7X
14	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 35 ‰)		
15	Perlakuan Panas Austempering (Salinitas 37 ‰)		

4.7.1 Analisis Foto Makrostruktur Tanpa Perlakuan Panas (*Non-Heat Treatment*) Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Dari hasil foto makrostruktur material *non-heat treatment* pipa baja API 5L grade B sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.3 no 1, 2, dan 3 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Setelah dilakukan pengujian korosi

terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi salinitas NaCl yang diberikan maka endapan, bercak dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. G. Shelva mengklasifikasikan warna produk karat baja karbon sebagai berikut.

Tabel 4.4 Warna Produk Karat Pada Baja Karbon

Jenis Baja	Warna Karat	Jenis Produk Karat
Baja Karbon	Kuning kehijauan s/d endapan hijau kotor	Fe(OH) ₂
	Merah kecoklatan	Fe(OH) ₃ , dan FeOOH
	Coklat kehitaman	Fe ₃ O ₄ (magnetite)
	Kuning	Kation Fe ³⁺ (Cl↑↑)

Sumber: G. Shelva

Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.4 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 4.6 di atas.

4.7.2 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Dari hasil foto makrostruktur material hardening pipa baja API 5L grade B sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.3 no 4, 5, dan 6 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Setelah dilakukan pengujian korosi terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi salinitas NaCl yang diberikan maka endapan, bercak dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan

berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.4 diatas. Dari hasil pengamatan makro warna coklat kehitaman tersebut merupakan magnetik (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan merupakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan FeOOH sesuai dengan tabel 4.4 di atas.

4.7.3 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Normalizing Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Dari hasil foto makrostruktur material normalizing pipa baja API 5L grade B sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.3 no 7, 8, dan 9 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Setelah dilakukan pengujian korosi terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi salinitas NaCl yang diberikan maka endapan, bercak dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.4 diatas. Dari hasil pengamatan makro warna coklat kehitaman tersebut merupakan magnetik (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan merupakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan FeOOH sesuai dengan tabel 4.4 di atas.

4.7.4 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Dari hasil foto makrostruktur material Full Annealing pipa baja API 5L grade B sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.3 no 7, 8, dan 9 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Setelah dilakukan pengujian korosi terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi salinitas NaCl yang diberikan maka endapan, bercak

dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.4 diatas. Dari hasil pengamatan makro warna coklat kehitaman tersebut merupakan magnetik (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan merupakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan FeOOH sesuai dengan tabel 4.4 di atas.

4.7.5 Analisis Foto Makrostruktur Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Dilakukan Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*).

Dari hasil foto makrostruktur material Astempering pipa baja API 5L grade B sebelum dilakukan pengujian korosi menggunakan kamera digital dengan perbesaran 4.7X terlihat pada tabel 4.3 no 7, 8, dan 9 bahwa material berwarna putih mengkilap dan tidak terdapat endapan bercak dan produk korosi. Material akan terlihat berbeda apabila sudah dilakukan pengujian korosi dengan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Setelah dilakukan pengujian korosi terjadi perubahan yang sangat signifikan. Dibuktikan melalui pengamatan makro bahwa terlihat endapan yang berwarna coklat kehitaman dan merah kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi salinitas NaCl yang diberikan maka endapan, bercak dan produk korosi yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan G. Shevla, maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.4 diatas. Dari hasil pengamatan makro warna coklat kehitaman tersebut merupakan magnetik (Fe_3O_4) dan warna merah kecoklatan merupakan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan FeOOH sesuai dengan tabel 4.4 di atas.

4.8 Data Hasil Pengujian *Immersion Corrosion Test*

Setelah dilakukan foto makrostruktur tahapan selanjutya dilakukan pengujian *immersion corrosion test* teradap material pipa baja API 5L grade B dengan pengaruh perlakuan panas yang berbeda-beda dan variasi konsentrasi NaCl 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰. Dimana pengujian tersebut dilakukan selama satu bulan (720 jam) dengan waktu pengamatan berat yang hilang selama 1 minggu sekali



Gambar 4.6 proses pengujian *immersion corrosion test*

Data hasil pengujian *immersion corrosion test* terhadap material pipa baja API 5L grade B dengan pengaruh perlakuan panas yang berbeda-beda dan variasi konsentrasi NaCl 33 %, 35 %, dan 37 % dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Data Hasil weight loss pengujian korosi *immersion corrosion test* material Non-Heat Treatment

No	Material	Salintas	Jenis Perlakuan panas	Berat Spesimen (gr)					Weight loss
				Awal	I	II	III	IV	
1	API 5L Grade B	33 ‰	Non-Heat Treatment	31.9672	31.9488	31.9172	31.8871	31.8666	0.1006
2		35 ‰	Non-Heat Treatment	34.3765	34.3589	34.3330	34.2976	34.2744	0.1021
3		37 ‰	Non-Heat Treatment	31.8046	31.7849	31.7492	31.7234	31.6995	0.1051

Tabel 4.6 Data Hasil weight loss pengujian korosi *immersion corrosion test* material Hardening

No	Material	Salintas	Jenis Perlakuan panas	Berat Spesimen (gr)					Weight loss
				Awal	I	II	III	IV	
1	API 5L Grade B	33 ‰	Hardening	29.6797	29.6539	29.6139	29.5904	29.5874	0.0923
2		35 ‰	Hardening	28.6970	28.6872	28.6489	28.6219	28.6125	0.0945
3		37 ‰	Hardening	29.1038	29.0917	29.0407	29.0340	28.9992	0.1046

Tabel 4.7 Data Hasil weight loss pengujian korosi *immersion corrosion test* material Normalizing

No	Material	Salintas	Jenis Perlakuan panas	Berat Spesimen (gr)					Weight loss
				Awal	I	II	III	IV	
1	API 5L Grade B	33 ‰	Normalizing	30.9619	30.9491	30.9118	30.8873	30.8769	0.0850
2		35 ‰	Normalizing	29.0345	29.0226	28.9873	28.9634	28.9409	0.0936
3		37 ‰	Normalizing	28.8095	28.7815	28.7571	28.7338	28.7147	0.0948

Tabel 4.8 Data Hasil weight loss pengujian korosi *immersion corrosion test* material Full Annealing

No	Material	Salintas	Jenis Perlakuan panas	Berat Spesimen (gr)					Weight loss
				Awal	I	II	III	IV	
1	API 5L Grade B	33 ‰	Full Annealing	33.2694	33.2607	33.2337	33.2084	33.1944	0.0750
2		35 ‰	Full Annealing	32.4571	32.4387	32.4168	32.3767	32.3749	0.0822
3		37 ‰	Full Annealing	28.3761	28.3666	28.3329	28.3110	28.2889	0.0872

Tabel 4.9 Data Hasil weight loss pengujian korosi *immersion corrosion test* material Austempering

No	Material	Salintas	Jenis Perlakuan panas	Berat Spesimen (gr)					Weight loss
				Awal	I	II	III	IV	
1	API 5L Grade B	33 ‰	Austempering	30.5335	30.5128	30.4868	30.4640	30.4414	0.0921
2		35 ‰	Austempering	27.7410	27.7193	27.6838	27.6623	27.6472	0.0938
3		37 ‰	Austempering	28.7409	28.7360	28.6942	28.6765	28.6505	0.1004

4.9 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi pada *immersion corrosion test* material pipa baja API 5L grade B menggunakan *weight loss method*. Berikut merupakan perhitungan dalam mencari laju korosi untuk material non-heat treatment salinitas 33 %.

$$\begin{aligned} \text{Corrosion rate} &= \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots(4.1) \\ &= \frac{3450000 \times 0.1006}{7.86 \times 22.7179 \times 720} \\ &= 2.700 \text{ mpy} \end{aligned}$$

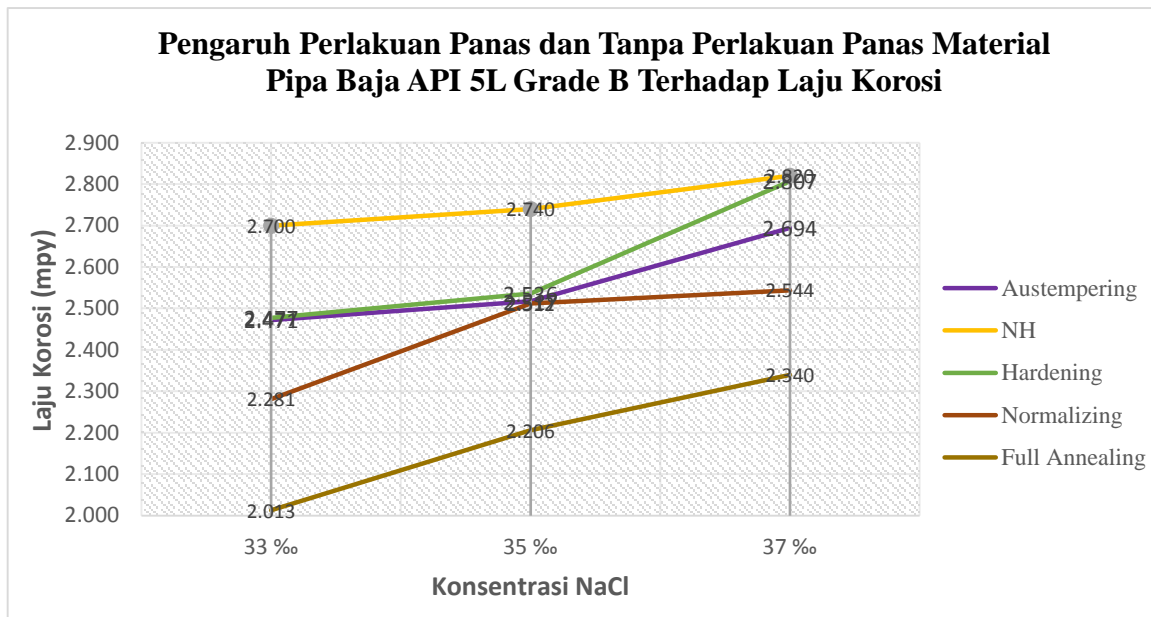
Penjelasan variabel dari persamaan 4.1 dapat dilihat pada persamaan 3.1. Untuk contoh perhitungan pada material yang lain secara keseluruhan dengan salinitas 33 %, 35 %, dan 37 % dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.10 Perhitungan Laju Korosi Keseluruhan Spesimen (dalam satuan mpy)

spesimen	jenis perlakuan panas	salinitas	K (mpy)	W (g)	D (g/cm ³)	A (cm ²)	T (jam)	Laju korosi (mpy)
1	Non-Heat Treatment	33 %	3450000	0.1006	7.86	22.7179	720	2.700
2	Non-Heat Treatment	35 %	3450000	0.1021	7.86	22.7179	720	2.740
3	Non-Heat Treatment	37 %	3450000	0.1051	7.86	22.7179	720	2.820
4	Hardening	33 %	3450000	0.0923	7.86	22.7179	720	2.477
5	Hardening	35 %	3450000	0.0945	7.86	22.7179	720	2.536
6	Hardening	37 %	3450000	0.1046	7.86	22.7179	720	2.807
7	Normalizing	33 %	3450000	0.0850	7.86	22.7179	720	2.281
8	Normalizing	35 %	3450000	0.0936	7.86	22.7179	720	2.512
9	Normalizing	37 %	3450000	0.0948	7.86	22.7179	720	2.544
10	Full Annealing	33 %	3450000	0.0750	7.86	22.7179	720	2.013
11	Full Annealing	35 %	3450000	0.0822	7.86	22.7179	720	2.206
12	Full Annealing	37 %	3450000	0.0872	7.86	22.7179	720	2.340
13	Austempering	33 %	3450000	0.0921	7.86	22.7179	720	2.471
14	Austempering	35 %	3450000	0.0938	7.86	22.7179	720	2.517
15	Austempering	37 %	3450000	0.1004	7.86	22.7179	720	2.694

Kemudian hasil dari perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss* pada tabel 4.10 dapat dibuat kedalam bentuk grafik hubungan antara pengaruh perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas magterial pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi

4.10 Pengaruh Perlakuan Panas dan Tanpa Perlakuan Panas Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Perlakuan Panas dan Tanpa Perlakuan Panas Material pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Analisa dari setiap jenis perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi akan diuraikan secara lebih rinci sebagai berikut.

4.10.1 Analisis Pengaruh Tanpa Perlakuan Panas (*Non-Heat Treatment*) Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi).

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan *non-heat treatment* material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Nilai laju korosi material pipa baja API 5L grade B *non-heat treatment* dengan konsentrasi NaCl 33 % adalah 2.700 mpy, dengan konsentrasi 35 % adalah 2.740 mpy, dan dengan konsentrasi 37 % adalah 2.820 mpy. Dari uraian diatas tampak kecenderungan nilai laju korosi (*corrosion rate*) mengalami peningkatan dari setiap penambahan nilai konsentrasi NaCl. Persentase kenaikan nilai laju korosi dari material tanpa perlakuan panas pada setia konsentrasi adalah sebesar 1.49 % dan 4.47 %. Laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi terjadi pada material pipa baja API 5L grade B dengan konsentrasi NaCl 37 % yaitu sebesar 2.820 mpy. Adapun nilai laju korosi terendah ada pada konsentrasi NaCl 33 % yaitu sebesar 2.700 mpy. Tingkat kekerasan dan struktur

mikro material tanpa perlakuan panas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana material tanpa perlakuan panas memiliki kekerasan rata-rata sebesar 141.12 HBN, 150.00 HBN dan 153.60 HBN. Tingginya nilai kekerasan material tanpa perlakuan panas mengakibatkan struktur mikro tersebut didominasi butir perlit dengan persentase 51 % dan 49 % ferit, butir perlit memiliki sifat keras dan tidak tahan karat. Hal ini mengakibatkan material tanpa perlakuan panas memiliki laju korosi yang paling tinggi dengan perlakuan panas lainnya (hardening normalizing, full annealing dan austempering). Tegangan sisa yang masih tinggi akibat belum adanya perlakuan panas juga menjadi faktor penting tingginya nilai laju korosi.

4.10.2 Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Hardening Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan hardening material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Nilai laju korosi material pipa baja API 5L Grade B hardening dengan konsentrasi NaCl 33 ‰ adalah 2.477 mpy, dengan konsentrasi 35 ‰ adalah 2.536 mpy, dan dengan konsentrasi 37 ‰ adalah 2.807 mpy. Dari uraian diatas tampak kecenderungan nilai laju korosi (*corrosion rate*) mengalami peningkatan dari setiap penambahan nilai konsentrasi NaCl. Persentase kenaikan nilai laju korosi dari material perlakuan panas jenis hardening pada setiap konsentrasi adalah sebesar 2.38 % dan 13.32 %. Laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi terjadi pada material pipa baja API 5L Grade B dengan konsentrasi NaCl 37 ‰ yaitu sebesar 2.807 mpy. Adapun nilai laju korosi terendah ada pada konsentrasi NaCl 33 ‰ yaitu sebesar 2.477 mpy. 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 179.38 HBN, 183.62 HBN dan 186.80 HBN. Tingginya nilai rata-rata kekerasan material hardening mengakibatkan struktur mikro tersebut didominasi butir martensit dengan persentase 78 % dan 22% austenite sisa, martensit memiliki sifat keras, kuat dan getas, mudah terkorosi. Hal ini mengakibatkan material dengan perlakuan panas hardening memiliki laju korosi yang tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan panas lainnya (normalizing, full annealing dan austempering). Perpaduan antara

nilai kekerasan material yang sangat tinggi dan struktur mikro martensit mengakibatkan nilai laju korosi perlakuan panas jenis hardening paling tinggi dari perlakuan panas jenis lainnya (normalizing, full annealing, austempering) akan tetapi nilai laju korosi tersebut masih dibawah nilai laju korosi material tanpa perlakuan panas.

4.10.3 Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Normalising Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan panas normalising material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Nilai laju korosi material pipa baja API 5L grade B normalizing dengan konsentrasi NaCl 33 ‰ adalah 2.281 mpy, dengan konsentrasi 35 ‰ adalah 2.512 mpy, dan dengan konsentrasi 37 ‰ adalah 2.544 mpy. Dari uraian diatas tampak kecenderungan nilai laju korosi (*corrosion rate*) mengalami peningkatan dari setiap penambahan nilai konsentrasi NaCl. Persentase kenaikan nilai laju korosi dari material perlakuan panas jenis normalising pada setiap konsentrasi adalah sebesar 10.11 % dan 11.52 %. Laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi terjadi pada material pipa baja API 5L grade B dengan konsentrasi NaCl 37 ‰ yaitu sebesar 2.544 mpy. Adapun nilai laju korosi terendah ada pada konsentrasi NaCl 33 ‰ yaitu sebesar 2.281 mpy. Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis normalising memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis normalising memiliki kekerasan rata-rata sebesar 101.14 HBN, 105.58 HBN dan 108.38 HBN. Nilai kekerasan rata-rata material dengan perlakuan panas normalising mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir ferit dengan persentase 58 % dan perlit 42 %, ferit memiliki sifat lunak dan ulet serta tahan terhadap karat. Hal ini mengakibatkan material dengan perlakuan panas normalising memiliki laju korosi yang rendah jika dibandingkan dengan material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas lainnya (hardening, dan austempering). Akan tetapi nilai laju korosi material dengan perlakuan panas normalising masih diatas material dengan perlakuan panas full annealing.

4.10.4 Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Full Annealing Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan panas full annealing material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Nilai laju korosi material pipa baja API 5L grade B full annealing dengan konsentrasi NaCl 33 ‰ adalah 2.013 mpy, dengan konsentrasi 35 ‰ adalah 2.206 mpy, dan dengan konsentrasi 37 ‰ adalah 2.340 mpy. Dari uraian diatas tampak kecenderungan nilai laju korosi (*corrosion rate*) mengalami peningkatan dari setiap penambahan nilai konsentrasi NaCl. Persentase kenaikan nilai laju korosi dari material perlakuan panas jenis full annealing pada setiap konsentrasi adalah sebesar 9.60 % dan 16.26 %. Laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi terjadi pada material pipa baja API 5L grade B dengan konsentrasi NaCl 37 ‰ yaitu sebesar 2.340mpy. Adapun nilai laju korosi terendah ada pada konsentrasi NaCl 33 ‰ yaitu sebesar 2.013 mpy. Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis full annealing memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis full annealing memiliki kekerasan rata-rata sebesar 89.02 HBN, 89.76 HBN dan 90.40 HBN. Nilai kekerasan rata-rata material dengan perlakuan panas full annealing mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir ferit dengan persentase 85 % dan perlit 15 %, ferit memiliki sifat lunak dan ulet serta tahan terhadap karat. Hal ini mengakibatkan material dengan perlakuan panas full annealing memiliki laju korosi yang paling rendah dengan material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas lainnya (hardening, normalizing, dan austempering).

4.10.5 Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Jenis Austempering Material Pipa Baja API 5L Grade B Terhadap Laju Korosi.

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh perlakuan panas austempering material pipa baja API 5L grade B terhadap laju korosi. Nilai laju korosi material pipa baja API 5L grade B austempering dengan konsentrasi NaCl 33 ‰ adalah 2.471 mpy, dengan konsentrasi 35 ‰ adalah 2.517 mpy, dan dengan konsentrasi 37 ‰ adalah 2.694 mpy. Dari uraian diatas tampak kecenderungan nilai laju korosi (*corrosion rate*) mengalami peningkatan dari setiap penambahan nilai konsentrasi NaCl. Persentase kenaikan nilai laju korosi dari material perlakuan panas jenis

austempering pada setiap konsentrasi adalah sebesar 1.84 % dan 9.01 %. Laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi terjadi pada material pipa baja API 5L Grade B dengan konsentrasi NaCl 37 ‰ yaitu sebesar 2.694 mpy. Adapun nilai laju korosi terendah ada pada konsentrasi NaCl 33 ‰ yaitu sebesar 2.471 mpy. Tingkat kekerasan dan struktur mikro akibat proses perlakuan panas jenis austempering memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju korosi material. Dimana dalam perlakuan panas jenis austempering memiliki kekerasan rata-rata sebesar 100.86 HBN, 102.98 HBN dan 103.80 HBN. Nilai kekerasan rata-rata material dengan perlakuan panas austempering mengakibatkan struktur mikro material tersebut didominasi oleh butir bainit dengan persentase 78 % dan 22 % austenite sisa, bainit memiliki sifat keras akan tetapi ulet. Hal ini mengakibatkan material dengan perlakuan panas austempering memiliki nilai laju korosi yang tinggi dibanding dengan material tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas lainnya (normalizing dan full annealing).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Material pipa baja API 5L Grade B tanpa perlakuan panas memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan material pipa baja API 5L Grade B yang diberikan perlakuan panas. Nilai laju korosi pada material pipa baja API 5L Grade B **tanpa perlakuan panas** (*non-heat treatment*) disetiap konsentrasi yang diuji yaitu 33 ‰, 35 ‰ dan 37 ‰ adalah **2.700 mpy, 2.740 mpy, dan 2.820 mpy**. Sedangkan material pipa baja API 5L Grade B dengan perlakuan panas full annealing memiliki nilai laju korosi paling rendah dari perlakuan panas lainnya. Nilai laju korosi pada material pipa baja API 5L Grade B dengan perlakuan panas jenis **full annealing** disetiap konsentrasi yang diuji yaitu 33 ‰, 35 ‰ dan 37 ‰ adalah **2.031 mpy, 2.206 mpy, dan 2.340 mpy**.

2. Dari hasil foto mikrostruktur dan makrostruktur material pipa baja API 5L Grade B 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 perlit, ferite, martensite, dan bainite. 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 magnetik** (Fe_3O_4) dan **warna merah kecoklatan yang merupakan** $Fe(OH)_3$ 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 pipa baja API 5L Grade B di lingkungan laut. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai laju korosi yang paling

rendah dari perlakuan panas lainnya yaitu sebesar 2.031 mpy, 2.206 mpy, dan 2.340 mpy. Hasil ini dapat dijadikan sebagai referensi pemilihan perlakuan panas material pipa baja API 5L Grade B sebelum diaplikasikan di lingkungan laut serta sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

1.2 Saran

Guna pengembangan lebih lanjut pada 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. Dilakukan uji Tarik terhadap material uji untuk mengetahui *yield strength* dan *ultimate tensile strength*.
4. Perhitungan laju korosi menggunakan metode elektrokimia

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol.13 2003. “*Corrosion: Fundamental, Testing, and Protection*”.
ASM International
- ASM Handbook Vol.4 2004. “*Heat Treating*”.
ASM International
- API. 2004. *Spesification 5L Forty-third edition, Spesification for line pipe* .
Washington : API Published Service.
- ASTM. (2004). ASTM G31-72. *Standard Practice for laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. 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 Subtitute 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., Trethewey, KR. 1991.”*Korosi-Untuk mahasiswa dan Rekayasawan*”. Jakarta: PT Gramedia PustakaUtama.
- Chandler, Kenneth A. 1985, *Marine and Offshore Corrosion*, Butterworth & Co (Publisher) Ltd, 1985.
- Djaprie, Sriati. 1985. “*Teknologi Mekanik Jilid 1 Edisi Ketujuh Versi SI*”. Jakarta Pusat: Erlangga

Diktat Jurusan Teknik material dan Metalurgi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Fadli. 2011. "*Studi Laju Korosi Baja API 5L GRB di Dalam Larutan Asam Sulfat 1M dengan Penambahan Inhibitor Aniline-4-Sulfonate*". Jakarta: Universitas Indonesia.

Fontana, Mars G, 1987, *Corrosion Engineering Third Edition*, New York : Mc Graw-Hill.

<http://borneoperkasatehnik.blogspot.co.id/>

<https://pmahatrisna.wordpress.com/>

<http://yayanlutfi6812.blogspot.co.id/2014/11/korosi-celah.html>

NACE TM-0169-76, *Standar Test Method laboratory Corrosion Testing of metals for the Process industries, Item No. 5300. Reprinted May 1992.*

Roberge, Pierre R. 2008. "*Corrosion Engineering Principle and Practice*". McGraw-Hill Companies. New York Chicago San Francisco

Sastradimaja, Febrina 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

Supardi, Rachmat, (1987). *Korosi*, Penerbit Tarsito.
Bandung.

Supriyanto. 2007. "*Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah*". Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Suryo, Hadi Sumar. 2010. "*Laju Korosi dan kekerasan Pipa Baja API 5L X65 Setelah Normalising*". Semarang: Universitas Diponegoro.

Telning, Karl-Erik. 1984. "*Steel and heat treatment second edition*". Replika press Pvt Ltd , 100% EOU. Delhi 110 040, India.

BIODATA PENULIS



Bayu Dwi Handoko dilahirkan di Rembang, 05 Januari 1995. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara, pasangan Djuli dan Sholihah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Handayani Pedak Sulang, SD Negeri Pedak Sulang, SMP Negeri 2 Rembang, dan SMA Negeri 1 Rembang. Setelah lulus SMA Negeri 1 Rembang pada tahun 2013, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri dan diterima di Departemen Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4313100030. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi intra dan ekstra kampus. Dalam organisasi intra kampus penulis aktif di UKM Resimen Mahasiswa ITS 2013, JMMI ITS 2014 dan Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Teknik Kelautan FTK ITS 2015. Sedangkan didalam organisasi ekstra kampus penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Islam Komisariat Perkapalan Korkom Sepuluh Nopember sebagai wasekum P3A pada tahun 2014, sekretaris umum 2016 dan wasekum P3A Korkom Sepuluh Nopember 2017. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melakukan kerja praktek di PT. Alstom Power ESI Surabaya dengan keahlian analisis *pipe stress analysis* pada HRSG. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang keahlian material, dengan kajian analisis pengaruh *heat treatment* terhadap laju korosi dan sifat mekanis pipa baja API 5L Grade B di Lingkungan laut. Untuk lebih tahu tentang penulis dapat menghubungi kontak dibawah ini.

Kontak Penulis.

E-mail : bayuhandoko0991@yahoo.co.id

No.Hp : 089606986160

Lampiran 1

Data Dimensi Spesimen

Tabel 1. Data Dimensi Spesimen Uji

Spesimen	Jenis Perlakuan Panas	Salinitas	Diameter	jari-jari	Diameter	jari-jari	Tinggi
			Lingkaran kecil	Lingkaran kecil	Lingkaran besar	Lingkaran besar	
1	Non-Heat Treatment	33 ‰	27	13.5	34	17	15
2	Non-Heat Treatment	35 ‰	27	13.5	34	17	15
3	Non-Heat Treatment	37 ‰	27	13.5	34	17	15
4	Hardening	33 ‰	27	13.5	34	17	15
5	Hardening	35 ‰	27	13.5	34	17	15
6	Hardening	37 ‰	27	13.5	34	17	15
7	Normalizing	33 ‰	27	13.5	34	17	15
8	Normalizing	35 ‰	27	13.5	34	17	15
9	Normalizing	37 ‰	27	13.5	34	17	15
10	Full Annealing	33 ‰	27	13.5	34	17	15
11	Full Annealing	35 ‰	27	13.5	34	17	15
12	Full Annealing	37 ‰	27	13.5	34	17	15
13	Austempering	33 ‰	27	13.5	34	17	15
14	Austempering	35 ‰	27	13.5	34	17	15
15	Austempering	37 ‰	27	13.5	34	17	15

Lampiran 2
Data Perhitungan Luas Permukaan
Spesimen

Tabel 2. Perhitungan Luas Permukaan Spesimen

Luas Lingkaran besar	Luas Lingkaran kecil	Luas alas	Luas atas	Luas selimut	Luas permukaan (mm ²)	Luas permukaan (cm ²)
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179
907.46	572.265	335.195	335.195	1601.4	2271.79	22.7179

Lampiran 3
Nilai Konstanta Dalam Satuan Laju
Korosi

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)	8.76×10^7
picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square meter per hour ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D$
milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D$
micrograms per square meter per second ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D$

Sumber: ASTM G1-90, 1999

Lampiran 4

Perhitungan Nilai Laju Korosi Spesimen

Tabel 3. Perhitungan Nilai Laju Korosi Spesimen

Spesimen	Jenis Perlakuan Panas	Salinitas	Laju Korosi (mpy)
1	Non-Heat Treatment	33 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.1006}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.700$
2	Non-Heat Treatment	35 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.1021}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.740$
3	Non-Heat Treatment	37 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.1051}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.820$
4	Hardening	33 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0923}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.477$
5	Hardening	35 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0945}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.536$
6	Hardening	37 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.1046}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.807$
7	Normalising	33 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0850}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.281$
8	Normalising	35 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0936}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.512$
9	Normalising	37 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0948}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.544$
10	Full Annealing	33 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0750}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.013$
11	Full Annealing	35 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0822}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.206$
12	Full Annealing	37 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0872}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.340$
13	Austempering	33 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0921}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.471$
14	Austempering	35 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.0938}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.517$
15	Austempering	37 ‰	$\frac{3.45 \times 10^6 \times 0.1004}{7.86 \times 22.7179 \times 720} = 2.694$

Lampiran 5
Hasl Uji Metalografi Spesimen Sebelum
Uji Korosi



(i) Material Awal Perbesaran 100X



(ii) Material Awal Perbesaran 100X



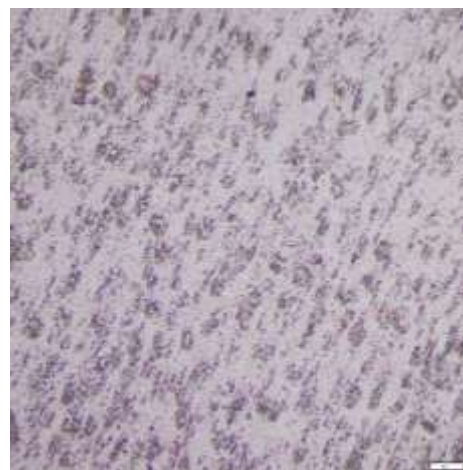
(iii) Material Hardening Perbesaran 100X



(iv) Material Hardening Perbesaran 500X



(v) Material Normalising Perbesaran 100X



(vi) Material Normalising Perbesaran 500X



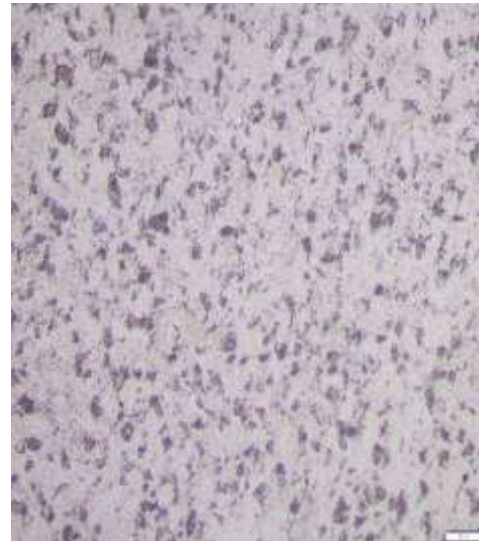
(vii) Material Full Annealing 100 X



(viii) Material Full Annealing 500X

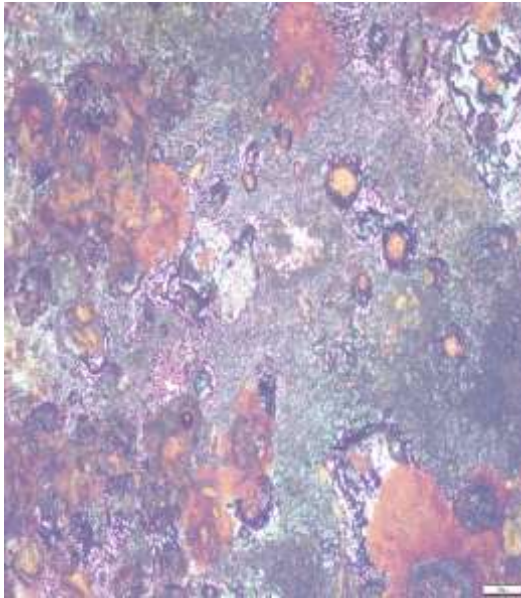


(ix) Material Austempering 100X

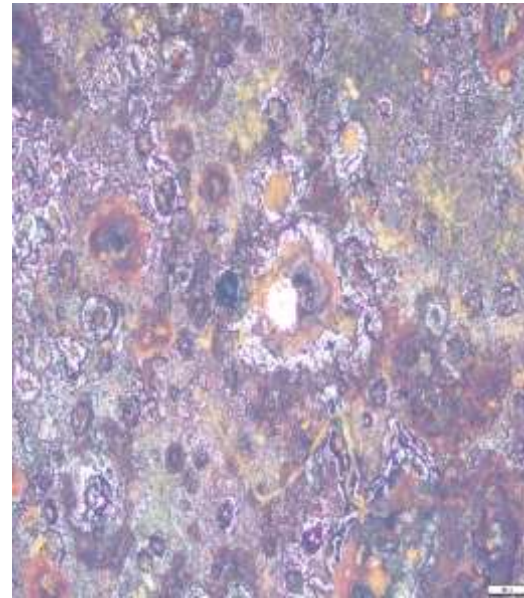


(x) Material Austempering 500X

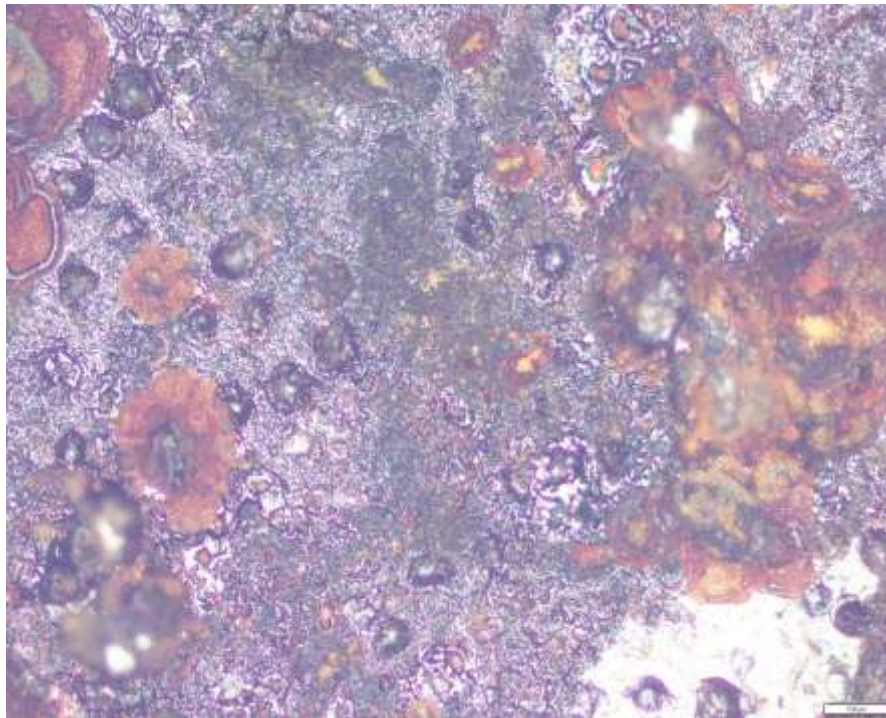
Lampiran 6
Hasil Uji Metalografi Spesimen Sesudah
Uji Korosi



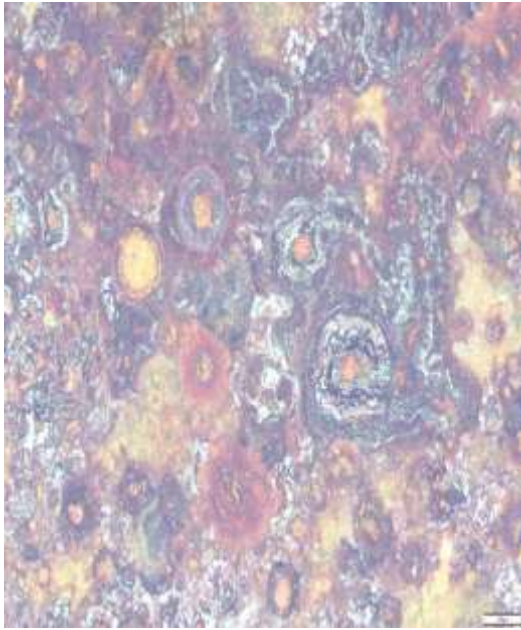
(i) Non-Heat Treatment Salinitas 33 %



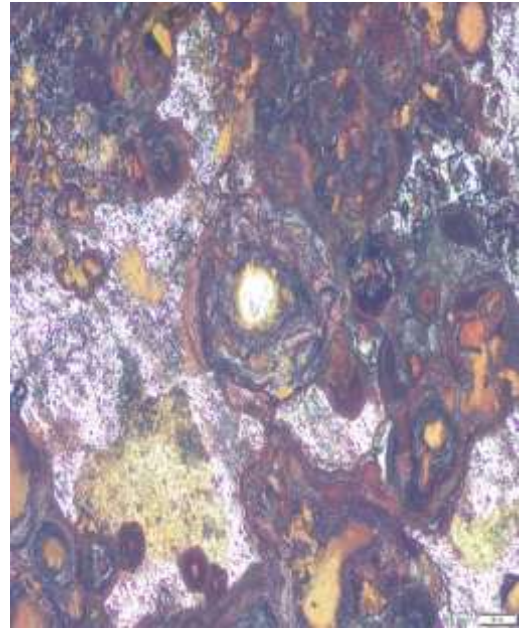
(ii) Non-Heat Treatment Salinitas 35 %



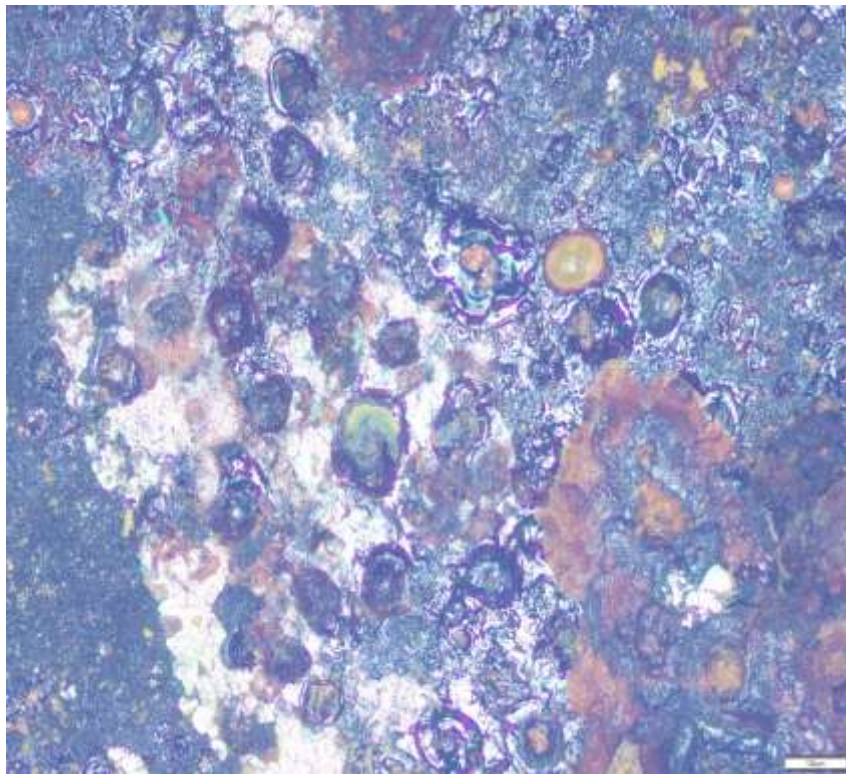
(iii) Non-Heat Treatment Salinitas 37 %



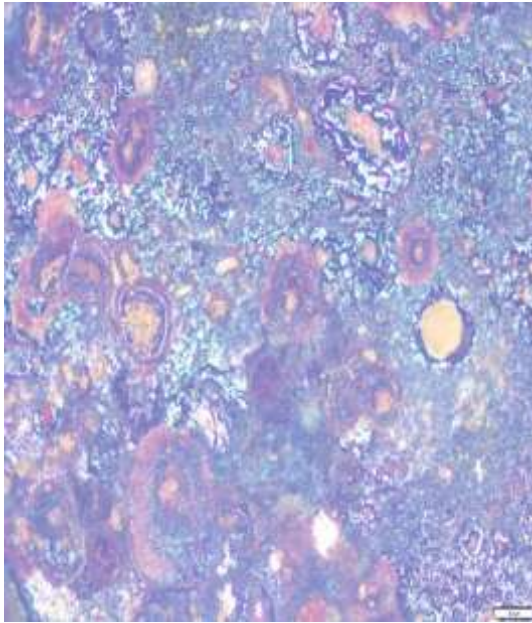
(i) Hardening Salinitas 33 %



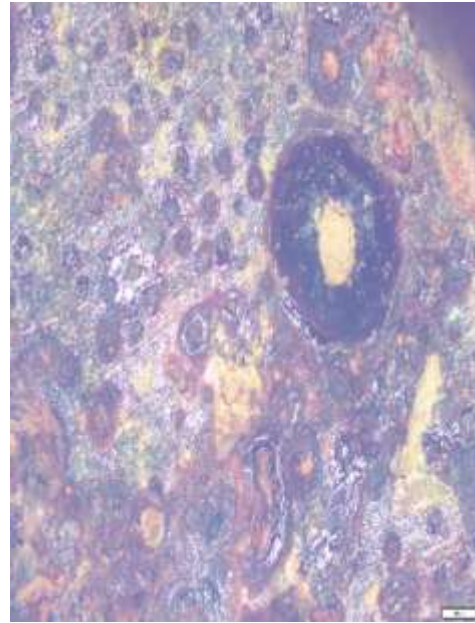
(ii) Hardening Salinitas 35 %



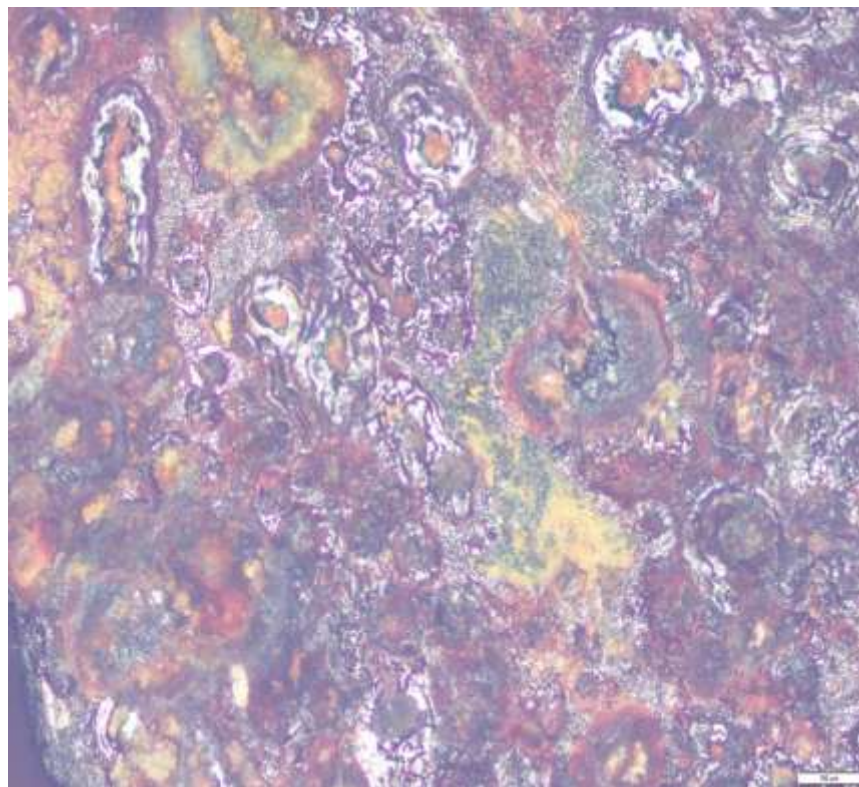
(iii) Hardening Salinitas 37 %



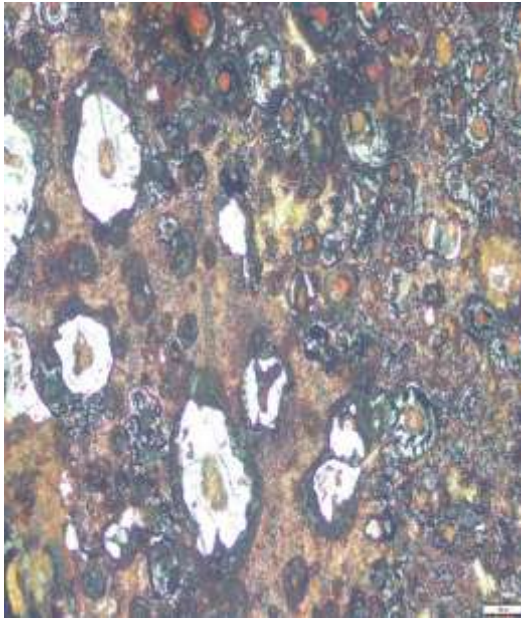
(ii) Normalising Salinitas 35 %



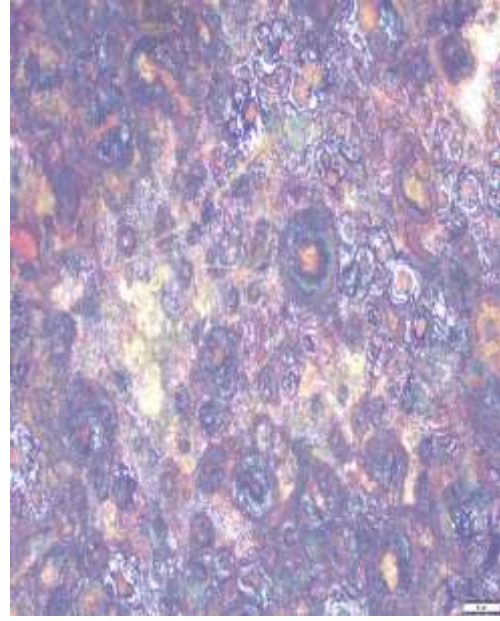
(ii) Normalising Salinitas 35 %



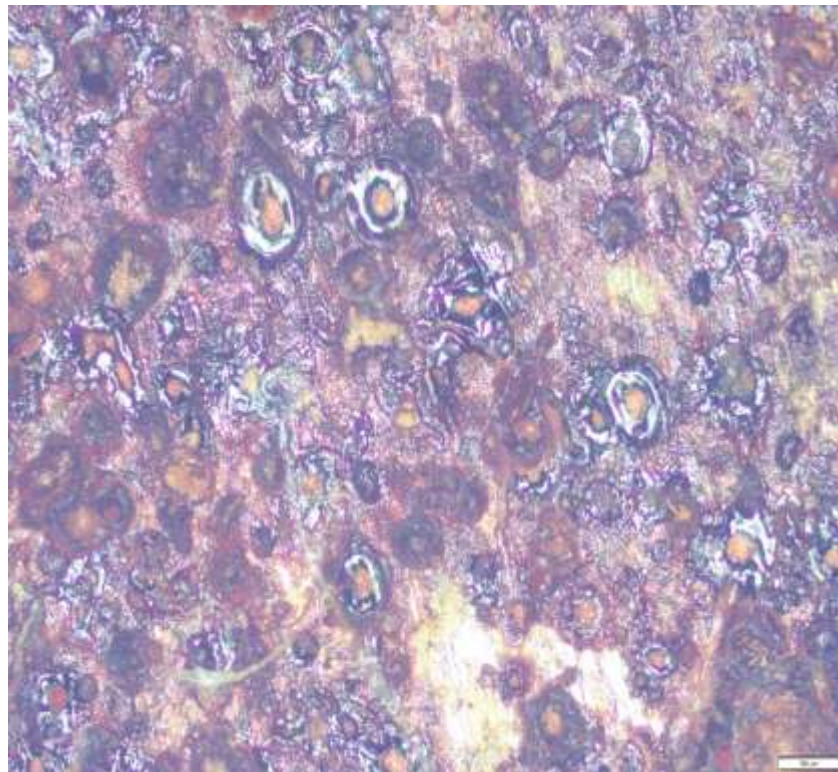
(iii) Normalising Salinitas 37 %



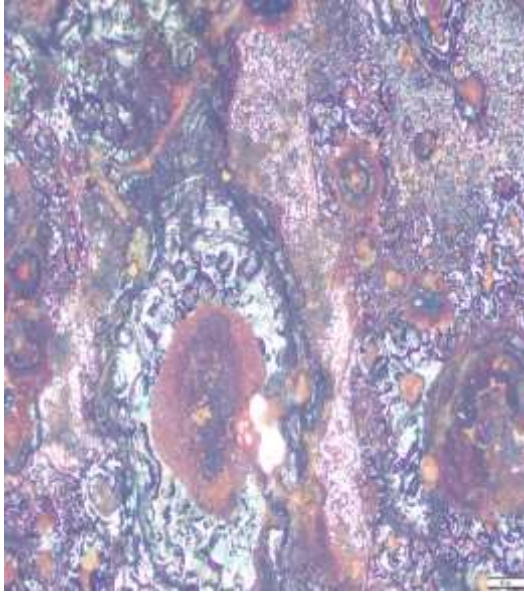
(i) Full Annealing Salinitas 33 ‰



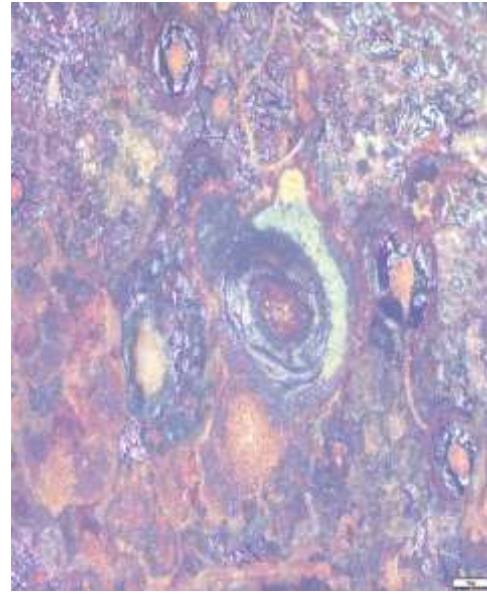
(ii) Full Annealing Salinitas 33 ‰



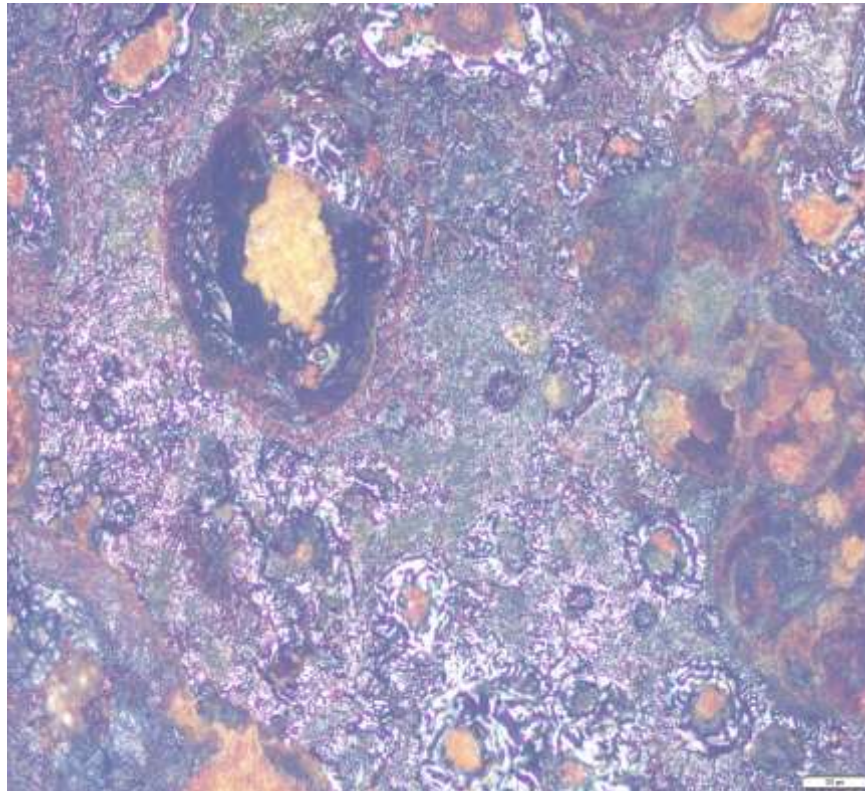
(iii) Full Annealing Salinitas 37 ‰



(i) Austempering Salinitas 33 ‰



(ii) Austempering Salinitas 33 ‰



(ii) Austempering Salinitas 37 ‰

Lampiran 7
Foto Macrostruktur Spesimen Sebelum Uji
Korosi



(i) Foto Makrostruktur Material Tanpa Perlakuan Panas dan Perlakuan Panas Hardening, Normalising, Full Annealing

Lampiran 8
Foto Macrostruktur Spesimen Sesudah Uji
Korosi



(i) Non-Heat Treatment Salinitas 33 %



(ii) Non-Heat Treatment Salinitas 35 %



(iii) Non-Heat Treatment Salinitas 35 %



(iv) Hardening Salinitas 33 %



(v) Hardening Salinitas 35 %



(vi) Hardening Salinitas 37 %



(vii) Normalising Salinitas 33 ‰



(viii) Normalising Salinitas 35 ‰



(ix) Normalising Salinitas 37 ‰



(x) Full Annealing Salinitas 33 ‰



(xi) Full Annealing Salinitas 35 ‰



(xii) Full Annealing Salinitas 37 ‰



(xiii) Austempering Salinitas 33 %



(xiv) Austempering Salinitas 35 %



(xiv) Austempering Salinitas 37 %