

**PENGARUH KONSENTRASI *INHIBITOR* SODIUM NITRAT
TERHADAP LAJU KOROSI DAN LAJU PERAMBATAN RETAK
FATIK KOROSI PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS BAJA
KARBON SS 400 DAN BAJA TAHAN KARAT SUS 304**

TESIS

Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai Magister
Program Studi Teknik Mesin



Oleh
Bangkit Rachmat Hilca
S951302002

**PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2016**

**PENGARUH KONSENTRASI *INHIBITOR* SODIUM NITRAT
TERHADAP LAJU KOROSI DAN LAJU PERAMBATAN RETAK
FATIK KOROSI PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS BAJA
KARBON SS 400 DAN BAJA TAHAN KARAT SUS 304**

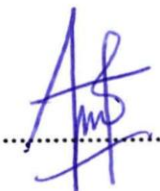

TESIS

Disusun oleh:

Oleh

Bangkit Rachmat Hilca

NIM S951302002

Komisi	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing			
Pembimbing I	Dr. Triyono, S.T., M.T. NIP. 19740625 199903 1 002	
Pembimbing II	Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. NIP. 19710103 199702 1 001	

Telah dinyatakan memenuhi syarat

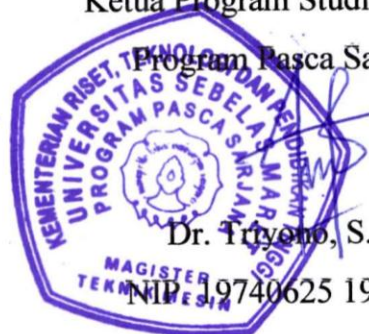
Pada tanggal 27 Januari 2016

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Program Pasca Sarjana UNS

Dr. Triyono, S.T., M.T.

NIP. 19740625 199903 1 002


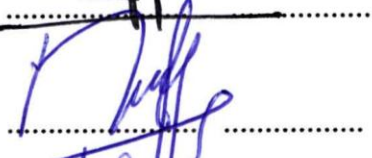
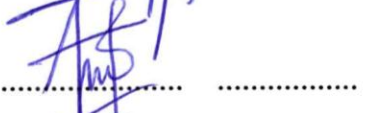
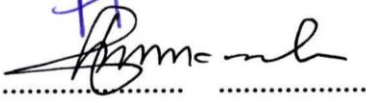


**PENGARUH KONSENTRASI *INHIBITOR* SODIUM NITRAT
TERHADAP LAJU KOROSI DAN LAJU PERAMBATAN RETAK
FATIK KOROSI PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS BAJA
KARBON SS 400 DAN BAJA TAHAN KARAT SUS 304**


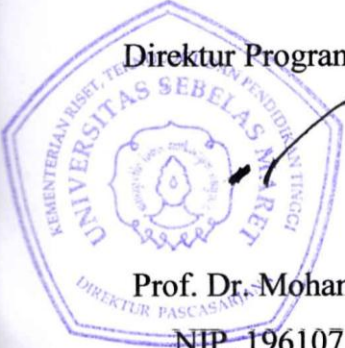
TESIS

**Disusun oleh:
Bangkit Rachmat Hilca
NIM S951302002**

Tim penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Dr. Agus Supriyanto, S.Si., M.Si. NIP. 19690826 199903 1 001	
Sekretaris	Dr. Nurul Muhayat, S.T., M.T. NIP. 19700323 199802 1 001	
Anggota	Dr. Triyono, S.T., M.T. NIP. 19740625 199903 1 002	
Penguji	Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. NIP. 19710103 199702 1 001	

**Telah dipertahankan di depan penguji
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat
Pada tanggal 27 Januari 2016**


Direktur Program Pascasarjana UNS

Prof. Dr. Mohammad Furqon H., M.Pd.
NIP. 19610717 198601 1 001


Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

Dr. Triyono, S.T., M.T.
NIP. 19740625 199903 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS PUBLIKASI ISI TESIS
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Tesis yang berjudul: “**PENGARUH KONSENTRASI *INHIBITOR* SODIUM NITRAT TERHADAP LAJU KOROSI DAN LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK KOROSI PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS BAJA KARBON SS 400 DAN BAJA TAHAN KARAT SUS 304**” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No.17, tahun 2010).
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi Tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seijin dan menyertakan tim pembimbing sebagai author dan PPs UNS sebagai Institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester (enam bulan sejak pengesahan tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan tesis ini, maka Prodi Magister Teknik Mesin UNS berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Prodi Magister Teknik Mesin UNS. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, 27 Januari 2016

Mahasiswa

Bangkit Rachmat Hilca
S951302002

Bangkit Rachmat Hilca, NIM: S951302002, 2016. **PENGARUH KONSENTRASI *INHIBITOR* SODIUM NITRAT TERHADAP LAJU KOROSI DAN LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK KOROSI PADA PENGELASAN LOGAM TAK SEJENIS BAJA KARBON SS 400 DAN BAJA TAHAN KARAT SUS 304**. Komisi Pembimbing I: Dr. Triyono, S.T., M.T. Pembimbing II: Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin. Program Pasca Sarjana. Universitas Sebelas Maret Surakarta

Abstrak

Pengelasan logam tidak sejenis, seringkali dibutuhkan dalam sifat-sifat tertentu dari suatu konstruksi. Secara khusus, baja tahan karat memiliki ketahanan korosi yang baik sedangkan baja karbon memiliki aspek ekonomi dalam penghematan biaya produksi daripada penggunaan baja tahan karat saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi laju korosi pada pengelasan logam tidak sejenis antara baja tahan karat AISI 304 dan baja karbon dalam larutan NaCl 3,5% dengan penambahan variasi *inhibitor* sodium nitrat. Pengaruh pre-korosi selama 5 hari dilakukan untuk mengetahui efek perendaman dan penggunaan *inhibitor* sodium nitrat terhadap peningkatan siklus perambatan retak fatik.

Pengujian yang telah dilakukan antarlain: Uji tarik, polarisasi *resistance*, *fatigue crack*, Pengujian kekerasan dan fraktografi SEM-EDS. Pengujian polarisasi *resistance* dilakukan dengan *scan rate* 0,1 mV/s dan waktu pengujian selama 30 menit. Pengujian fatik spesimen MT pre-korosi selama 5 hari dengan variasi konsentrasi *inhibitor* sodium nitrat sebesar: 0%; 0,1%; 0,3% dan 0,5% yang dilakukan dengan rasio pembebanan sebesar 0,25 dan frekuensi sebesar 12 Hz. Pengujian radiografi menggunakan pesawat sinar-x Rigaku Radioflex 250EG-S3 dengan waktu penyinaran selama 3 menit dan tegangan kerja 120 kV.

Pengujian polarisasi *resistance* menunjukkan bahwa penambahan *inhibitor* sodium nitrat dapat menurunkan laju korosi didapatkan kondisi optimum konsentrasi *inhibitor* 0,5% dengan laju korosi untuk ER 308 sebesar 0,0143 mmpy dan ER 309L sebesar 0,0159 mmpy. Hasil pengamatan SEM pada daerah lasan ER 308 dan ER 309L yang telah dilakukan pengujian polarisasi *resistance* menunjukkan *severe pitting* untuk konsentrasi tanpa penambahan *inhibitor* sodium nitrat. Hasil pengamatan SEM pada daerah lasan ER 308 dan ER 309L yang telah dilakukan pengujian polarisasi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *inhibitor* sodium nitrat mengakibatkan penurunan jumlah korosi sumuran pada kedua spesimen tersebut. Penurunan jumlah dan ukuran diameter *pitting* disebabkan ion nitrat bereaksi dengan Fe^{2+} yang menghasilkan *barrier film* $[Fe(OH)_3]$ sehingga meningkat perlindungan terhadap korosi sumuran. Hasil pengujian fatik MT menunjukkan peningkatan siklus perambatan retak seiring dengan peningkatan konsentrasi *inhibitor* sodium nitrat. Peningkatan siklus perambatan retak fatik disebabkan penurunan *local stress* pada daerah ujung retak yang disebabkan perlindungan ion nitrat yang menyerap ion *chloride* pada lapisan pasif sehingga mengakibatkan peningkatan siklus perambatan retak fatik.

Bangkit Rachmat Hilca, NIM: S951302002, 2016. **Effect of concentration sodium nitrate inhibitor on corrosion rate and corrosion fatigue crack propagation in Dissimilar Metal Weld between Carbon Steel SS 400 and Stainless Steel SUS 304** .Supervisor I: Dr. Triyono, S.T., M.T. Supervisor II: Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. Thesis Master on Mechanical Engineering. Graduate School. Sebelas Maret University, Surakarta

Abstract

Dissimilar steel welds between carbon and stainless steels are necessary for the efficient utilization of stainless steels in construction. In particular, stainless steel have good corrosion resistance and carbon steel have economic aspects in production cost saving than only use by stainless steel. This study aims to reduce corrosion rates on dissimilar metal welds between AISI 304 stainless steel and carbon steel in 3.5% NaCl solution with the addition of sodium nitrate inhibitor variation. Effect of pre-corrosion for 5 days was conducted to determine the effects of immersion and the use of inhibitors of sodium nitrate to the increased cycle fatigue crack propagation.

The material used in this study was stainless steel SUS 304 and carbon steel SS 400. Polarization resistance test, based on the ASTM G-5, were performed in a three electrode. Open circuit was measurement in 30 min and potential scan rate of 0.1 mV /s. MT fatigue testing specimen pre-corrosion for 5 days with variation concentration of sodium nitrate inhibition is 0%; 0.1%; 0.3% and 0.5%, which performed with ratio of 0.25 and frequency of 12 Hz. All specimens were tested at room temperature in laboratory air. Radiographic testing using x-ray plane type Rigaku Radioflex 250EG-S3 with a time of irradiation for 3 minutes and working voltage is 120 kV.

Polarization resistance testing demonstrated that the addition of sodium nitrate inhibitor can reduce the corrosion rate obtained optimum conditions inhibitor concentration of 0.5% with the corrosion rate for the ER 308 at 0.0143 mmpy and ER 309L at 0.0159 mmpy. SEM observations on the weld region ER 308 and ER 309L has done testing showed severe polarization pitting resistance without adding to the concentration of sodium nitrate inhibitor. SEM observations on the weld region ER 308 and ER 309L has done potentiodynamic polarization tests showed that increasing concentrations of sodium nitrate inhibitor resulted in a decrease in the number of pitting corrosion in the second specimen. A decrease in the number and size of the diameter of pitting caused nitrate ions react with Fe^{2+} which produces barrier films $[Fe(OH)_3]$ so that increased protection against pitting corrosion. Fatigue test of MT specimen pre-corroded for 5 days with variation concentrations of sodium nitrate inhibitor: 0%; 0.1%; 0.3% and 0.5%, which were performed with ratio of 0.25 and stress ratio 20% could improve fatigue crack cycle with increasing concentrations of sodium nitrate inhibitor. Improved cycle fatigue crack propagation due to a decrease in local stress in the area of the crack tip caused by protection nitrate ion which absorbs the of chloride ions in the passive layer so that the result an increase in cycle fatigue crack propagation.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “Pengaruh Konsentrasi *Inhibitor* Sodium Nitrat terhadap Laju Korosi dan Laju Perambatan Retak Fatik Korosi pada Pengelasan Logam Tak Sejenis Baja Karbon SS 400 dan Baja Tahan Karat SUS 304”.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tesis ini tidak mungkin selesai tanpa adanya dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Triyono, S.T., M.T. selaku Ketua program studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana UNS dan
2. Bapak Dr. Triyono, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan serta pengarahan dari awal hingga selesainya Tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dari awal hingga selesainya Tesis ini.
4. Bapak Supardi, BATAN, Serpong, Banten.
5. Bapak Sunhaji dan Sriyanto, Laboran Lab. Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin UGM
6. Bapak Drs. Djoko Maryanto, Lab Radiografi BATAN, Yogyakarta
7. Rekan-rekan mahasiswa S2 Jurusan Teknik Mesin

Penulis sangat menyadari bahwa penyusunan Tesis ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun.

Wassalaamu'alikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, 27 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1. Baja karbon SS 400.....	6
2.2.2. Baja Tahan Karat SUS 304.....	8
2.2.3. Laju Perambatan Retak Fatik.....	8
2.2.3.1. Fatik yang dikorosikan.....	11
2.2.4. <i>Inhibitor</i>	12
2.2.4.1. Efisien <i>Inhibitor</i>	13
2.3. Hipotesis.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1. Material yang digunakan.....	14
3.2. Metode dan Skema Penelitian.....	15
3.2.1. Metode dan Skema Penelitian.....	15

3.2.2. Diagram Alir	16
3.3. Analisis Data	17
3.3.1. Pengujian Tarik	17
3.3.2. Pengujian Perambatan Retak Fatik	18
3.3.3. Pengujian Laju Korosi	20
3.3.4. Pengujian SEM-EDS.....	21
3.3.5. Pengujian Radiografi.....	22
3.3.6. Pengujian Kekerasan	22
3.4. Waktu dan Tempat Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Pengujian Struktur Mikro.....	24
4.2 Pengujian Kekerasan	26
4.3 Pengujian Uji Tarik	27
4.4 Pengujian Radiografi.....	34
4.5 Pengujian Potensiodinamik Polarisasi	38
4.6 Pengujian hasil potensiodinamik dengan analisa SEM-EDS	42
4.7 Foto Makro Daerah Ujung Retak	45
4.8 Pengujian perambatan retak fatik spesimen ER 308 dan ER 309L..	46
4.9 Pengujian fraktografi dengan karakterisasi SEM-EDS.....	56
BAB V PENUTUP.....	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah	7
Gambar 2.2. Laju perambatan retak da/dN , sebagai fungsi ΔK	10
Gambar 2.3. Retakan yang disebabkan oleh korosi sumuran	12
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2. Spesimen Uji tarik.....	17
Gambar 3.3. Retakan Awal dan bentuk spesimen <i>middle tension</i>	18
Gambar 3.4. Proses pengujian perambatan retak fatik.....	20
Gambar 3.5. Skema alat uji korosi	21
Gambar 4.1. Struktur mikro logam induk	24
Gambar 4.2. Struktur HAZ pada pengelasan logam tidak sejenis	25
Gambar 4.3. Struktur mikro lasan pengelasan logam tidak sejenis	25
Gambar 4.4. Grafik kekerasan Micro Hardness Vickers ER 309L	27
Gambar 4.5. Grafik kekerasan Micro Hardness Vickers ER 308	27
Gambar 4.6. Grafik tegangan regangan pengujian pada logam dasar dan daerah las	28
Gambar 4.7. Diagram tegangan tarik hasil pengujian logam dasar dan logam lasan	29
Gambar 4.8. Grafik hubungan kedalaman korosi spesimen ER 309L dengan penurunan korosi variasi <i>inhibitor</i> dalam larutan NACL 3,5%	29
Gambar 4.9. Grafik hubungan kedalaman korosi spesimen ER 308 dengan penurunan korosi variasi <i>inhibitor</i> dalam larutan NACL 3,5%	30
Gambar 4.10. Grafik tegangan regangan pengujian tarik spesimen ER 309L pada daerah las	31
Gambar 4.11. Grafik tegangan-regangan pengujian tarik spesimen ER 308 pada daerah las.....	31
Gambar 4.12. Diagram tegangan-regangan pengujian tarik spesimen ER 309L pada daerah las spesimen pre-korosi	32
Gambar 4.13. Grafik tegangan-regangan pengujian tarik spesimen ER 308 pada daerah las spesimen pre-korosi	32

Gambar 4.14. Radiografi daerah pengelasan ER 309L setelah dilakukan perendaman	34
Gambar 4.15. Radiografi daerah pengelasan ER setelah dilakukan Perendaman spesimen ER 309L dengan konsentrasi <i>inhibitor</i> Sodium nitrat 0,5%	35
Gambar 4.16. Radiografi daerah pengelasan ER 308 setelah dilakukan perendaman	36
Gambar 4.17. Radiografi daerah pengelasan setelah dilakukan Perendaman spesimen ER 308 dengan konsentrasi <i>inhibitor</i> Sodium nitrat 0,5%	36
Gambar 4.18. Grafik <i>Polarisation resistance</i> ER 308	38
Gambar 4.19. Grafik ER 309L	38
Gambar 4.20. Laju korosi data pengujian spesimen ER 309L	39
Gambar 4.21. Laju korosi data pengujian spesimen ER 308	40
Gambar 4.22. Tipe korosi sumuran	41
Gambar 4.23. Spesimen korosi sumuran logam pengisi ER 308	42
Gambar 4.24. Spesimen korosi sumuran logam pengisi ER 309L	43
Gambar 4.25. Menyajikan foto makro pada daerah disekitar <i>notch</i> Spesimen ER 309L	45
Gambar 4.26. Menyajikan foto makro pada daerah disekitar <i>notch</i> Spesimen ER 309L	46
Gambar 4.27. Hubungan antara panjang retak (a) dengan jumlah siklus (N) spesimen ER 309L	47
Gambar 4.28. Hubungan antara panjang retak (a) dengan jumlah siklus (N) spesimen ER 308	48
Gambar 4.29. Perambatan retak fatik spesimen ER 309L kondisi udara	49
Gambar 4.30. Perambatan retak fatik specimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,%	49
Gambar 4.31. Perambatan retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,1%	50
Gambar 4.32. Perambatan retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl	

	3,5% + NaNO ₃ 0,3%	50
Gambar 4.33.	Perambatan retak fatik spesimen 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,5%	51
Gambar 4.34.	Perambatan retak fatik spesimen ER 308 kondisi udara	51
Gambar 4.35.	Perambatan retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,%	52
Gambar 4.36.	Perambatan retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,1%	52
Gambar 4.37.	Perambatan retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,3%	53
Gambar 4.38.	Perambatan retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,5%	53
Gambar 4.39.	Treadline plot da/dN vs ΔK logam pengisi ER 309L.....	54
Gambar 4.40.	Treadline plot da/dN vs ΔK logam pengisi ER 308	54
Gambar 4.41.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0%	57
Gambar 4.42.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,1%	57
Gambar 4.43.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,3%	58
Gambar 4.44.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 309L dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,5%	58
Gambar 4.45.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 309L kondisi udara.....	59
Gambar 4.46.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0%	60
Gambar 4.47.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,1%	60
Gambar 4.48.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,3%	61
Gambar 4.49.	Inisiasi retak fatik spesimen ER 308 dalam larutan NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,5%	61

Gambar 4.50. Inisiasi retak fatik spesimen ER 308 kondisi udara	62
Gambar 4.51. Daerah propagasi patahan fatik ER 308	63
Gambar 4.52. Daerah propagasi patahan fatik ER 309L	64
Gambar 4.53. Daerah striasi patahan fatik dengan logam pengisi ER 309L ...	65
Gambar 4.54. Daerah striasi patahan fatik dengan logam pengisi ER 308.....	66
Gambar 4.55. Karakterisasi patahan daerah <i>dimple rupture</i> spesimen ER 309L Pada kondisi udara	67
Gambar 4.56. Karakterisasi patahan daerah <i>dimple rupture</i> spesimen ER 308 Pada kondisi udara	67
Gambar 4.57. Bentuk spesimen NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0%	68
Gambar 4.58. Bentuk spesimen NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,1%	68
Gambar 4.59. Bentuk spesimen NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,3%	69
Gambar 4.60. Bentuk spesimen NaCl 3,5% + NaNO ₃ 0,5%	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi baja karbon SS 400	7
Tabel 2.2. Komposisi baja karbon SUS 304	7
Tabel 3.1. Komposisi kimia SUS 304.....	15
Tabel 3.2. Komposisi kimia SS 400.....	15
Tabel 3.3. Variasi penelitian logam pengisi dan variasi konsentrasi	16
Tabel 3.4. Jadwal kegiatan penelitian	23