



TUGAS AKHIR - MO091336

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *QUENCHING*
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR
MIKRO PADA SAMBUNGAN PLAT ASTM A36**

DONALD

NRP. 4309 100 070

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T, M.T, Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT - M0091336
EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF
QUENCHING ON MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE ON THE CONNECTION PLATE ASTM
A36

DONALD

REG. 4309 100 070

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T, M.T, Ph.D

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *QUENCHING* TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA
SAMBUNGAN
PLAT ASTM A36**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DONALD

NRP. 4309100070

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir.ImamRochani, M.Sc.....(Pembimbing I)
2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST, MT, Ph.D.....(Pembimbing II)

Surabaya, Februari 2014

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH QUENCHING TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN
PLAT ASTM A36**

Nama Mahasiswa : Donald
NRP : 4309 100 070
Jurusan : Jurusan Teknik kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRAK

Kebakaran yang terjadi pada struktur bangunan lepas pantai atau kapal dapat membuat struktur mengalami perubahan struktur mikro dan perubahan kekuatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dan kekuatan tarik akibat proses *quenching*, dengan variasi suhu, waktu pemanasan, dan media pendingin, pada sambungan plat ASTM A36 sebagai simulasi kebakaran. Proses pengujian *quenching* dilakukan menggunakan kriteria yang ada dalam ASTM A709, pengujian tarik dilakukan menggunakan kriteria sesuai AWS D.1.1, dan analisa struktur mikro menggunakan kriteria sesuai. Dari hasil pengujian *quenching*, Penurunan kekuatan tarik terbesar adalah sambungan yang dipanaskan pada suhu 950°C dengan waktu 60 menit, dan dengan media air laut, yaitu 326.96 MPa nilai yield strength dan 420.61 MPa nilai UTS. Penurunan ini masih dalam batas ijin tensile strength sesuai kriteria ASTM A36. Keuletan pada sambungan plat berbanding lurus dengan kekuatan tarik sambungan. Jika kekuatan plat menurun, keuletan sambungan juga menurun. Penurunan kekuatan terkecil pada plat A3 disebabkan karena terbentuknya struktur austenite sisa yang membuat kekuatan struktur menjadi berkurang. Penurunan kekuatan terbesar pada plat B4 disebabkan karena terbentuknya struktur austenit sisa, sehingga penurunan kekuatannya lebih besar dari A3. Hal ini disebabkan karena struktur austenit bersifat lunak namun tidak ulet.

Kata kunci : ASTM A36, keuletan, struktur mikro, *quenching*, *tensile strength*

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF QUENCHING
ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE ON
THE CONNECTION PLATE ASTM A36**

Student Name : Donald
NRP : 4309 100 070
Department : Department of Ocean Engineering FTK – ITS
Advisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRACT

Fire that occurred on the offshore structure or ship can make structure changes of micro-structure and the change of power. This research aims to know the change of microstructure and tensile strength due to quenching process, with variations in temperature, the time of heating, cooling, and media on a connection plate ASTM A36 as fire simulation. The testing process is done using quenching existing criteria in ASTM A709, tensile testing performed using appropriate criteria AWS D 1.1, and microstructure analysis using appropriate criteria. Test results of quenching, decreasing the tensile strength is the biggest connection that is heated at a temperature of 950°C with a time of 60 minutes, and with the media sea water, 326.96 MPa yield strength value and 420.61 value MPa UTS. This decline is still within the bounds of appropriate tensile strength criteria permit ASTM A36. Ductility on the connection plate is directly proportional to the tensile strength of connection. If the strength of the ductility decreases, the connection plate is also declining. The smallest power loss on a plate A3 due to formation of residual austenite structure that makes the power structure to be reduced. The biggest power loss on a plate structure formation due to B4 austenit remnants, so his loss is larger than A3. This caused by structure austenite is malleable but not tenacious.

Keywords: ASTM A36, ductility, microstructure, tensile strength, quenching

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera

Puji dan Syukur atas berkat, rahmat Tuhan yang berkelimpahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Eksperimen Pengaruh Quenching Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Plat ASTM A36**”.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dalam Tugas akhir penulis melakukan eksperimen quenching untuk mengetahui hubungan antara struktur mikro dan kekuatan tarik pada plat ASTM A36 sebagai bentuk dari simulasi kebakaran.

Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat menambah ilmu dalam bidang produksi dan dapat dijadikan acuan atau referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan. Penulis juga menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi materi maupun penyusunannya, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan / penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang.

Surabaya, Februari 2014

Donald

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Hipotesis Awal.....	6
2.3 Teori Umum Material Baja.....	7
2.3.1 Plat Baja.....	7

2.3.2 Plat ASTM A36 dan Komposisi Kimia.....	8
2.3.3 Sifat Mekanik Plat ASTM A36.....	9
2.4 Heat Treatment Pada Baja	11
2.4.1 Definisi Heat Treatment	11
2.4.2 Jenis-Jenis Heat Treatment	12
2.5 Pengelasan SMAW	15
2.6 Kampuh V.....	16
2.7 Sel Elektroda.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Prosedur Umum	19
3.2 Diagram Alir.....	22
3.3 Tabel Rencana Uji Plat.....	25
3.4 Persiapan Material, Alat dan Media.....	25
3.4.1 Persiapan Material dan Alat.....	25
3.4.2 Persiapan Media	26
3.5 Proses Quenching.....	28
3.6 Uji Tarik	32
3.7 Uji Struktur Mikro	34
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Uji Tarik	37
4.2 Hasil Pengamatan Keuletan.....	41
4.3 Hasil Uji Struktur Mikro	43
4.3.1 Hasil Uji Struktur Mikro Tanpa Perlakuan <i>Heat treatment</i>	43

4.3.2 Hasil Uji Struktur Mikro Dengan Perlakuan <i>Quenching</i>	44
4.3.2.1 Hasil Uji Struktur Mikro Dengan Perlakuan <i>Quenching</i> Pada Suhu 750°C	44
4.3.2.2 Hasil Uji Struktur Mikro Dengan Perlakuan <i>Quenching</i> Pada Suhu 950°C	48
4.4 Hubungan Antara Kekuatan Tarik, Keuletan, dan Struktur Mikro.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Chemical requirement</i> ASTM A36	8
Tabel 2.2 <i>Tensile requirements</i>	11
Tabel 2.3 Spesifikasi elektroda pengelasan.....	17
Tabel 3.1 Rencana pengujian plat.....	25
Tabel 3.2 Komposisi kimia pengganti air laut.....	27
Tabel 4.1 <i>Tensile requirement</i> ASTM A36.....	37
Tabel 4.2 Persentase penurunan <i>yield strength</i> dan <i>ultimate strength</i> uji quenching suhu 750°C dengan sambungan plat tanpa uji quenching (A0).....	39
Tabel 4.3 Persentase penurunan <i>yield strength</i> dan <i>ultimate strength</i> uji quenching suhu 950°C dengan sambungan plat tanpa uji quenching (A0).....	40
Tabel 4.4 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat tanpa <i>heat treatment</i>	41
Tabel 4.5 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat uji <i>quenching</i> suhu 750°C.....	42
Tabel 4.6 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat uji <i>quenching</i> suhu 950°C.....	42
Tabel 4.7 Hubungan antara kekuatan dan keuletan uji <i>quenching</i> suhu 750°C	52
Tabel 4.8 Hubungan antara kekuatan dan keuletan uji <i>quenching</i> suhu 950°C	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram tegangan dan regangan	9
Gambar 2.2 Penentuan <i>yield</i> dengan metode <i>offset</i>	10
Gambar 2.3 Diagram TTT proses <i>Heat Treatment</i>	15
Gambar 2.4 Skema peralatan pengelasan SMAW.....	16
Gambar 3.1 Diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro tanpa proses <i>quenching</i>	23
Gambar 3.2 Diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro dengan proses <i>quenching</i>	24
Gambar 3.3 Plat ASTM A36 sebelum dibevel.....	26
Gambar 3.4 Plat ASTM A36 setelah dibevel	26
Gambar 3.5 Proses penomoran plat	28
Gambar 3.6 Plat yang telah diberikan penomoran.....	29
Gambar 3.7 Proses pengaturan suhu 750°C	29
Gambar 3.8 Proses pengaturan suhu 950°C	29
Gambar 3.9 Proses memasukkan media pendingin	30
Gambar 3.10 Proses pengambilan plat	31
Gambar 3.11 Proses pendinginan plat kedalam larutan air laut	31
Gambar 3.12 Proses pendinginan plat kedalam air tawar	31
Gambar 3.13 Plat yang telah di <i>quenching</i>	32
Gambar 3.14 Pemodelan plat untuk pengujian tarik	33
Gambar 3.15 Proses pengujian tarik	33
Gambar 3.16 Potongan plat yang telah di <i>mounting</i>	34
Gambar 3.17 Proses <i>polishing</i> potongan plat.....	35
Gambar 3.18 Mikroskop optik untuk meneliti struktur mikro	35
Gambar 4.1 Grafik perbandingan <i>Yield Strength</i> dan <i>Ultimate Strength</i> sambungan plat tanpa perlakuan <i>Quenching</i>	37
Gambar 4.2 Grafik nilai <i>Yield Strength</i> dan <i>Ultimate Strength</i> pada pemanasan suhu 750°C dengan plat tanpa <i>quenching</i>	38

Gambar 4.3 Grafik nilai <i>Yield Strength</i> dan <i>Ultimate Strength</i> pada pemanasan suhu 950°C dengan plat tanpa <i>quenching</i>	39
Gambar 4.4 Grafik <i>elongation</i> sambungan plat tanpa <i>heat treatment</i>	50
Gambar 4.5 Grafik <i>elongation</i> plat uji <i>quenching</i> suhu 750°C dengan plat tanpa <i>heat treatment</i>	50
Gambar 4.6 Grafik <i>elongation</i> plat uji <i>quenching</i> suhu 950°C dengan plat tanpa <i>heat treatment</i>	51
Gambar 4.7 Sambungan plat tanpa perlakuan <i>quenching</i> perbesaran 100x.....	43
Gambar 4.8 Sambungan plat A3 perbesaran 100x	44
Gambar 4.9 Sambungan plat A1 perbesaran 100x	45
Gambar 4.10 Sambungan plat A2 perbesaran 100x	46
Gambar 4.11 Sambungan plat A4 perbesaran 100x	47
Gambar 4.12 Sambungan plat B3 perbesaran 100x.....	48
Gambar 4.13 Sambungan plat B1 perbesaran 100x.....	49
Gambar 4.14 Sambungan plat B2 perbesaran 100x.....	50
Gambar 4.15 Sambungan plat B4 perbesaran 100x.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini penggunaan pelat baja dalam industri kelautan seperti industri minyak dan gas, serta dunia perkapalan terus berkembang. Plat baja digunakan sebagai bahan untuk membuat struktur. Didalam industri kelautan dapat terjadi hal-hal yang membahayakan seperti naiknya suhu tiba-tiba pada pipa ataupun kebakaran pada platform dan kapal dapat terjadi. Apabila hal tersebut terjadi akan dilakukan pemadaman ataupun pendinginan secara cepat.

Proses pemadaman dan pendinginan secara cepat akan berdampak pada perubahan struktur mikro pada plat baja. Dengan adanya perubahan struktur mikro pada material baja, baja akan mengalami perubahan kekuatan pada struktur. Dampak lain karena adanya perubahan struktur mikro pada plat adalah perubahan plat yang menjadi getas dan keras, dapat menyebabkan struktur mudah retak.

Penelitian ini akan menganalisa besar kekuatan tarik dan struktur mikro pada plat baja akibat proses *quenching*. Plat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat ASTM A36. Penelitian ini akan dilakukan dengan uji laboratorium dengan variasi suhu, waktu pembakaran dan media pendinginan. Diharapkan dari penelitian ini dapat mengetahui kekuatan tarik dan perubahan struktur mikro plat baja dalam simulasi kebakaran struktur industri kelautan, sehingga dapat mengurangi kegagalan struktur yang menyebabkan kecelakaan karena kejadian tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun pokok permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar kekuatan tarik pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
2. Bagaimana struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
3. Bagaimana keuletan pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
4. Hubungan antara kekuatan tarik, keuletan dan struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan perumusan masalah diatas, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kekuatan tarik pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
2. Mengetahui bentuk struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
3. Mengetahui keuletan pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*
4. Mengetahui hubungan antara kekuatan tarik, keuletan, dan struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui proses dalam uji *quenching*
2. Mengetahui nilai kekuatan tarik, keuletan, dan bentuk struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 akibat proses *quenching*

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan-batasan agar pembahasan tidak terlalu meluas, yaitu :

1. Tingkat konsentrasi dan salinitas air laut sama dalam pengujian pelat baja menggunakan ASTM D1141 – 90, “*Standart Specification for Subtitute Ocean Water*” adalah larutan pengganti air laut.
2. Jenis material uji ASTM A36
3. Media pendinginan dalam proses *quenching* adalah air laut dan air tawar
4. Proses *quenching* dilakukan sesuai standar ASTM A709
5. Variasi suhu yang digunakan adalah 750°C dan 950°C
6. Variasi waktu pemanasan yang digunakan adalah 30 menit dan 60 menit
7. Elektroda yang digunakan dalam proses uji diklasifikasikan oleh AWS A5.1 (*American Welding Society*) dengan jenis E6013

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir meliputi :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan berbagai hal yang membuat penelitian tugas akhir dilakukan, yaitu kondisi yang melatar belakangi sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi permasalahan dan perlu dijawab, pencapaian yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian tugas akhir, dan batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta gambaran dari sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, sebagaimana tinjauan pustaka yakni penjelasan singkat hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dan dasar teori berisi tulisan dan cuplikan penemuan ilmu pengetahuan dari peneliti,

persamaan-persamaan, dan *code* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir sebagai pedoman seperti yang dijelaskan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data yang digunakan dalam tugas akhir, menerangkan *pemodelan* yang dilakukan saat penyelesaian penelitian, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari luaran *pemodelan*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir yang berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang telah dilakukan serta rekomendasi yang perlu diberikan untuk penelitian lebih lanjut. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Septianto (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh media pendingin pada *heat treatment* pada baja karbon rendah tipe AISI 1340 terhadap struktur mikro dan sifat mekanis. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah media pendingin air, oli, dan udara dengan suhu sama 840°C. Sifat mekanis yang diteliti adalah struktur mikro dan kekerasan. Dari hasil percobaan *quenching* penurunan kekerasan terkecil terjadi akibat media pendingin air. Penurunan terbesar akibat media pendingin udara dengan susunan struktur mikro ferit dan perlit.

Jamal (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh *heat treatment* terhadap kekuatan sambungan las terhadap baja karbon tinggi. Sifat mekanis yang diteliti adalah kekuatan tarik, ketangguhan, dan keuletan. Hasil dari pengujian *heat treatment quenching* didapat bahwa keuletan dan ketangguhan berkurang pada plat yang mengalami peningkatan kekuatan.

2.2 Hipotesis Awal

Dari hasil penelitian sebelumnya tentang pengaruh *heat treatment* dengan proses *quenching* pada baja karbon, maka diajukan hipotesis awal dalam penelitian ini. Pada studi eksperimen pengaruh *quenching* terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36, diharapkan kekuatan pada sambungan las akibat variasi suhu, waktu pemanasan, dan media pendingin air laut berkurang dibandingkan kekuatan pada sambungan las akibat variasi suhu, waktu pemanasan, dan media pendingin air tawar. Sedangkan keuletan pada sambungan las bertambah pada struktur yang mengalami penurunan

kekuatan. Struktur mikro pada sambungan las diharapkan terbentuk fasa ferit, perlit, martensit akibat media pendingin air tawar dan air laut.

2.3 Teori Umum Material Baja

2.3.1 Plat Baja

Secara umum baja merupakan material yang tersusun oleh bahan-bahan kimia seperti *carbon* (C), besi (Fe), dan unsur lainnya. Paduan logam-logam material pembentuk baja berkembang seiring waktu dan teknologi yang berkembang juga. Industri kelautan pun mengembangkan paduan material yang menciptakan jenis baja yang sesuai dengan industrinya.

Secara umum baja terklasifikasi menjadi beberapa bagian, yaitu :

- a. Baja menurut kekuatannya
- b. Baja menurut struktur mikroskopiknya
- c. Baja menurut penggunaannya
- d. Baja menurut komposisinya

Menurut komposisi kimianya, baja dibagi menjadi menjadi dua, yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja tanpa paduan. Baja karbon mempunyai campuran karbon yang lebih dominan, dan memiliki campuran lainnya yang lebih kecil jumlahnya.

Baja karbon dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

- Baja karbon rendah (*Mild Steel/Low Carbon Steel*) : mempunyai campuran karbon maksimal 0,30% dari paduannya. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah di-bending dan di-machining (Zakharov, 1962).
- Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) : mempunyai kandungan karbon berkisar antara 0,30% - 0,70%. Baja karbon menengah mempunyai kandungan perlit yang cukup banyak, sehingga baja tersebut mempunyai sifat lebih kuat dan keras.

- o Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) : mempunyai kandungan karbon diatas 70%. Mempunyai sifat lebih kuat dan lebih keras, namun menjadi lebih getas.

2.3.2 Plat ASTM A36 dan Komposisi Kimia

Untuk penelitian ini baja yang digunakan adalah plat ASTM A36. Plat ASTM A36 termasuk dalam golongan baja karbon rendah. Plat ASTM A36 didalam industri kelautan digunakan untuk struktur deck platform. Untuk pipa, ASTM A36 sering dipakai untuk pembuatan pipa transmisi minyak dan gas tekanan rendah. Plat baja ASTM A36 mempunyai komposisi material, dan *mechanic property* yang ditunjukkan pada tabel dibawah berikut

Tabel 2.1 Chemical Requirement ASTM A36
(Sumber ASTM A36 – 04)

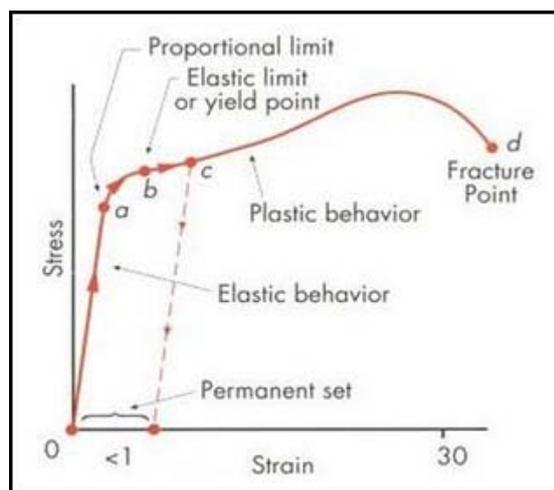
Product	Shapes ^A	Plates ^B				
		To ³ / ₄ [20] inch	Over ³ / ₄ To 1 ¹ / ₂ [20 to 40] inch	Over 1 ¹ / ₂ To 2 ¹ / ₂ [40 to 65] inch	Over 2 ¹ / ₂ To 4 [64 to 100] inch	Over 4 [100] inch
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.8-1.20	0.8-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosporus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Cooper, min, % when copper steel is	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

2.3.3 Sifat Mekanik Plat ASTM A36

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya komponen yang terbuat dari bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/komponen tersebut.

Kekuatan tarik. Hal yang paling menonjol pada kekuatan tarik adalah diagram tegangan-regangan. Pada diagram tegangan-regangan dapat dibedakan dua daerah, yaitu daerah elastic dan daerah plastis.

Sifat mekanik pada daerah plastis dinamakan kekuatan elastis. Kekuatan elastic menyatakan kemampuan menerima beban tanpa berakibat terjadinya deformasi plastik (perubahan bentuk yang permanen). Kekuatan elastic ditunjukkan oleh titik yield (besarnya tegangan yang mengakibatkan terjadinya yield).

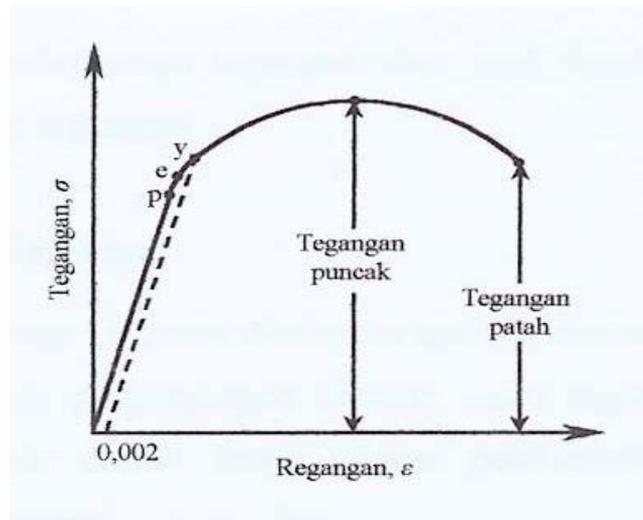


Gambar 2.1 Diagram tegangan regangan

(http://koleksidion.blogspot.com/2009_12_01_archive.html)

Untuk logam-logam yang ulet yang memperlihatkan terjadinya yield dengan jelas, tentu batas ini mudah ditentukan, tetapi untuk logam-logam yang lebih getas dimana yield tidak tampak jelas atau sama sekali tidak terlihat maka yield dapat dicari dengan metode offset. Harga yang diperoleh dengan cara ini dinamakan *offset yield strength*. Dalam hal ini

regangan dianggap mulai terjadi bila sudah timbul reganganplastik sebesar 0.2 % atau 0.35%.secara grafik, offset yield strength dengan menarik garis sejajar dengan garis elastic dari titik regangan, atau 0.2% hingga memotong kurva.



Gambar 2.2 Penentuan yield dengan metode offset

(<http://yefrichan.files.wordpress.com/2010/05/sifat-material1.doc>)

Kekuatan elastik ini penting sekali dalam suatu perancangan yang bekerja pada suatu bagian tidak melebihi yield point/strength dari bahan, supaya tidak terjadi deformasi plastik. Pada daerah plastis, terdapat kekuatan tarik yang menunjukkan kemampuan material untuk menerima beban tanpa menjadi rusak ataupun putus. Kekuatan tarik (Ultimate tensile strength):

$$UTS = \sigma_u = \frac{P_{max}}{A_0}$$

Kekuatan tarik ini sering dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan-perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini.

Pada baja, kekuatan tarik akan naik seiring dengan naiknya kadar karbon dan paduan.

Sifat-sifat mekanik material yang digunakan adalah sesuai dengan standar ASTM A36, sebagai berikut :

Tabel 2.2 Tensile Requirements (Sumber ASTM A36 – 04)

Plates, Shapes, and Bars :	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^c
Plates and Bars:	
Elongation in 8 in [200mm], min, %	20
Elongation in 2 in [50mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in [200mm], min, %	20
Elongation in 2 in [50mm], min, %	21

2.4 Heat Treatment Pada Baja

2.4.1 Definisi Heat Treatment

Heat treatment atau perlakuan panas adalah kombinasi operasi dari pemanasan dan pendinginan pada waktu dan kecepatan tertentu yang dilakukan pada logam atau paduan logam dalam bentuk padat. Secara umum perlakuan panas dilakukan dengan cara memanaskan material pada temperatur tertentu, kemudian dilakukan temperatur penahanan pada material, setelah itu material didinginkan pada suhu dan media tertentu. Perlakuan panas (*heat treatment*) ini dapat dilakukan pada:

- a. Dekat Keseimbangan (*Near-equilibrium*)
- b. Tidak Seimbang (*Non-equilibrium*)

Pada perlakuan panas dekat keseimbangan (*Near-equilibrium*) secara umum bertujuan untuk:

1. Melunakkan.
2. Menghaluskan butir.
3. Menghilangkan tegangan dalam.

4. Memperbaiki kemampuan dimesin (*machineability*).

2.4.2 Jenis – Jenis *Heat Treatment*

Proses perlakuan panas terbagi dalam beberapa jenis, yaitu :

- a. Pelunakan (*annealing*)

Proses pelunakan terbagi menjadi dua proses, yaitu :

- *Fullannealing*

Full annealing merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlite yang kasar. Tujuan *Full annealing* untuk memperbaiki ukuran butir pada material, sehingga keuletan pada material meningkat

- *Process annealing*

Process annealing merupakan proses perlakuan panas untuk melunakkan dan menaikkan kembali keuletan benda kerja agar dapat dideformasi lebih lanjut. Metode ini dilakukan pada material dengan kandungan karbon yang rendah. Metode ini juga bertujuan untuk menurunkan tegangan dalam pada material dengan melakukan pemanasan pada suhu 600°C – 650°C dengan waktu sekitar 1 jam. Hal ini dilakukan untuk membentuk kembali kristal ferrite.

- b. *Stress reliefannealing*

Stress relief annealing merupakan proses perlakuan panas untuk menghilangkan tegangan dalam akibat proses sebelumnya, terutama dilakukan untuk baja struktural dengan kandungan % C rendah.

- c. *Spheroidizing*

Spheroidizing merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan struktur berbentuk bulat (*spheroid*) pada matriks ferrite. Hal ini akan memperbaiki kemampuan terutama untuk baja paduan dengan kandungan karbon yang tinggi.

- d. *Normalizing*

Normalizing merupakan proses perlakuan panas yang menghasilkan perlite halus, dilakukan pada suhu tertentu dan dalam waktu tertentu. Pendinginannya dilakukan dengan media udara.

e. *Homogenizing*

Secara umum bertujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis perlakuan panasnya adalah sebagai berikut:

1. *Hardening*

Pengerasan (*Hardening*) Proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan aus atau ketangguhan dengan kombinasi kekerasan. Sifat kekerasan baja sangat tergantung dari:

- Temperatur pemanasan (*austenitizing temperature*)
- Lama pada temperatur tersebut (*holding time*)
- Laju pendinginan (*cooling rate*)
- Komposisi kimia (% C dan *alloying*)
- Kondisi Permukaan (*surface condition*)
- Ukuran dan berat benda kerja (*size and mass*)

2. *Surfacehardening*

Surfacehardening merupakan proses perlakuan panas dengan cara baja dipanaskan diatas suhu lingkungan yang mengandung karbon baik cair, padat ataupun gas. Dalam proses ini karbon diabsorpsi ke dalam logam membentuk larutan padat dengan besi dan lapisan luar memiliki karbon kadar tinggi. Bila kegiatan ini dilakukan lebih lama maka karbon akan berdifusi ke bagian-bagian sebelah dalam. Proses pengerasan permukaan ini bertujuan untuk:

- Meningkatkan ketahanan aus
- Meningkatkan ketahanan pada tegangan tinggi
- Meningkatkan ketangguhan patah
- Meningkatkan ketahanan lelah

3. *Quenching*

Quenching merupakan salah satu teknik perlakuan panas yang diawali dengan proses pemanasan sampai temperatur tertentu diikuti pendinginan secara cepat. Contoh media pendinginan cepat adalah air, oli, air garam atau media pendingin lainnya. Tujuan utama *quenching* adalah menghasilkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi. Hal-hal

penting untuk menjamin keberhasilan proses *quenching* adalah temperatur pengerasan, waktu tahan, laju pemanasan, dan media pendinginan.

Ada tiga tingkatan pendinginan dalam proses *quenching*, antara lain :

a) *Vapor-blanket Cooling Stage*

Tahap pertama, suhu logam sangat tinggi sehingga medium *quenching* menguap pada permukaan logam.

b) *Vapor-transport Cooling Stage*

Proses ini dimulai ketika logam didinginkan pada suhu uap air. Permukaan logam basah oleh medium *quenching* dan titik didih yang tinggi. Tahapan ini merupakan proses pendinginan yang paling cepat.

c) *Liquid Cooling Stage*

Proses ini dimulai ketika suhu permukaan logam mencapai titik didih. Tahapan ini merupakan proses yang paling lambat.

Menurut media pendinginan, *quenching* dibagi menjadi beberapa bagian :

o *Quenching* dengan media air

Air adalah media yang paling banyak digunakan untuk *quenching*, karena biayanya yang murah dan mudah digunakan serta pendinginannya yang cepat. Air khususnya digunakan pada baja karbon rendah yang memerlukan penurunan temperatur dengan cepat, yang bertujuan untuk memperoleh kekuatan dan kekerasan yang baik.

o *Quenching* dengan media udara

Quenching dengan media udara lebih lambat jika dibandingkan dengan media air atau oli. Pendinginan dengan media udara pada umumnya digunakan pada baja yang mempunyai kandungan paduan yang tinggi.

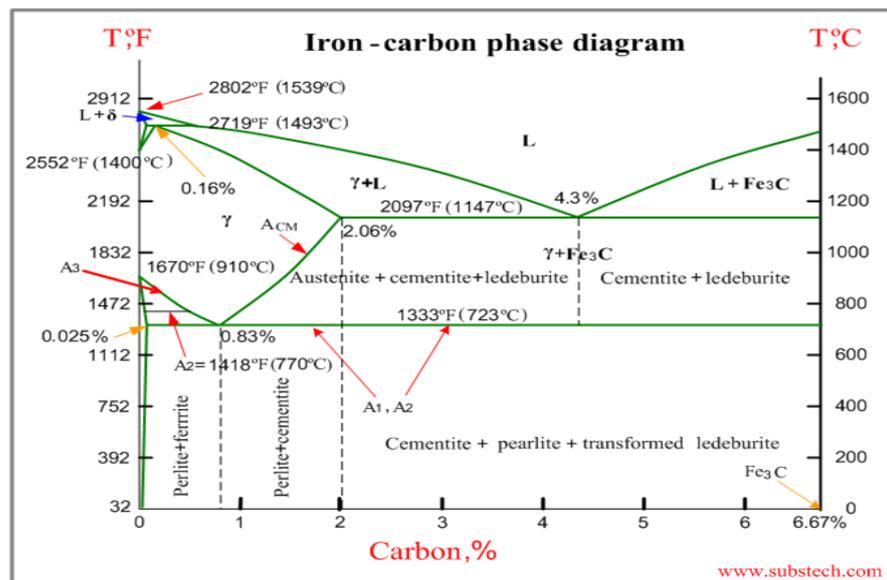
o *Quenching* dengan air garam

Air garam adalah media yang sering digunakan pada proses *quenching* terutama untuk alat-alat yang terbuat dari baja.

Beberapa keuntungan menggunakan air garam sebagai media adalah suhunya merata pada air garam, proses pendinginan merata pada semua bagian logam, tidak ada bahaya oksidasi, karburisasi, atau dekarburisasi pada saat proses pendinginan.

Heat treatment dengan pendinginan dibagi menjadi dua, yaitu heat treatment dengan pendinginan tak menerus, dan heat treatment dengan pendinginan menerus. Didalam prakteknya, heat treatment dengan pendinginan menerus pada baja dibagi menjadi, yaitu :

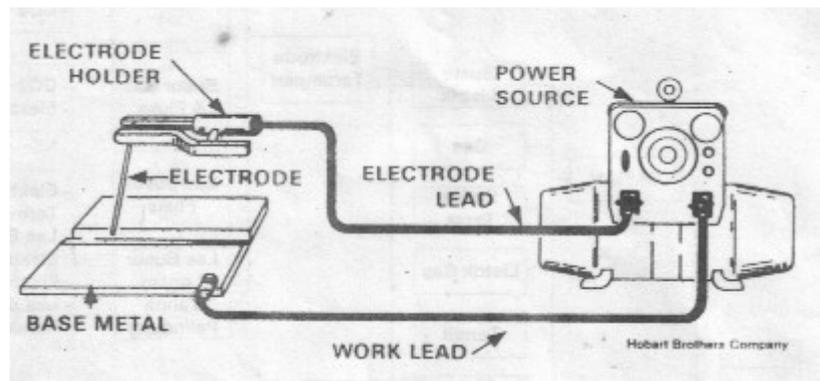
- a. Pelunakan (*Annealing*)
- b. *Normalizing*
- c. *Quenching*



Gambar 2.3 Diagram TTT proses *Heat Treatment*

2.5 Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas busur listrik yang timbul karena perbedaan tegangan antara elektroda terbungkus dengan material yang akan disambung. Gas pelindung timbul dari lapisan pembungkus elektroda yang terurai. Material pengisi berasal dari kawat elektroda dan pembungkusnya yang terdiri dari berbagai campuran serbuk halus. Gambar skema peralatan las SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.4. [Okumura, 1996]



Gambar 2.4. Skema peralatan pengelasan SMAW. [Okumura, 1996]

2.6 Kampuh V

Umumnya, persiapan sisi dikerjakan dengan tiga cara yaitu *shearing*, *flame cutting* dan *machining*. *Shearing* merupakan cara yang ekonomis dalam memotong logam namun dibatasi oleh ketebalan material yang akan dipotong. Selain itu, bentuk yang diperoleh hanya berupa potongan lurus. *Flame cutting* merupakan cara yang paling banyak dipakai dalam membuat persiapan sisi karena selain bisa diperoleh bentuk lurus juga bisa dibuat bentuk bevel pada sisi pelat yang dipotong. Dengan cara ini seketika juga bisa dibuat *root face*. Cara ketiga, yaitu *machining* merupakan cara yang paling mahal. Cara ini umumnya dilakukan untuk membuat persiapan sisi bentuk U atau J. Kampuh V merupakan salah satu bentuk persiapan sisi *flame cutting*. Kampuh V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6-16 mm, dimana sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup.

Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut kampuh 30° - 80° dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang

tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka.

2.7 Sel Elektroda

Elektroda yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya. [Wiryosumarto, 1994] Jenis-jenis elektroda diklasifikasikan oleh beberapa standar, dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar AWS A5.1 (*American Welding Society*).

Menurut AWS klasifikasi elektroda dengan baja lunak untuk busur las listrik mempunyai kode E XXYZ, dimana :

E : Elektroda busur listrik

XX : Kekuatan tarik

Y : Posisi pengelasan

Z : Jenis arus pengelasan

Dalam penelitian ini elektroda yang dipakai adalah E6013. Dengan data sesuai AWS A5.1, yaitu :

Tabel 2.3 Spesifikasi Elektroda Pengelasan

Sumber : AWS A5.1

Klasifikasi AWS	Jenis Pelapis Elektroda	Tensile Strength Requirement	
		ksi	MPa
E6013	High Titania Potasium	60	414

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Umum

Tahapan proses dalam menyusun tugas akhir, yaitu:

A. Uji kekuatan tarik dan analisa struktur mikro tanpa proses *quenching*

1. Studi *literature*

Tahapan ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber teori dan data yang dibutuhkan sebagai pendukung terlaksananya penelitian dan analisa, yaitu:

- a. Teori umum ASTM A36
- b. Teori pengelasan SMAW dan sel elektroda
- c. Teori uji tarik dan analisa struktur mikro
- d. Teori heat treatment

2. Persiapan material

Persiapan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah :

- a. Pemotongan plat ASTM A36 berukuran 150mm x 100mm sebanyak 2 plat
- b. Persiapan sel elektroda
- c. Persiapan mesin SMAW

3. Pengelasan Mesin SMAW

Tahapan ini dilakukan dengan cara :

- a. Penyambungan mesin SMAW dengan aliran listrik
- b. Proses pengelasan plat ASTM A36 dengan elektroda E6013 menjadi 1 buah sambungan plat ASTM A36

4. Pembersihan Plat

Tahapan pembersihan plat dilakukan dengan:

- a. Palu las untuk membersihkan sisa-sisa las dan kotoran yang menempel

- b. Sikat baja untuk membersihkan kotoran las
- c. Gerinda untuk menghaluskan hasil las pada plat

5. Uji kekuatan plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui berapa kekuatan tarik plat ASTM A36 setelah proses pengelasan dan *quenching*

6. Analisa struktur mikro plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada plat ASTM A36 setelah proses las dan *quenching*

7. Kesimpulan

Tahapan ini dilakukan untuk mengambil kesimpulan hasil dari uji plat ASTM A36 dengan proses *quenching*

8. Selesai

B. Uji kekuatan tarik dan analisa struktur mikro dengan proses *quenching*

1. Studi *literature*

Tahapan ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber teori dan data yang dibutuhkan sebagai pendukung terlaksananya penelitian dan analisa, yaitu:

- a. Teori umum ASTM A36
- b. Teori pengelasan SMAW dan sel elektroda
- c. Teori uji tarik dan analisa struktur mikro
- d. Teori heat treatment

2. Persiapan material

Persiapan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah:

- a. Pemotongan plat ASTM A36 berukuran 150mm x 100mm sebanyak 16 plat
- b. Persiapan sel elektroda
- c. Persiapan mesin SMAW

3. Pengelasan Mesin SMAW

Tahapan ini dilakukan dengan cara :

- a. Penyambungan mesin SMAW dengan aliran listrik
- b. Proses pengelasan plat ASTM A36 dengan elektroda E6013 menjadi 8 buah sambungan plat ASTM A36

4. Pembersihan Plat

Tahapan pembersihan plat dilakukan dengan:

- a. Palu las untuk membersihkan sisa-sisa las dan kotoran yang menempel
- b. Sikat baja untuk membersihkan kotoran las
- c. Gerinda untuk menghaluskan hasil las pada plat

5. Pemanasan Oven

Tahapan ini merupakan proses *heat treatment* yang dilakukan dengan pemanasan oven dengan variasi suhu dan waktu,yaitu:

- 2 plat ASTM A36 dengan suhu 750°C dan waktu 30 menit
- 2 plat ASTM A36 dengan suhu 750°C dan waktu 60 menit
- 2 plat ASTM A36 dengan suhu 950°C dan waktu 30 menit
- 2 plat ASTM A36 dengan suhu 950°C dan waktu 60 menit

6. Proses *Quenching*

Tahapan *quenching* merupakan proses pendinginan yang dilakukan secara cepat dengan memakai 2 variasi media pendinginan,yaitu :

- a. Larutan pengganti air laut yang mengacu pada standar (*ASTM D11 41-90,1994*)
- b. Air tawar

Proses *quenching* dilakukan dengan pembagian seperti berikut:

- 2 plat dengan pemanasan suhu 750°C dan waktu 30 menit didinginkan dengan air laut
- 2 plat dengan pemanasan suhu 750°C dan waktu 30 menit didinginkan dengan air tawar

- 2 plat dengan pemanasan suhu 950°C dan waktu 30 menit didinginkan dengan air laut
- 2 plat dengan pemanasan suhu 950°C dan waktu 30 menit didinginkan dengan air tawar

7. Uji kekuatan plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui berapa kekuatan tarik plat ASTM A36 setelah proses pengelasan dan *quenching*

8. Analisa struktur mikro plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada plat ASTM A36 setelah proses las dan *quenching*

9. Kesimpulan

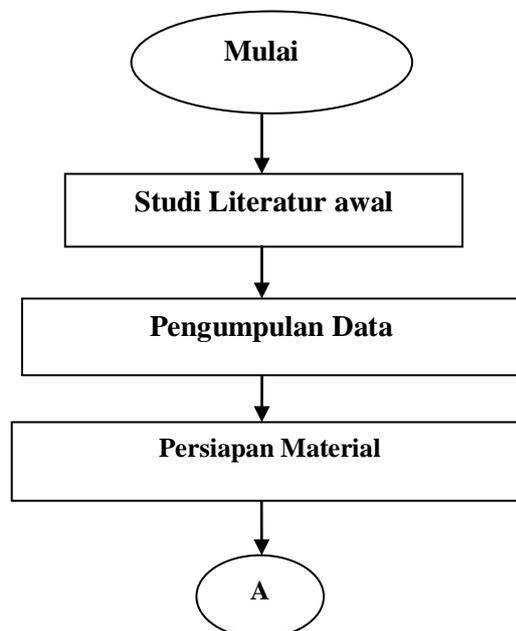
Tahapan ini dilakukan untuk mengambil kesimpulan hasil dari uji plat ASTM A36 dengan proses *quenching*

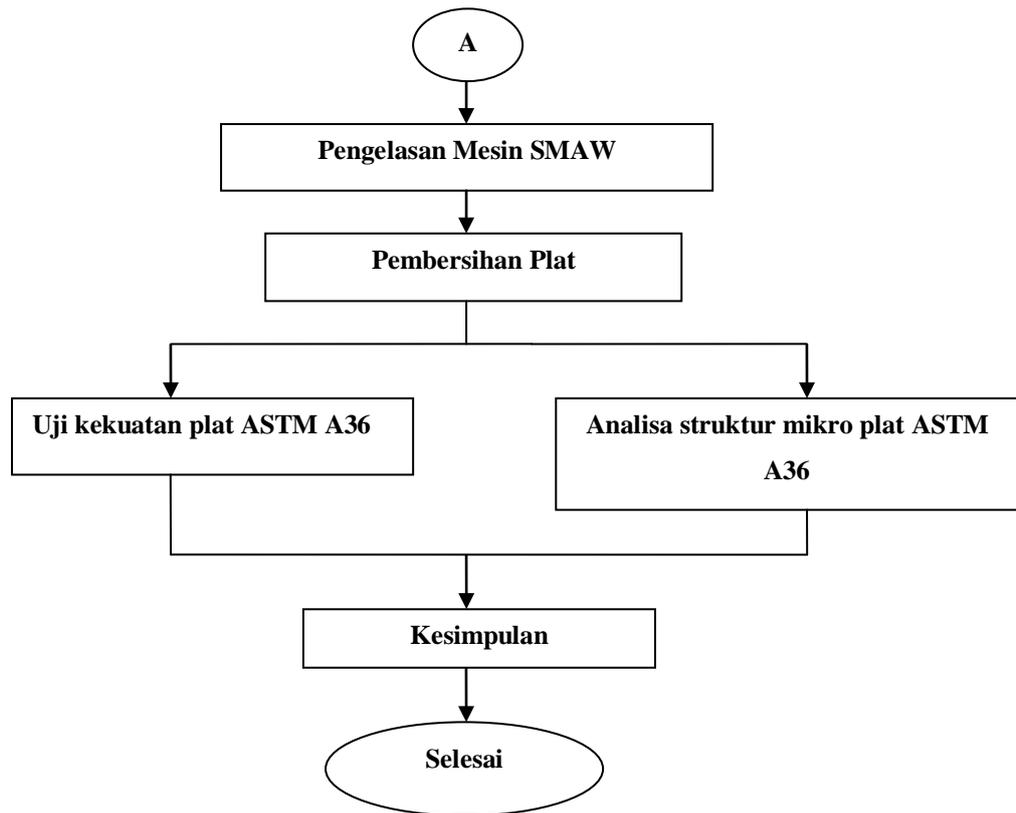
10. Selesai

3.2 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro tanpa proses *quenching*, dan diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro dengan proses *quenching*.

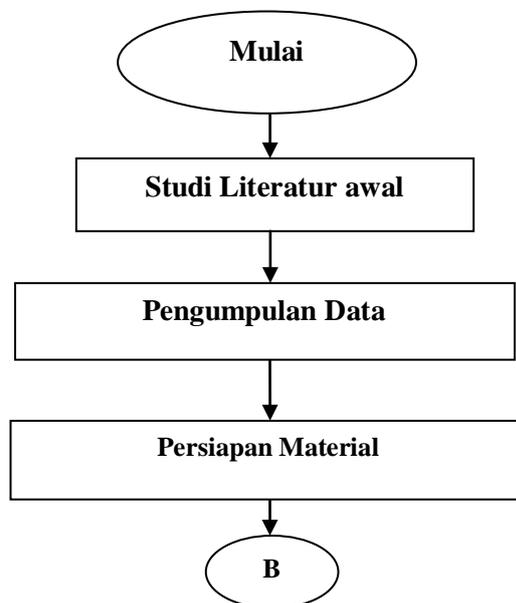
- a. Diagram alir tanpa proses *quenching*

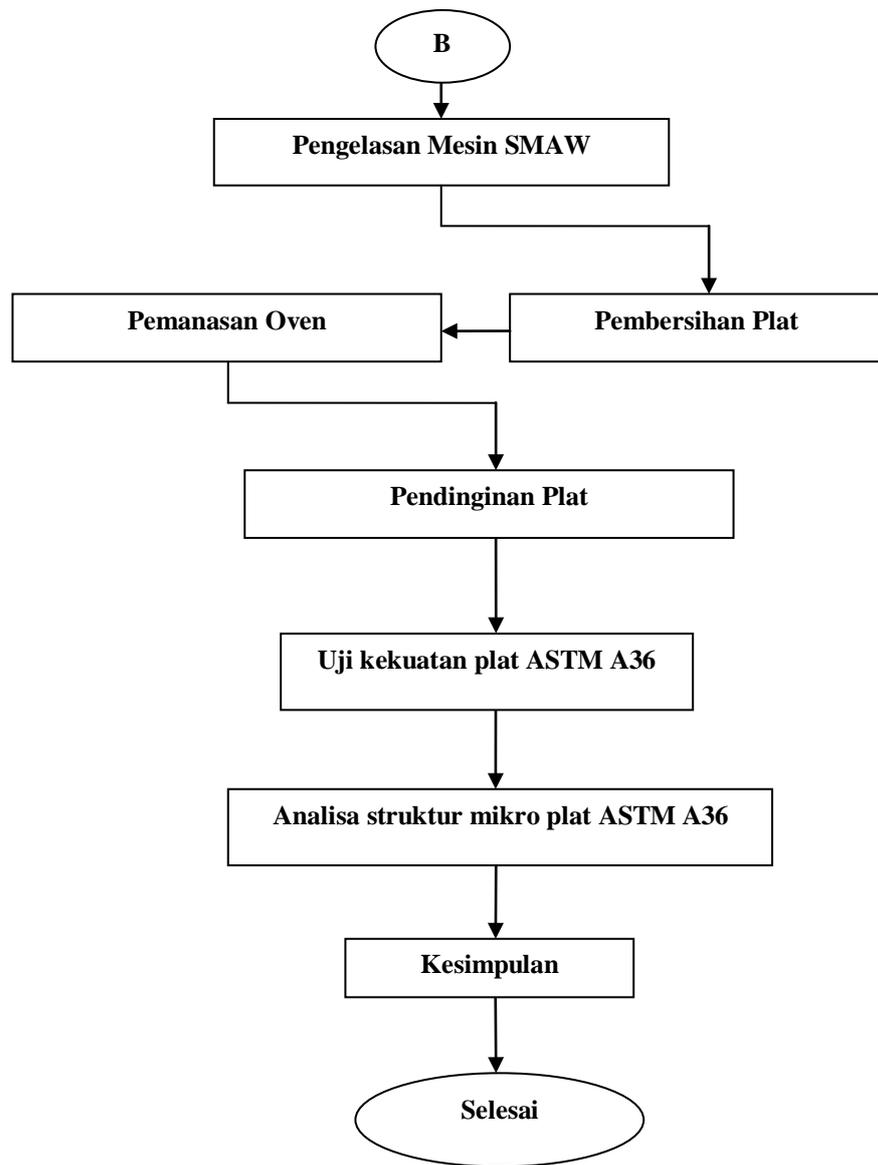




Gambar 3.1 Diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro tanpa proses *quenching*

b. Diagram alir dengan proses *quenching*





Gambar 3.2 Diagram alir uji kekuatan dan struktur mikro dengan proses *quenching*

3.3 Rencana Pengujian Plat

Dalam penelitian ini susunan pengujian plat dijelaskan pada tabel dibawah berikut.

Tabel 3.1 Rencana Pengujian Plat

No	Jenis Spesimen	Jenis Perlakuan				
		Variasi Suhu Pemanasan	Lama Pemanasan	Media Pendingin	Uji Tarik	Uji Struktur Mikro
A0	ASTM A36	-	-	-	√	√
A1		750°C	30 menit	air laut	√	√
A3				air tawar	√	√
A2			60 menit	air tawar	√	√
A4				air laut	√	√
B1		950°C	30 menit	air laut	√	√
B3				air tawar	√	√
B2			60 menit	air tawar	√	√
B4				air laut	√	√

3.4 Persiapan Material Alat dan Media

3.4.1. Persiapan Material dan Alat

Material uji terdiri dari 18 spesimen plat,yaitu plat ASTM A36. Persiapan material ini dilakukan di CV Putra Jaya.Langkah-langkah dalam persiapan material adalah :

1. Memotong spesimen ASTM A36 menjadi 18 bagian dengan ukuran 150mm x 100mm
2. Meratakan spesimen dengan gerinda
3. Persiapan sisi dengan bevel yang membentuk kampuh V. Kampuh V dibevel dengan sudut bevel 30°
4. Persiapan elektroda E6013
5. Pengelasan dengan tipe SMAW untuk menyambung 18 spesimen menjadi 9 pasang sambungan plat.

Dari 9 sambungan plat tersebut, 1 plat akan dipakai untuk pengujian kekuatan tarik dan struktur mikro. 4 sambungan plat dipakai untuk

pengujian *quenching* dengan pemanasan temperatur 750°C, dimana 2 plat akan dipanaskan dengan waktu 30 menit dan diquenching kedalam media air tawar dan air laut, 2 plat dipanaskan dengan waktu 60 menit dan diquenching kedalam media air tawar dan air laut. 4 sambungan plat dipakai untuk pengujian *quenching* dengan pemanasan temperatur 950°C, proses pembagian sama seperti pembagian untuk temperatur 750°C.



Gambar 3.3 Plat ASTM A36 sebelum dibevel



Gambar 3.4 Plat ASTM A36 setelah dibevel

3.4.1. Persiapan Media

Media pendingin untuk proses *quenching* dalam penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi 2. Pembuatan media pendingin dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik D3 Teknik Kimia FTI ITS Surabaya. 2 media yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Air tawar / Air murni (*aquades*)

2. Larutan pengganti air laut. Pembuatan larutan pengganti air laut dibuat sesuai ASTM D11 41 - 90, “*Standard Specification for Substitute Ocean Water*” . dengan ketentuan sebagai berikut;

Tabel dibawah menunjukkan bahan untuk membuat larutan pada kondisi salinitas 35 (35‰). Dari tabel tersebut untuk menghasilkan 10 liter larutan pengganti air laut pada salinitas 35 ‰ maka prosedur yang harus dilakukan sebagai berikut:

a. Larutan 1 bervolume 200 ml terdiri dari:

MgCl₂, CaCl₂ , dan SrCl₂

b. Larutan 2 bervolume 100 ml terdiri dari:

KCl, NaHCO₃, KBr, H₃BO₄, SrCl₂, NaF

Cara pencampurannya yaitu : 245.3 gram NaCl dan 40.9 gram Na₂SO₄ dilarutkan pada 8 hingga 9 liter air murni (*aquades*). Kemudian larutan 1 dan 2 dimasukkan perlahan dengan vigorous stirring, sehingga dihasilkan 10 liter larutan pengganti air laut dengan salinitas 35 ‰.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^{A,B}
(ASTM D1141-90)

Larutan	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
CaCl ₂	1.16
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
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

^A Klorinitas = 19.38

^B pH (setelah disesuaikan dengan 0.1 N *sodium hydroxide*)= 8.2

3.5 Proses *Quenching*

Proses *quenching* merupakan proses pendinginan cepat yang dilakukan dalam penelitian untuk simulasi kebakaran pada plat, proses *quenching* dilakukan dengan dua tahap, yaitu :

A. Pemanasan oven

Proses pemanasan plat dilakukan dengan menggunakan oven. Proses ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi FTI ITS. Pemanasan plat dalam pengujian ini dilakukan dengan variasi suhu 750°C dan 950°C, dan variasi waktu pemanasan, yaitu 30 menit dan 60 menit. Tahapan persiapan dan pemanasan plat adalah

- Persiapan alat dan bahan :

1) Persiapan material

Persiapan plat ASTM A36 yang akan diuji dilakukan dengan cara pemberian tanda pada oven uji, yaitu tanda A₁ s.d A₄ untuk plat yang akan dipanaskan dengan suhu 750°C dan tanda B₁ s.d B₄ untuk plat yang akan dipanaskan dengan suhu 950°C.



Gambar 3.5 Proses penomoran plat



Gambar 3.6 Plat yang telah diberikan penomoran

2) Penyusunan material dalam oven uji

Penyusunan ini dilakukan agar plat lebih mudah diambil saat waktu pemanasan oven telah selesai

3) Menyalakan oven uji

4) Pengaturan suhu oven uji

Pengaturan suhu oven dilakukan oleh operator laboratorium metalurgi. Pengaturan dilakukan pada suhu 750°C dan 950°C



Gambar 3.7 Proses pengaturan suhu 750°C



Gambar 3.8 Proses pengaturan suhu 950°C

5) Perhitungan waktu pemanasan

Perhitungan waktu dilakukan menggunakan stopwatch, dilakukan saat temperatur oven mencapai titik 750°C dan 950°C. Perhitungan pemanasan dilakukan dengan 2 variasi waktu, yaitu 30 menit dan 60 menit.

B. Proses *quenching*

Pengujian ini dilakukan saat pemanasan oven selesai. Setelah pemanasan mencapai waktu 30 menit dan 60 menit pada proses pemanasan dengan temperatur 750°C dan 950°C, plat dikeluarkan dari oven dengan menggunakan penjepit dan dimasukkan kedalam media pendingin. Media pendingin yang dipakai dalam pengujian ini adalah air tawar dan larutan pengganti air laut sesuai standar ASTM D1141-90 “*Standard Specification for Substitute Ocean Water*”. Persiapan dan tahapan pengujian *quenching* adalah :

1) Persiapan media pendingin

Persiapan media pendingin yang berupa air tawar dan larutan pengganti air laut dengan memasukkan kedalam tong besi. Tong putih/biru berisi larutan pengganti air laut, tong hitam berisi air tawar



Gambar 3.9 Proses memasukkan media pendingin

2) Pengambilan plat dari oven

Proses ini dilakukan dengan penjepit setelah waktu pemanasan selesai. Proses ini dilakukan sebanyak 4 kali, yaitu:

- Mengeluarkan plat pemanasan 750°C dengan waktu 30 menit

- Mengeluarkan plat pemanasan 750°C dengan waktu 60 menit
- Mengeluarkan plat pemanasan 950°C dengan waktu 30 menit
- Mengeluarkan plat pemanasan 950°C dengan waktu 60 menit



Gambar 3.10 Proses pengambilan plat

3) Memasukkan plat kedalam media pendingin

Setelah plat dikeluarkan dengan penjepit, kemudian plat dimasukkan kedalam tong berisi media pendingin.



Gambar 3.11 Proses pendinginan plat kedalam larutan air laut



Gambar 3.12 Proses pendinginan plat kedalam air tawar

4) Menghitung waktu pendinginan

Waktu pendinginan diukur saat plat telah dimasukkan kedalam media pendingin. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan stopwatch. Waktu pengukuran pendinginan adalah 30 menit.

5) Mengeluarkan plat dari media pendingin

Setelah waktu pengukuran selesai, plat dikeluarkan dari dalam media pendingin.



Gambar 3.13 Plat yang telah diquenching

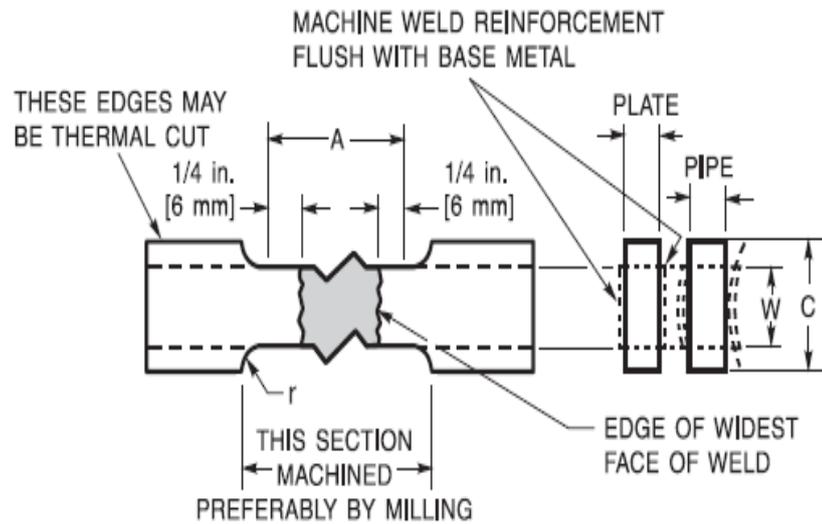
3.6 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (σ_u) dan kekuatan luluh (σ_y) dari sambungan las terhadap tegangan tertentu sebelum proses quenching dilakukan, dan setelah proses quenching dilakukan. Dari uji tarik ini diperoleh kualitas sambungan las, apakah spesimen putus di daerah lasan atau di daerah lain. Proses uji tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi FTI ITS.

Langkah-langkah dalam pengujian tarik adalah

1) Proses pembentukan plat

Pada proses ini plat yang telah dilakukan pengujian *quenching* dan plat yang tanpa perlakuan *quenching* dibentuk menjadi spesimen untuk perlakuan uji tarik. Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan standar AWS D1.1 “*Structural Welding Code – Steel*”. Desain awal pembentukan plat sesuai standar AWS D1.1 pada gambar dibawah berikut



Gambar 3.14 Pemodelan plat untuk pengujian tarik

(Sumber : AWS D1.1)

2) Pengukuran awal dan penandaan plat

Pada proses ini, plat yang akan diuji diukur terlebih dahulu untuk mengetahui nilai L_0 plat.

3) Pengujian tarik

Proses ini dilakukan di laboratorium metal jurusan Material dan Metalurgi FTI ITS. Pada proses ini plat akan ditarik untuk mengetahui seberapa besar kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimumnya



Gambar 3.15 Proses pengujian tarik

4) Pengukuran akhir plat

Setelah pengujian tarik pada plat selesai, dilakukan pengukuran akhir pada plat untuk mengetahui ukuran akhir plat setelah pengujian (L_t). Tahap ini dilakukan untuk mengetahui perpanjangan (*elongation*) plat tersebut sehingga diketahui keuletan pada sambungan plat.

3.7 Uji Struktur Mikro

Analisa struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada material ASTM A36 yang digunakan dalam penelitian ini akibat proses *quenching*. Pengamatan ini juga bertujuan untuk membandingkan perubahan fasa pada material sebelum proses *quenching* dan sesudah proses *quenching*. Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik.

Adapun langkah-langkah dalam pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut:

- 1) Pemotongan spesimen dengan ukuran 30mm x 10mm, tebal 10mm, kemudian plat tersebut di *mounting* dengan campuran resin dan katalis agar potongan plat tersebut mempunyai pegangan saat proses *grinding*.



Gambar 3.16 Potongan plat yang telah di *mounting*

- 2) *Grinding*, yaitu proses penghalusan spesimen dengan mesin *grinder*. Kemudian spesimen yang telah digerinda digosok menggunakan kertas gosok, dimulai dengan grid 200, 400, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000.

- 3) *Polishing*, yaitu proses pemolesan spesimen. Pemolesan spesimen ini dilakukan dengan menekan spesimen pada permukaan piringan yang berputar dengan cepat. Piringan tersebut dilapisi dengan penggosok yang telah ditaburi alumina



Gambar 3.17 Proses *polishing* potongan plat

- 4) Bagian permukaan spesimen yang telah *dipolish*, kemudian dicelupkan pada larutan *nital*. Tujuan pencelupan permukaan spesimen adalah agar kontur struktur mikro terbentuk pada saat diteliti menggunakan mikroskop optik.
- 5) Spesimen diteliti menggunakan mikroskop optik dengan memfoto potongan spesimen, untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada spesimen.



Gambar 3.18 Mikroskop optik untuk meneliti struktur mikro

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

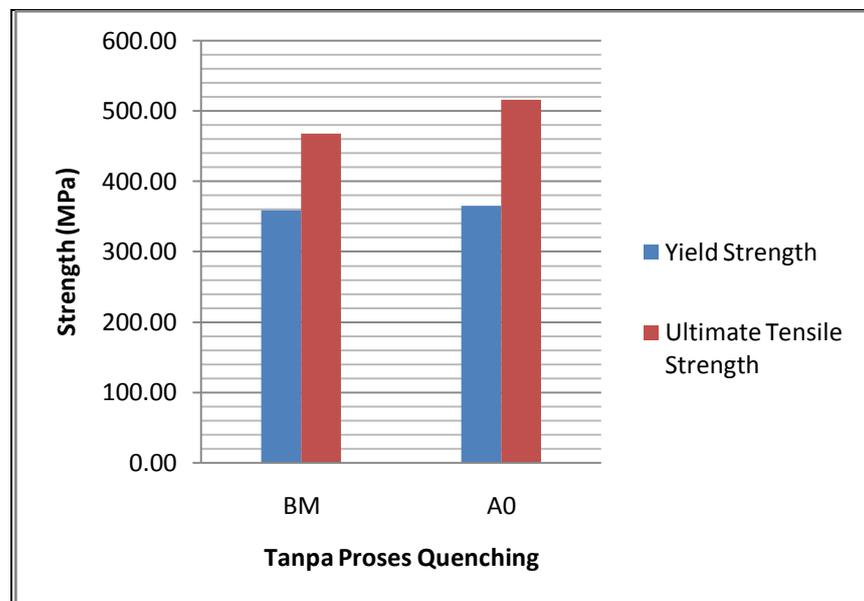
4.1 Hasil Uji Tarik

Menurut standar ASTM A36, plat mempunyai kekuatan mekanik

Tabel 4.1 *Tensile requirement* ASTM A36

Tensile Strength	400 – 550 MPa	58 – 80 ksi
Yield point minimal	250 MPa	36 ksi

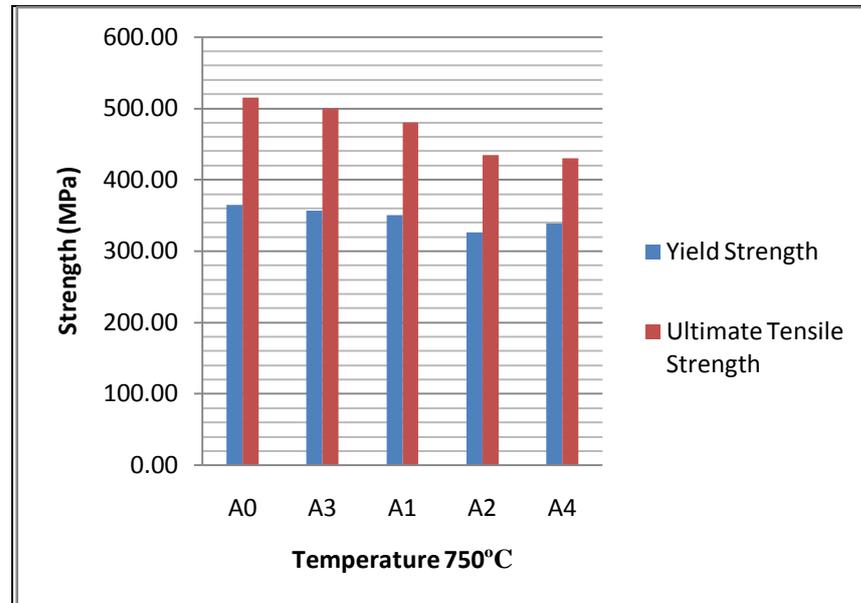
1. Grafik uji kekuatan tarik tanpa perlakuan *quenching*



Gambar 4.1 Grafik perbandingan *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* sambungan plat tanpa perlakuan *Quenching*

Dari hasil uji tarik yang dilakukan pada *base metal* dan sambungan plat A36 tanpa pengaruh *quenching*, dapat dilihat pada grafik bahwa perubahan titik luluh pada plat A0 (plat yang dilas) mengalami kenaikan yang terhadap plat BM (*base metal*). Begitu juga dengan *ultimate tensile strength* pada plat A0 mengalami kenaikan terhadap plat BM.

2. Grafik uji kekuatan tarik dengan perlakuan *quenching* pada suhu 750°C



Gambar 4.2 Grafik nilai *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* pada pemanasan suhu 750°C dengan plat tanpa *heat treatment*

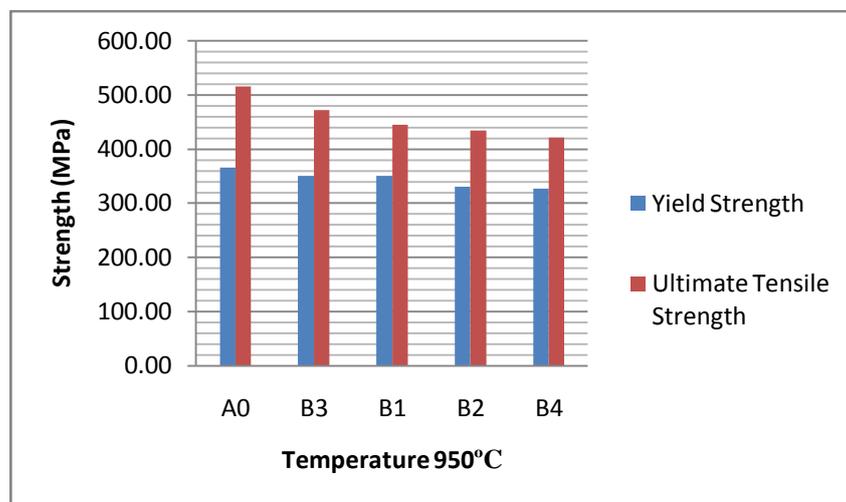
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada proses *quenching* dengan pemanasan 750°C, titik luluh dan titik ultimate tensile strength pada plat menurun akibat dari waktu pemanasan dan media pendingin. Plat dengan waktu 30 menit, titik luluh dan *ultimate tensile strength* plat yang di *quenching* dengan media pendingin air laut akan lebih rendah daripada plat yang di *quenching* dengan media pendingin air tawar. Begitu juga plat dengan waktu 60 menit, titik luluh dan *ultimate tensile strength* plat yang di *quenching* dengan media pendingin air laut akan lebih rendah daripada plat yang di *quenching* dengan media pendingin air tawar. Titik luluh dan *ultimate tensile strength* tertinggi adalah plat dengan kode A3, yang dipanaskan dengan waktu 30 menit dan media pendingin air tawar, nilai yield strength A3 adalah 356.82 MPa dan *ultimate tensile strength* 550.2 MPa. Titik luluh dan *ultimate tensile strength* terendah adalah plat dengan kode A4, yang dipanaskan dengan waktu 60 menit dan media pendingin air laut, nilai yield

strength A4 adalah 3338.50 MPa dan *ultimate tensile strength* 429.94 MPa. Tabel persentase penurunan titik luluh dan *ultimate tensile strength* (UTS) pada plat dengan uji quenching suhu 750°C dengan sambungan plat tanpa pengujian quenching dapat dilihat dibawah berikut.

Tabel 4.2 Persentase penurunan *yield strength* dan *ultimate strength* uji quenching suhu 750°C dengan sambungan plat tanpa uji quenching (A0)

Kode Plat	Waktu Pemanasan	Media Pendingin	<i>Yield Strength</i> (MPa)	UTS (MPa)	Penurunan <i>Yield Strength</i> (%)	Penurunan UTS (%)
A0	-	-	364.91	515.37	-	
A3	30 menit	air tawar	356.82	500.20	2 %	3 %
A1	30 menit	air laut	350.57	480.59	4 %	7 %
A2	60 menit	air tawar	326.00	434.20	11 %	16 %
A4	60 menit	air laut	338.50	429.94	7 %	17 %

3. Grafik uji kekuatan tarik dengan perlakuan *quenching* pada suhu 950°C



Gambar 4.3 Grafik nilai *Yield Strength* dan *Ultimate Strength* pada pemanasan suhu 950°C dengan plat tanpa *heat treatment*

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada proses quenching dengan pemanasan 950°C, titik luluh dan titik ultimate tensile strength pada plat menurun akibat dari waktu pemanasan dan media pendingin. Plat dengan waktu 30 menit, titik luluh dan *ultimate tensile strength* plat yang diquenching dengan media pendingin air laut akan lebih rendah daripada plat yang diquenching dengan media pendingin air tawar. Begitu juga plat dengan waktu 60 menit, titik luluh dan *ultimate tensile strength* plat yang diquenching dengan media pendingin air laut akan lebih rendah daripada plat yang diquenching dengan media pendingin air tawar. Titik luluh dan *ultimate tensile strength* tertinggi adalah plat dengan kode B3, yang dipanaskan dengan waktu 30 menit dan media pendingin air tawar, nilai yield strength B3 adalah 349.60 MPa dan *ultimate tensile strength* 470.95 MPa. Titik luluh dan *ultimate tensile strength* terendah adalah plat dengan kode B4, yang dipanaskan dengan waktu 60 menit dan media pendingin air laut. Nilai yield strength B4 adalah 326.96 MPa dan *ultimate tensile strength* 420.61 MPa. Tabel persentase penurunan titik luluh dan *ultimate tensile strength* pada plat dengan uji quenching suhu 950°C dengan sambungan plat tanpa pengujian quenching dapat dilihat dibawah berikut.

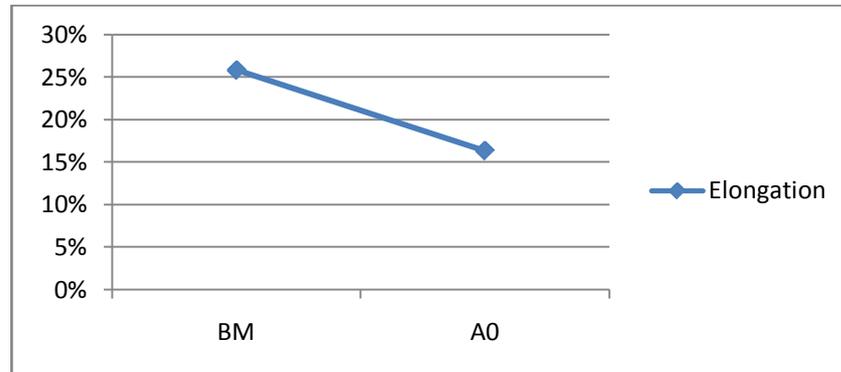
Tabel 4.3 Persentase penurunan *yield strength* dan *ultimate strength* (UTS) uji quenching suhu 950°C dengan sambungan plat tanpa uji quenching (A0)

Kode Plat	Waktu Pemanasan	Media Pendingin	<i>Yield Strength</i> (MPa)	UTS (MPa)	Penurunan <i>Yield Strength</i> (%)	Penurunan UTS (%)
A0	-	-	364.91	515.37	-	-
B3	30 menit	air tawar	349.60	470.95	4 %	9 %
B1	30 menit	air laut	350.40	444.21	4 %	14 %
B2	60 menit	air tawar	330.25	433.77	9 %	16 %
B4	60 menit	air laut	326.96	420.61	10 %	18 %

4.2 Hasil Pengamatan Keuletan

Keuletan pada sambungan plat dapat dilihat dari hasil perubahan panjang pengujian tarik. Hasil pengukuran awal dan akhir pada sambungan plat akibat pengujian tarik dijelaskan berikut ini.

a. Elongation pada sambungan plat tanpa *heat treatment*



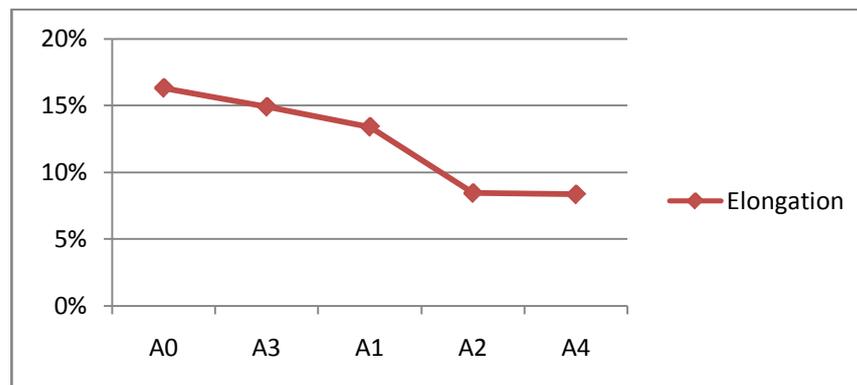
Gambar 4.4 Grafik elongation sambungan plat tanpa heat treatment

Tabel 4.4 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat tanpa heat treatment

Kode Plat	Elongation	Lo(mm)	Lt(mm)
BM	26%	59.2	74.5
A0	16%	59.4	69.1

Pada grafik 4.4 dan tabel 4.4 dapat dilihat bahwa, pada sambungan plat tanpa pengaruh *heat treatment* terjadi penurunan *elongation* pada plat base metal (BM) dan sambungan plat tanpa heat treatment (A0).

b. Elongation sambungan plat perlakuan *quenching* suhu 750°C



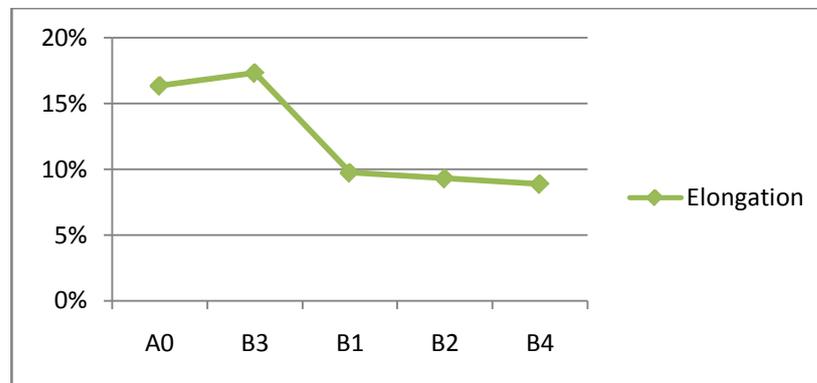
Gambar 4.5 Grafik *elongation* plat pada uji *quenching* suhu 750°C dengan plat tanpa *heat treatment*

Tabel 4.5 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat uji *quenching* suhu 750°C

Kode Plat	Elongation	Lo(mm)	Lt(mm)
A0	16%	59.4	69.1
A3	15%	63	72.4
A1	13%	59.6	67.6
A2	8%	59	64
A4	8%	59.7	64.7

Pada gambar 4.5 sambungan plat dengan pengujian *quenching* suhu 750°C dengan sambungan plat tanpa *heat treatment*, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan elongation terhadap sambungan plat

c. Elongation sambungan plat perlakuan *quenching* suhu 950°C



Gambar 4.6 Grafik *elongation* plat pada uji *quenching* suhu 950°C dengan plat tanpa *heat treatment*

Tabel 4.6 Pengukuran awal dan akhir sambungan plat uji *quenching* suhu 950°C

Kode Plat	Elongation	Lo(mm)	Lt(mm)
A0	16%	59.4	69.1
B3	17%	60.7	71.2
B1	10%	55.6	61
B2	9%	59.3	64.8
B4	9%	57.6	62.7

Pada gambar 4.6 sambungan plat dengan pengujian *quenching* suhu 950°C dengan sambungan plat tanpa *heat treatment*, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan elongation terhadap sambungan plat. Kecuali

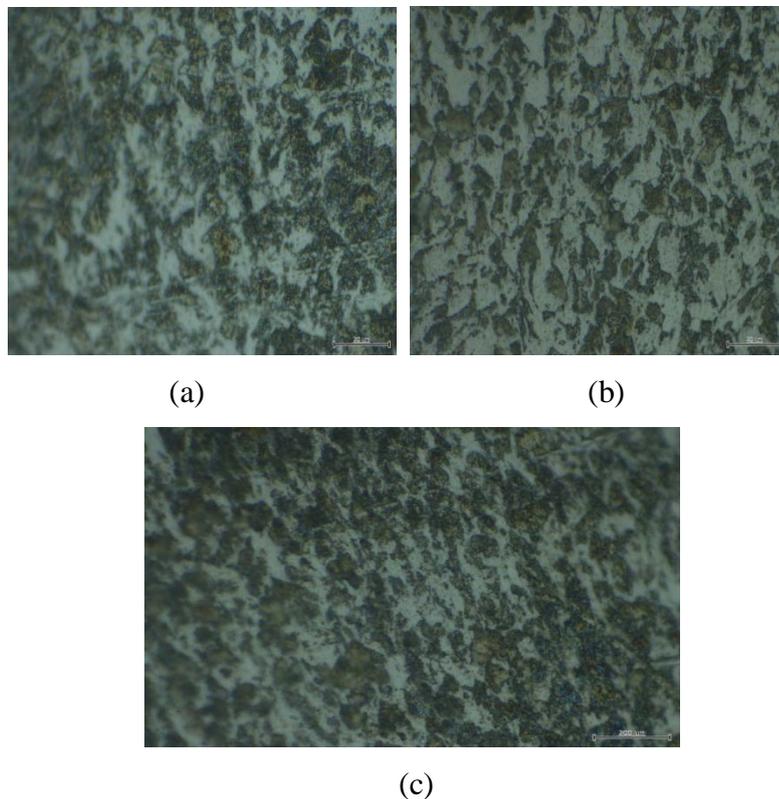
pada sambungan plat B3, yang mengalami kenaikan elongation terhadap sambungan plat tanpa *heat treatment*.

4.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari hasil pengujian struktur mikro didapatkan gambar struktur mikro sambungan plat tanpa pengujian *quenching* dan sambungan plat dengan pengujian *quenching*.

4.3.1 Struktur Mikro Tanpa Perlakuan *Heat treatment*

Hasil pengamatan struktur mikro pada sambungan plat tanpa pengujian *quenching* dengan kode plat A0 ditunjukkan pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Sambungan plat tanpa perlakuan quenching perbesaran 100x,

(a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Dari gambar 4.7 dapat dilihat pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal butiran didaerah HAZ dan weld metal menjadi lebih halus dari daerah base metal, namun tidak terlalu mencolok perbedaannya.

Secara keseluruhan dari masing-masing foto mikro daerah base metal, HAZ, dan weld metal adalah butiran ferit berwarna putih (terang) sedangkan perlit berwarna hijau gelap. Struktur ferit dan perlit yang halus membuat kekuatan plat bertambah. Karena ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras dan kurang ulet.

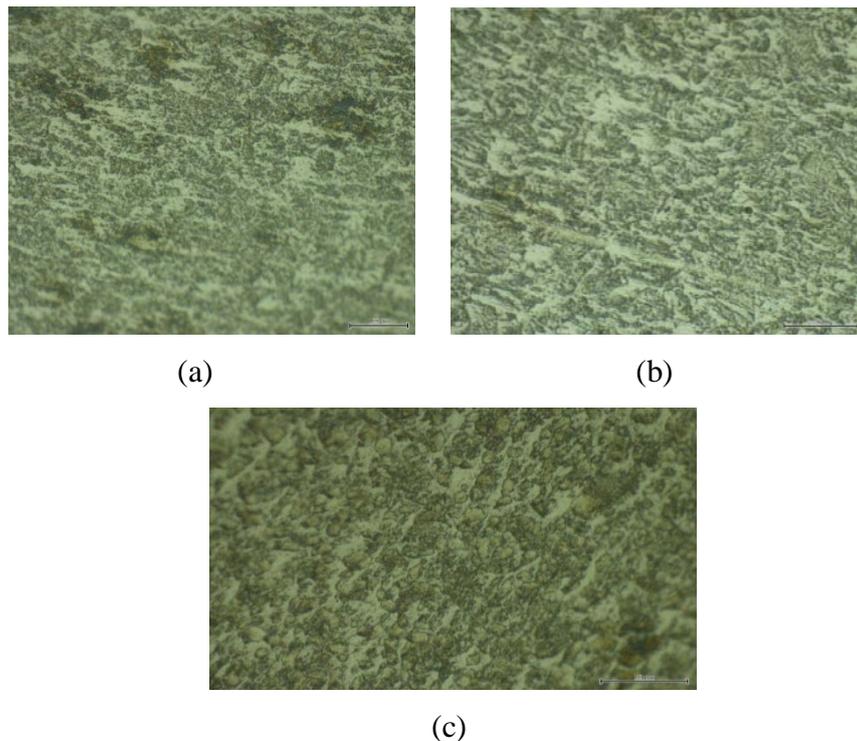
4.3.2 Struktur Mikro Dengan Perlakuan *Quenching*

Pengujian struktur mikro pada sambungan plat dengan perlakuan quenching dibagi menurut suhu pemanasan plat, yaitu 750°C dan 950°C.

4.3.2.1 Struktur Mikro Dengan Perlakuan *Quenching* Pada Suhu 750°C

a. Sambungan Plat A3

Sambungan plat A3 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 30 menit dan media pendingin air tawar. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.8

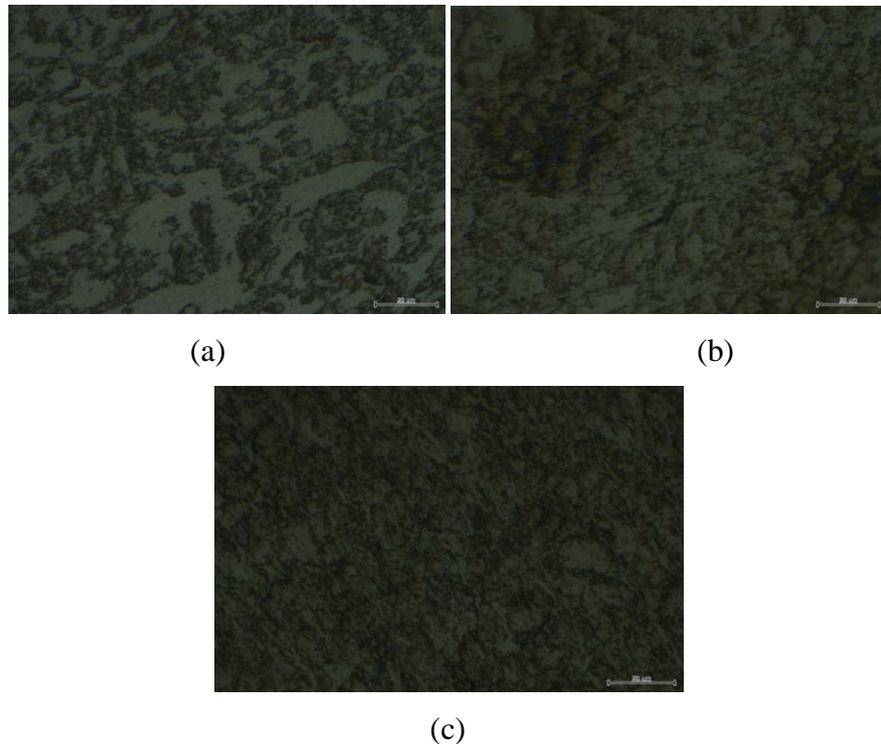


Gambar 4.8 Sambungan plat A3 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah *weld metal*

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada sambungan plat A3 terdapat ferit, perlit halus pada base metal. Pada daerah *weld metal* terdapat ferit, perlit kasar dan austenite sisa yang berukuran kecil. Pada daerah HAZ ferit lebih banyak, juga terdapat campuran perlit kasar dan perlit halus, serta austenit sisa. Adanya struktur ferit kasar dan austenit sisa membuat kekuatan material berkurang . Karena ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenit bersifat lunak namun tidak ulet.

b. Sambungan Plat A1

Sambungan plat A1 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 750°C , waktu pemanasan 30 menit dan media pendingin air laut. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.9



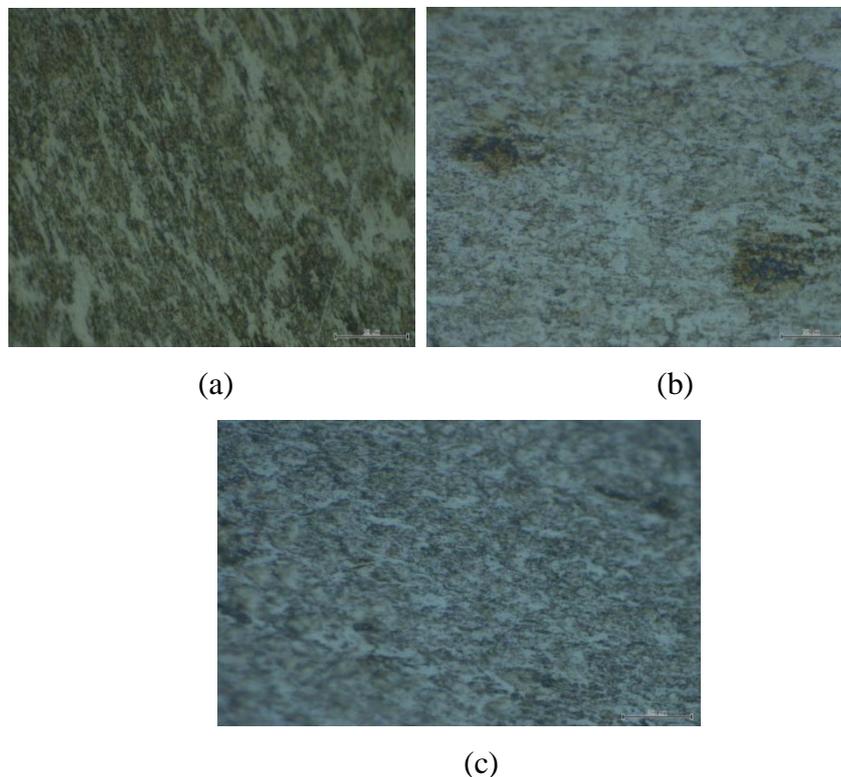
Gambar 4.9 Sambungan plat A1 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada sambungan plat A1 terdapat ferit, perlit kasar dan austenit sisa pada base metal. Pada daerah *weld*

metal terdapat ferit, perlit kasar dan austenite sisa yang berukuran kecil. Pada daerah HAZ ferit lebih banyak, juga terdapat campuran perlit kasar dan perlit halus, serta austenit sisa. Perlit berwarna gelap, ferit berwarna terang, dan austenit berwarna hitam gelap. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet.

c. Sambungan Plat A2

Sambungan plat A2 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 60 menit dan media pendingin air tawar. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.10



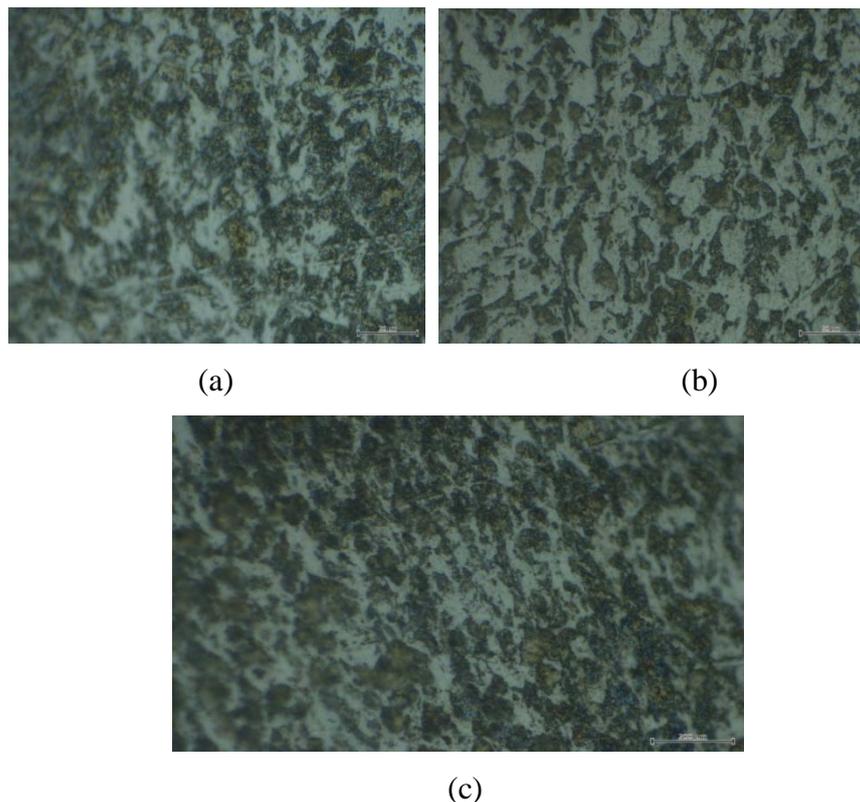
Gambar 4.10 Sambungan plat A2 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.10 sambungan plat A2 terdapat struktur mikro ferit yang semakin banyak, perlit halus dan austenit sisa. Bagian weld metal terdapat ferit dan perlit kasar, dan bagian HAZ terdapat ferit dan

campuran perlit kasar dan halus. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet.

d. Sambungan Plat A4

Sambungan plat A4 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 60 menit dan media pendingin air laut. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Sambungan plat A4 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

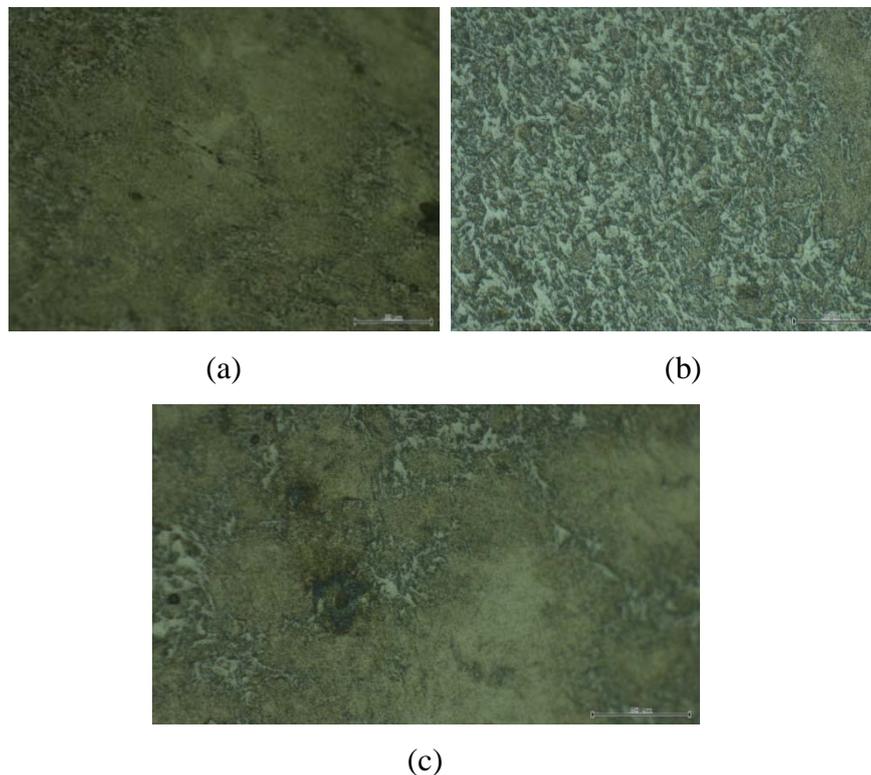
Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa pada sambungan plat A4 terdapat ferit, perlit kasar dan austenit sisa pada base metal. Pada daerah *weld metal* terdapat ferit, perlit kasar dan austenite sisa yang berukuran kecil, juga mulai terbentuk sedikit struktur martensit. Pada daerah HAZ ferit lebih banyak, juga terdapat campuran perlit kasar dan perlit halus, serta austenit sisa. Perlit berwarna gelap, ferit

berwarna terang, austenit berwarna hitam gelap, dan martensit berbentuk jarum berwarna putih. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet

4.3.2.2 Struktur Mikro Dengan Perlakuan *Quenching* Pada Suhu 950°C

1. Sambungan Plat B3

Sambungan plat B3 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 30 menit dan media pendingin air tawar. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.12



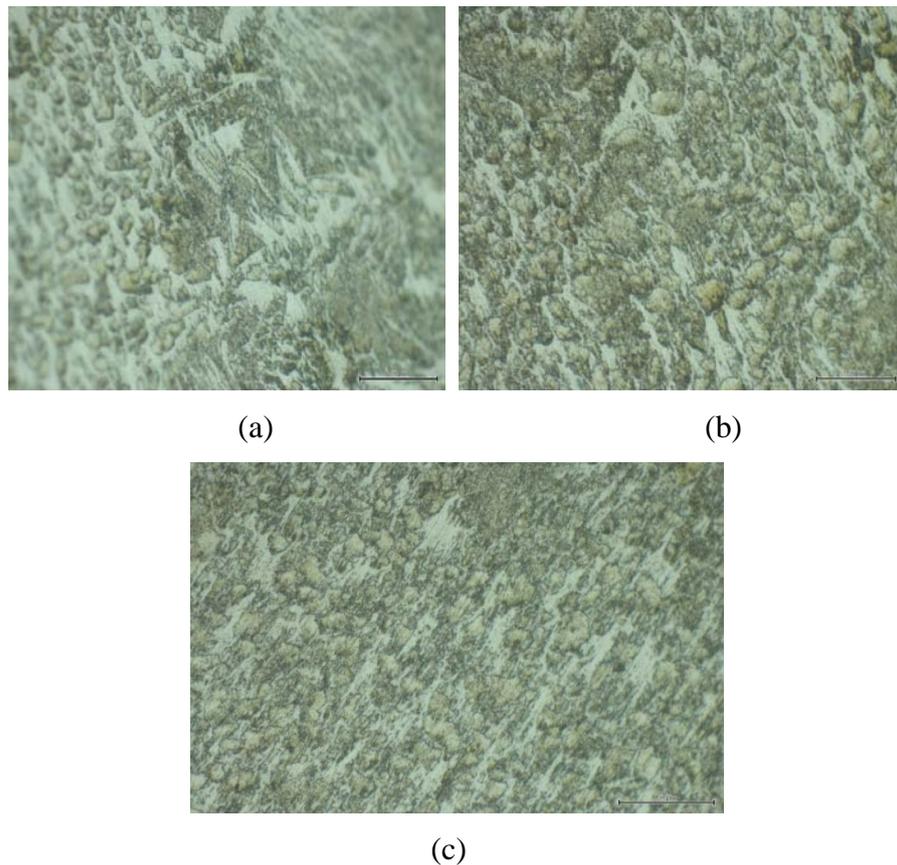
Gambar 4.12 Sambungan plat B3 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.12 hasil foto mikro dapat dilihat foto mikro sambungan plat B3 pada daerah base metal, daerah HAZ dan daerah weld metal. Pada daerah base metal dan HAZ terdapat ferit, perlite halus dan terbentuk juga austenit sisa serta struktur martensit. Struktur ferit berwarna terang, perlit berwarna lebih gelap, austenit sisa berwarna

hitam. Pada daerah weld metal terdapat struktur ferit, perlit, dan austenit sisa. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet

2. Sambungan Plat B1

Sambungan plat B1 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 30 menit dan media pendingin air laut. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.13



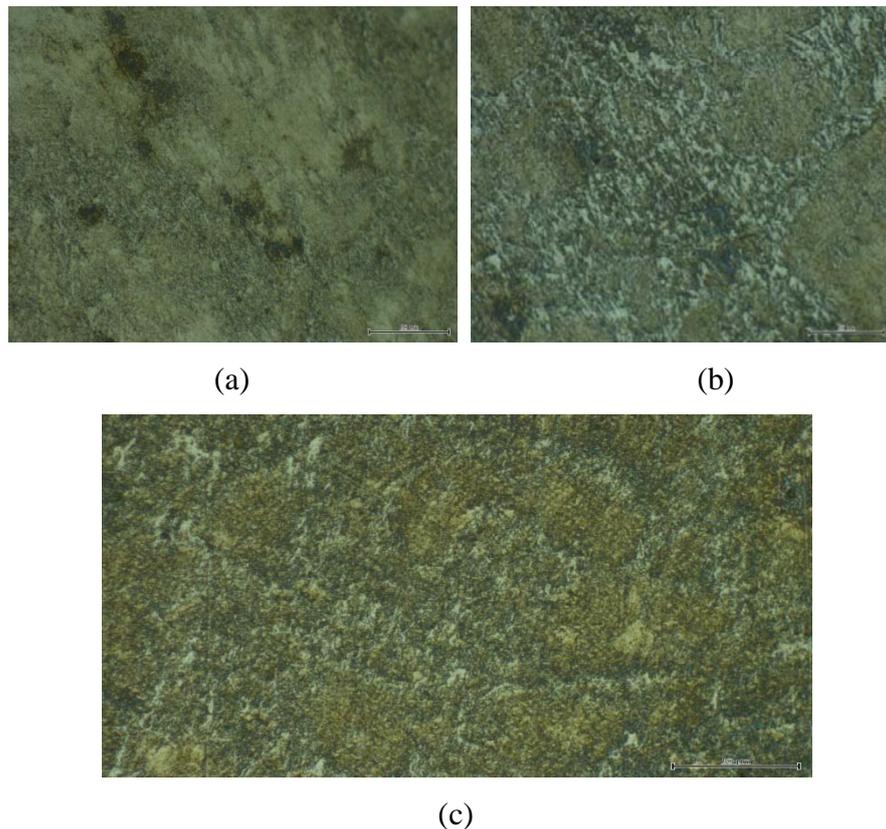
Gambar 4.13 Sambungan plat B1 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.13 hasil foto mikro dapat dilihat foto mikro sambungan plat B1 pada daerah base metal, daerah HAZ dan daerah weld metal. Pada daerah base metal dan HAZ terdapat ferit, perlit halus dan terbentuk juga austenit sisa, serta struktur martensit. Struktur ferit

berwarna terang, perlit berwarna hijau gelap, dan austenit sisa berwarna hitam. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet

3. Sambungan Plat B2

Sambungan plat B2 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 60 menit dan media pendingin air tawar. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.14



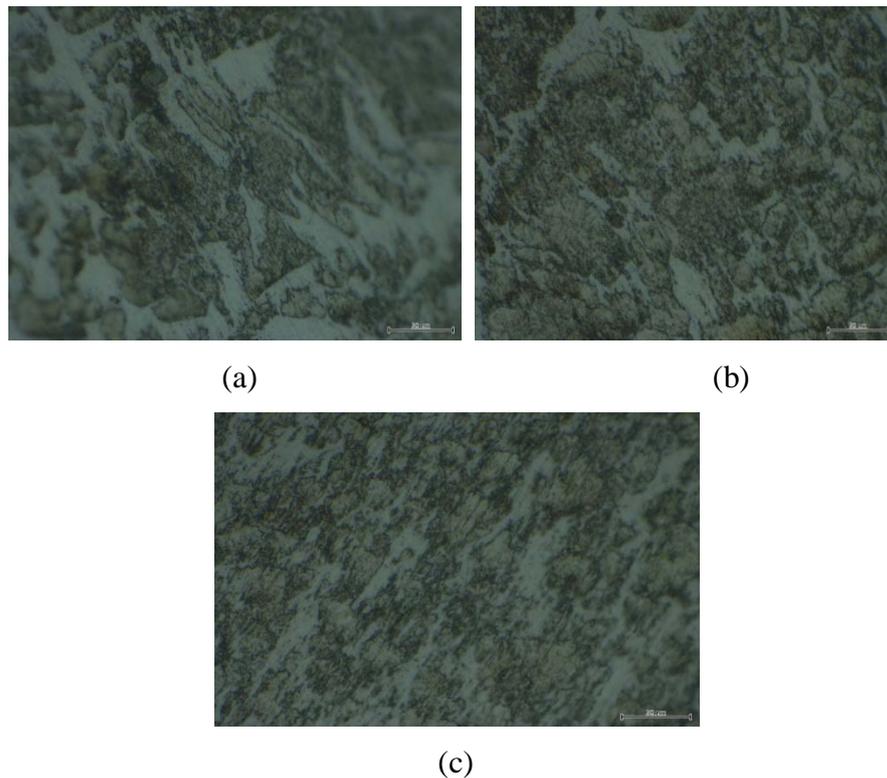
Gambar 4.14 Sambungan plat B2 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.14 hasil foto mikro dapat dilihat foto mikro sambungan plat B2 pada daerah base metal, daerah HAZ dan daerah weld metal. Pada daerah base metal dan HAZ terdapat ferit, perlit halus dan terbentuk juga austenit sisa serta struktur martensit. Struktur ferit berwarna terang, perlit berwarna lebih gelap, austenit sisa berwarna

hitam, dan martensit berbentuk jarum berwarna putih. Pada daerah weld metal terdapat struktur ferit dan perlit kasar. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenit bersifat lunak namun tidak ulet

4. Sambungan Plat B4

Sambungan plat B4 adalah sambungan plat ASTM A36 yang diberi perlakuan quenching dengan pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 60 menit dan media pendingin air laut. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Sambungan plat B4 perbesaran 100x, (a) daerah base metal, (b) daerah HAZ, (c) daerah weld metal

Pada gambar 4.15 hasil foto mikro dapat dilihat foto mikro sambungan plat B4 pada daerah base metal, daerah HAZ dan daerah weld metal. Pada daerah base metal dan HAZ terdapat ferit, perlit halus dan terbentuk juga austenit sisa serta struktur martensit. Struktur ferit berwarna terang, perlit berwarna lebih gelap, austenit sisa berwarna hitam, dan martensit berbentuk jarum berwarna putih. Pada daerah weld

metal terdapat struktur ferit, perlit, dan austenit sisa. Ukuran butir ferit dan perlit yang bertambah besar membuat kekuatan sambungan plat menjadi lebih berkurang. Ferit bersifat lunak dan ulet, perlit bersifat keras, dan austenite bersifat lunak namun tidak ulet

4.3 Hubungan Antara Kekuatan Tarik, Keuletan, dan Struktur Mikro

Hubungan antara kekuatan tarik, keuletan dan bentuk struktur mikro dijelaskan dibawah berikut

- a. Hubungan kekuatan tarik, keuletan dan struktur mikro pada uji *quenching* suhu 750°C

Tabel 4.7 Hubungan antara kekuatan dan keuletan uji *quenching* suhu 750°C

Kode Plat	Waktu Pemanasan	Media Pendingin	YS (MPa)	UTS (MPa)	Penurunan YS (%)	Penurunan UTS (%)	Elongation
A0	-	-	364.91	515.37	-		16%
A3	30 menit	air tawar	356.82	500.20	2 %	3 %	15%
A1	30 menit	air laut	350.57	480.59	4 %	7 %	13%
A2	60 menit	air tawar	326.00	434.20	11 %	16 %	8%
A4	60 menit	air laut	338.50	429.94	7 %	17 %	8%

Pada tabel 4.7 dilihat hasil dari pengujian *quenching* pada suhu 750°C pada sambungan plat ASTM A36 menunjukkan hasil, jika kekuatan tarik (*yield strength* dan *uts*) berkurang, maka keuletan yang dapat dilihat pada bagian *elongation* pun berkurang. Struktur mikro pada sambungan plat terbentuk struktur ferit dan perlit, penurunan kekuatan terjadi karena butiran ferit dan perlit menjadi lebih besar ukurannya, sehingga kekuatannya menurun. Pada baja karbon rendah di penelitian uji *quenching* suhu 750°C menandakan bahwa penurunan nilai kekuatan tarik sebanding dengan keuletan sambungan plat, dan juga penurunan kekuatan terjadi karena susunan butir struktur mikro semakin besar.

- b. Hubungan kekuatan tarik, keuletan dan struktur mikro pada uji *quenching* suhu 950°C

Tabel 4.7 Hubungan antara kekuatan dan keuletan uji *quenching* suhu 950°C

Kode Plat	Waktu Pemanasan	Media Pendingin	YS (MPa)	UTS (MPa)	Penurunan YS (%)	Penurunan UTS (%)	Elongation
A0	-	-	364.91	515.37	-	-	16%
B3	30 menit	air tawar	349.60	470.95	4 %	9 %	17%
B1	30 menit	air laut	350.40	444.21	4 %	14 %	10%
B2	60 menit	air tawar	330.25	433.77	9 %	16 %	9%
B4	60 menit	air laut	326.96	420.61	10 %	18 %	9%

Pada tabel 4.8 dilihat hasil dari pengujian *quenching* pada suhu 950°C pada sambungan plat ASTM A36 menunjukkan hasil, jika kekuatan tarik (*yield strength* dan *uts*) berkurang, maka keuletan plat yang dapat dilihat pada bagian *elongation* pun berkurang, kecuali pada plat B3 yang keuletannya bertambah ketika kekuatan plat bertambah. Struktur mikro pada sambungan plat terbentuk struktur ferit, dan perlit. Pada plat B2 dan B4 terbentuk sedikit struktur martensit. Penurunan kekuatan terjadi karena butiran ferit dan perlit menjadi lebih besar ukurannya, sehingga kekuatannya menurun. Pada baja karbon rendah di penelitian uji *quenching* suhu 950°C menandakan secara umum bahwa penurunan nilai kekuatan tarik sebanding dengan keuletan sambungan plat, dan juga penurunan kekuatan terjadi karena susunan butir struktur mikro ferit dan perlit semakin besar, serta terdapat struktur austenit sisa.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi eksperimen pengaruh *quenching* terhadap kekuatan dan struktur mikro pada sambungan plat ASTM A36 didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Sambungan plat ASTM A36 yang tidak dilakukan perlakuan *quenching* mempunyai kekuatan tarik lebih besar dari base metal plat. Sedangkan hasil pengujian *quenching* mempengaruhi penurunan kekuatan tarik sambungan plat dari sambungan plat yang tidak dilakukan pengujian *quenching*. Plat dengan kode A0 mempunyai kekuatan luluh 364.91 MPa dan *ultimate tensile strength* (UTS) 515.37 MPa. Penurunan kekuatan terkecil plat yang diuji *quenching* terhadap plat A0 adalah plat A3 yang diuji *quenching* pada suhu pemanasan 750°C, waktu pemanasan 30 menit, dan media pendingin air tawar. Kekuatan luluh A3 adalah 356.82 MPa, turun 2% terhadap kekuatan luluh A0, dan UTS 500.20 MPa, turun 3% terhadap UTS A0. Sedangkan penurunan kekuatan tarik terbesar plat yang diuji *quenching* terhadap plat A0 adalah plat B4 yang diuji *quenching* pada suhu pemanasan 950°C, waktu pemanasan 60 menit, dan media pendingin air laut. Kekuatan luluh B4 adalah 326.96 MPa, turun 10% terhadap kekuatan luluh A0, dan UTS 420.61 MPa, turun 18% terhadap UTS A0.
2. Hasil pengamatan struktur mikro pada plat dengan kode A0 menunjukkan bahwa pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal terdapat struktur ferit dan perlit. Struktur ferit dan perlit yang banyak membuat kekuatan plat bertambah kuat. Penurunan kekuatan terkecil pada plat A3 disebabkan karena terbentuknya sedikit struktur austenite sisa yang membuat kekuatan struktur menjadi berkurang. Penurunan kekuatan terbesar pada plat B4 disebabkan karena terbentuk banyak struktur austenit sisa, dan struktur ferit serta perlit menjadi lebih besar sehingga penurunannya lebih besar dari A3.

3. Keuletan sambungan plat dapat dilihat pada elongation yang terjadi pada sambungan plat dari proses uji tarik. Jika kekuatan tarik menurun, keuletan pada sambungan plat juga menurun, kecuali pada plat B3 dimana keuletan plat bertambah saat kekuatan menurun.
4. Pada baja karbon rendah di penelitian uji quenching suhu 750°C dan 950°C menandakan secara umum bahwa penurunan nilai kekuatan tarik sebanding dengan keuletan sambungan plat, dan juga penurunan kekuatan terjadi karena susunan butir struktur mikro ferit dan perlit semakin besar. Pada sambungan B2 dan B4 penurunan kekuatan juga terjadi karena terbentuknya struktur ferit, perlit dan austenit sisa.

5.2 Saran

1. Pemanasan dalam pengujian *quenching* bisa dikembangkan pada suhu yang lebih tinggi
2. Perlu diadakan penelitian terhadap kekerasan pada sambungan plat
3. Pengukuran struktur mikro perlu dianalisa menggunakan analisa *hall patch*
4. Perlu dikembangkan penelitian tentang simulasi kebakaran terhadap baja yang mengandung karbon tinggi

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM section III. 2002. “**Metal Test Methods and Analytical Procedures**”.
New York: ASTM International.
- ASTM A36. 1999. “**Standart Specification for Carbon Structural Steel**”.
Washington DC : ASTM International.
- ASTM A709. 2000. “**Standard Spesification for Carbon and High-Strength Low-Alloy Structural Steel Shapes, Plates, and Bars and Quenched-and-Tempered Alloy Structural Plates for Bridges¹**”. New York: ASTM International.
- AWS A5.1.1991. “**Spesification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**”. American National Standart Institute
- AWS D1.1.2000.**Structural Welding Code-Steel 17th Editon**. American National Standart Institute
- Jamal, I., 2012. “Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Sambungan Las Baja Karbon Tinggi”. **Prosiding Universitas Hassanudin Vol 6**.
- Septianto, A.B., 2013. “Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340”. **Jurnal Teknik POMITS Vol.2, No.2**.
- Wirjosumarto, Harsono dan Toshie Okumura. 1994. **Teknologi Pengelasan Logam, cetakan ketujuh**. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Zakharov, B. 1962. **Heat Treatment of Metal**. Moscow: Peace Publisher.
- <http://en.wikipedia.org>“*Iron Alloy Phase*”
- <http://gregorius.blogdetik.com>“*Heat Treatments*”
- <http://koleksidion.blogspot.com>”*Diagram Tegangan Regangan*”
- <http://yefrichan.files.wordpress.com>”*Sifat-material 1*”

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran A
Foto Uji *Quenching*

Proses Penomoran Plat



Proses pengambilan oven dari plat



Proses pendinginan cepat



Proses menuangkan media pendingin



Plat yang telah diquenching



Lampiran B
Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik



Plat yang telah diuji tarik

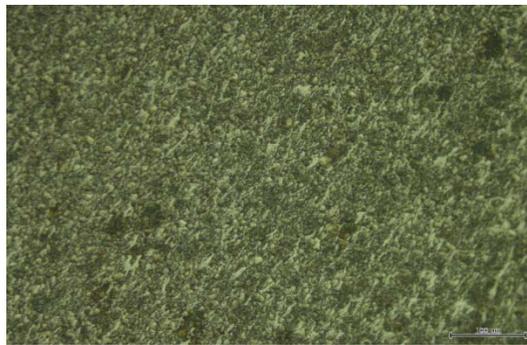
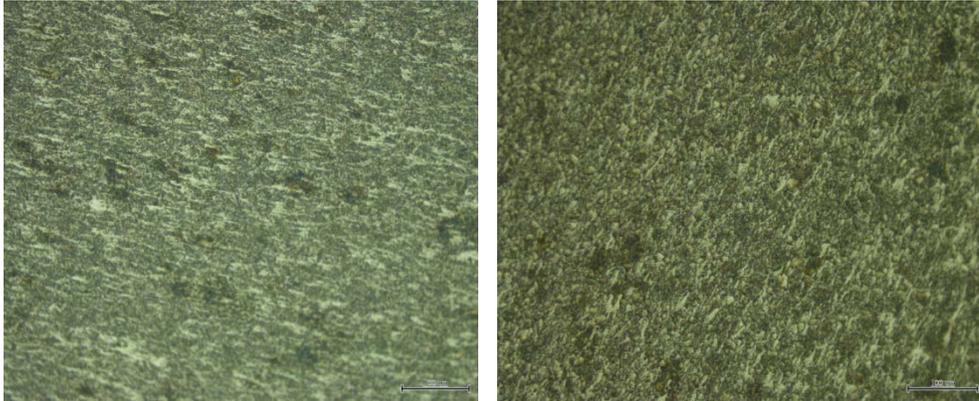


Keterangan Plat :

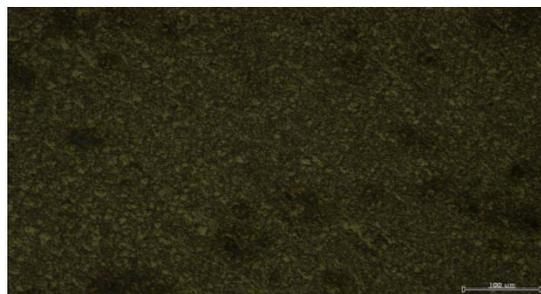
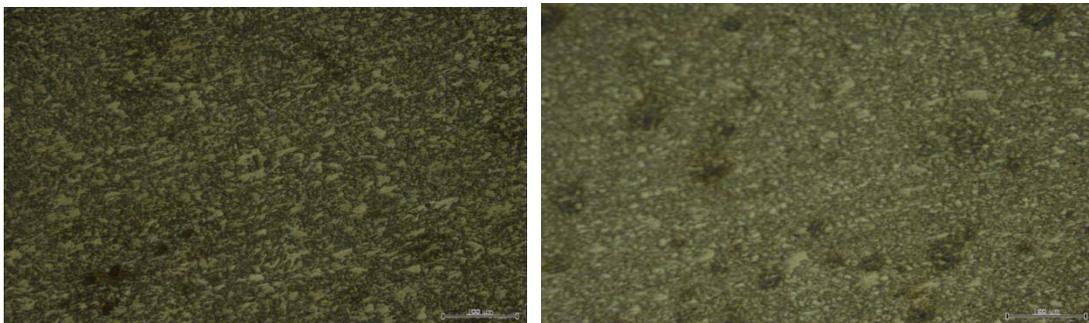
- 1. A0 : Base metal**
- 2. A3 : Pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 30 menit, media pendingin air tawar**
- 3. A1 : Pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 30 menit, media pendingin air laut**
- 4. A2 : Pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 60 menit, media pendingin air tawar**
- 5. A4 : Pemanasan suhu 750°C, waktu pemanasan 60 menit, media pendingin air laut**
- 6. B3 : Pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 30 menit, media pendingin air tawar**
- 7. B1 : Pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 30 menit, media pendingin air laut**
- 8. B2 : Pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 60 menit, media pendingin air tawar**
- 9. B4 : Pemanasan suhu 950°C, waktu pemanasan 60 menit, media pendingin air laut**

Lampiran C
Hasil Foto Struktur Mikro

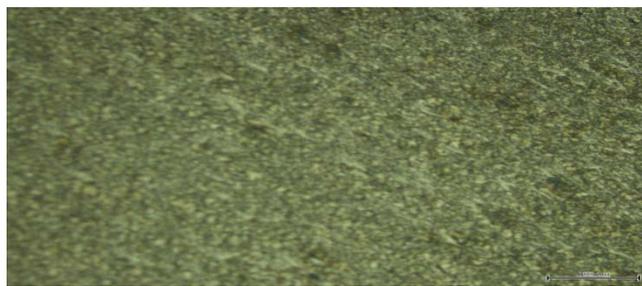
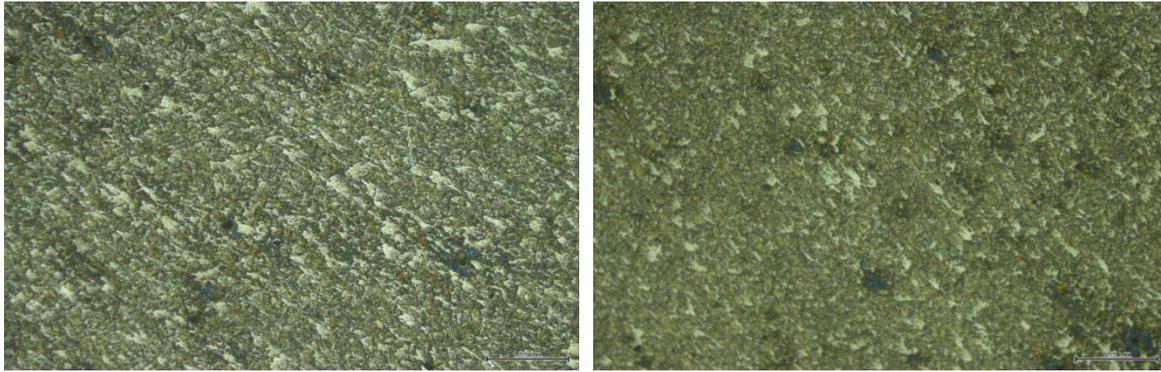
Hasil foto mikro sambungan plat tanpa perlakuan *quenching* (A0) perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



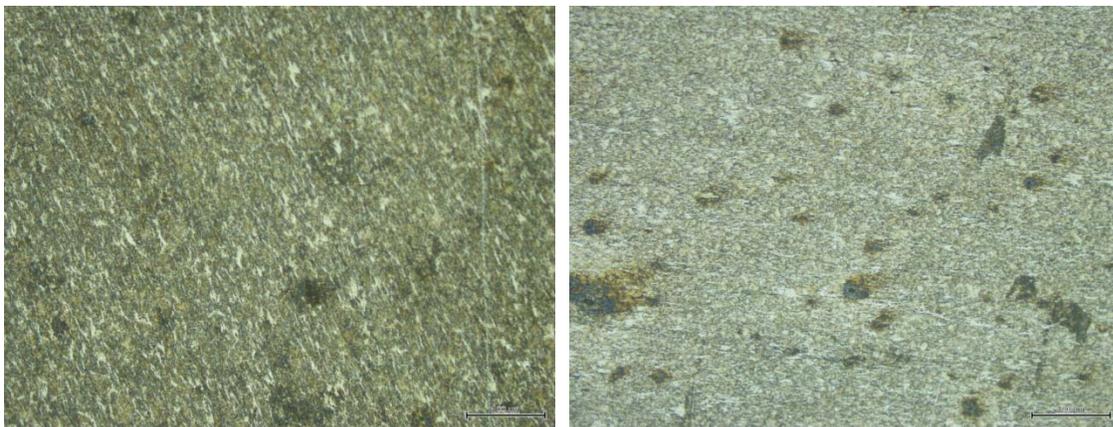
Hasil foto mikro sambungan plat A3 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



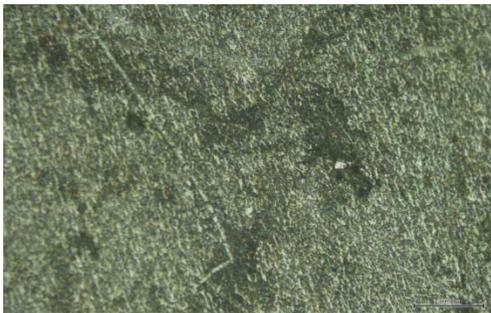
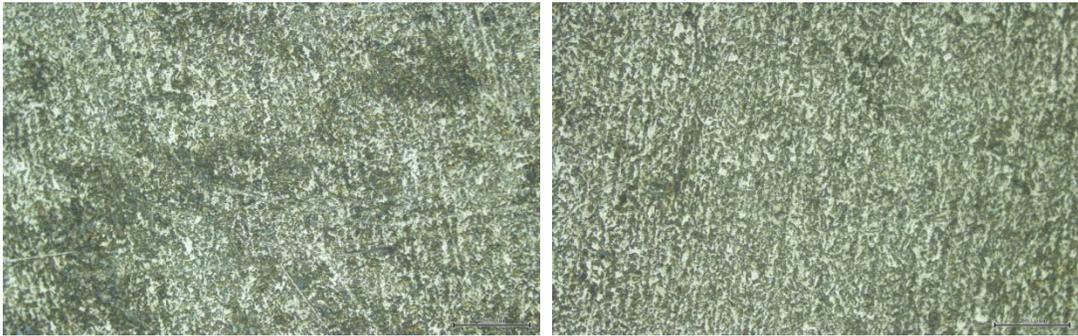
Hasil foto mikro sambungan plat A1 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



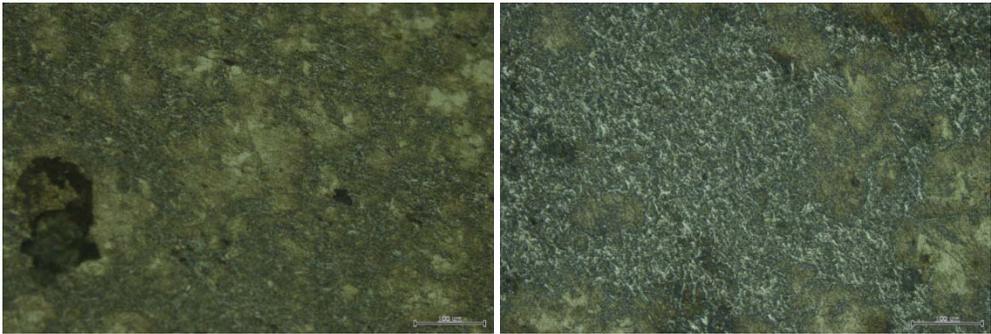
Hasil foto mikro sambungan plat A2 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



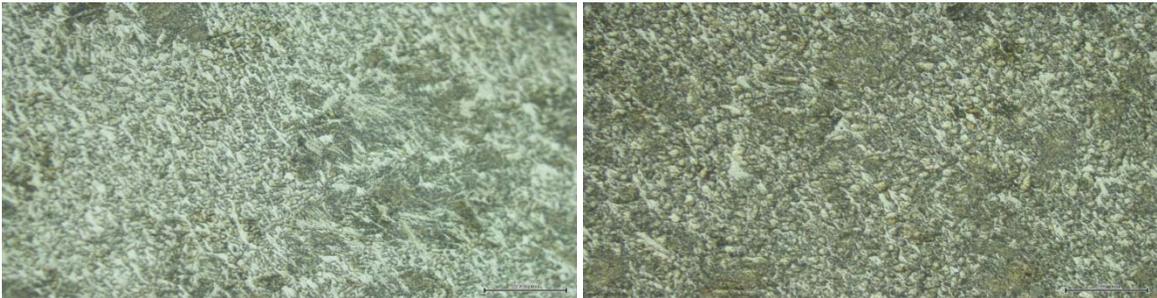
Hasil foto mikro sambungan plat A4 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



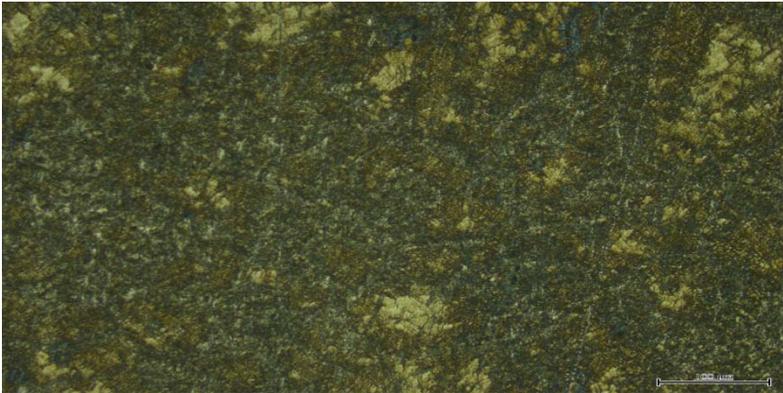
Hasil foto mikro sambungan plat B3 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



Hasil foto mikro sambungan plat B1 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



Hasil foto mikro sambungan plat B2 perbesaran 20x, daerah base metal, HAZ, weld metal



Lampiran D

Codes

BIOGRAFI PENULIS



Donald, dilahirkan di Jakarta 3 November 1991. Bernama lengkap Donald Tumpal Siagian, namun di akta kelahiran hanya tertera Donald, terlahir sebagai anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Swasta Strada Van Lith II tahun 1997-2003, SMPN 109 Jakarta tahun 2003-2006, SMAN 61 Jakarta 2006-2009. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2009 melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis juga

aktif dalam organisasi mahasiswa sebagai staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia pada periode 2010-2011 Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (Himatekla) ITS, dan aktif sebagai staff Seni dan Budaya Mahasiswa Bona Pasogit (MBP) ITS periode 2011-2012 dan 2012-2013. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Jakarta pada tahun 2012, dan di KHI Pipe Industry Cilegon Banten pada tahun 2013. Penulis menyelesaikan studi S1 di ITS setelah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Pengaruh Quenching Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Plat ASTM A36”.

Untuk kritik dan saran ataupun diskusi dengan penulis dapat dilakukan melalui

Email : donalddsiagian03@gmail.com
No. Hp : 081233764122