

**ANALISA KEKUATAN TARIK DAN LENTUR
SAMBUNGAN LAS BAJA ST-41 DENGAN MEDIA
PENDINGIN OLI SAE 10W-40**

SKRIPSI

OLEH :

HANI AGUSTONO

158130026



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/30/19

Access From (repository.uma.ac.id)

**ANALISA KEKUATAN TARIK DAN LENTUR
SAMBUNGAN LAS BAJA ST-41 DENGAN MEDIA
PEDNINGIN OLI SAE 10W-40**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Pelengkap dan Syarat
Mencapai Gelar Sarjana Teknik Mesin
Universitas Medan Area**



Oleh :

Hani Agustono

158130026

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2019

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/30/19

Access From (repository.uma.ac.id)

Lembar Pengesahan

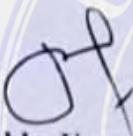
Judul Skripsi : Analisa Kekuatan Tarik dan Lentur Sambungan Las Baja
ST-41 Dengan Media Pendingin Oli SAE 10W-40

Nama : Hani Agustono

NPM : 158130026

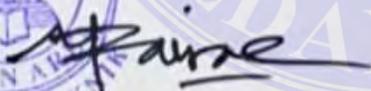
Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Bobby Umroh, ST.MT
Pembimbing I


Zulfikar, ST.MT
Pembimbing II




Faisal Amri Tanjung, S.ST, M.T, PhD
Dekan



Tanggal Lulus : 19 September 2019

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya menerima sanksi pencabutan akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam tugas akhir ini.



Medan, 1 Agustus 2019



Hani Agustono

158130026

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hani Agustono
NPM : 158130026
Program Studi : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **ANALISA KEKUATAN TARIK DAN LENTUR SAMBUNGAN LAS BAJA ST-41 DENGAN MEDIA PENDINGIN OLI SAE 10W-40**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 1 Agustus 2019



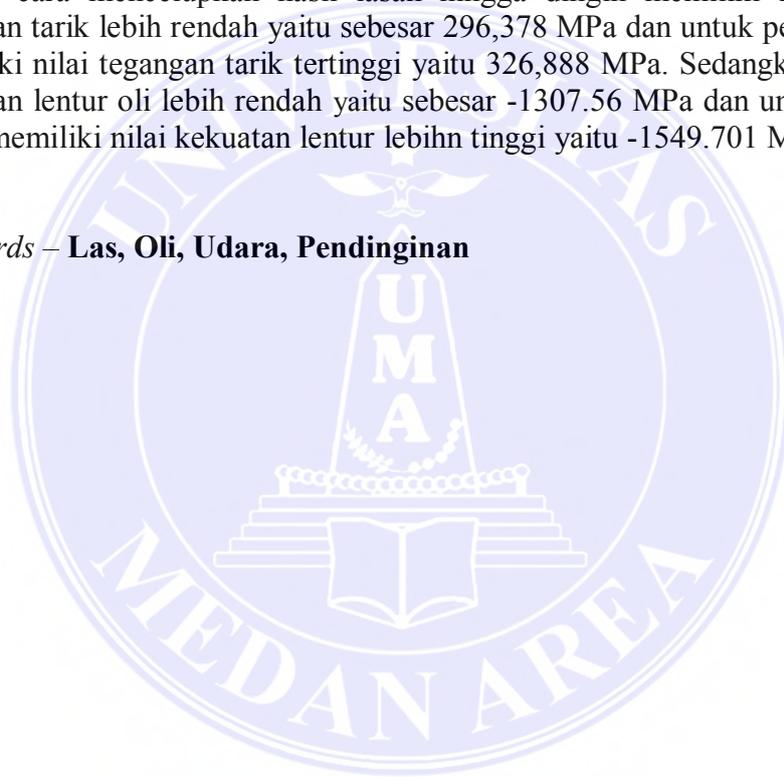
Hani Agustono

158130026

ABSTRAK

Pengelasan material ST-41 lazim digunakan menggunakan las SMAW, namun perlu kiranya untuk mengkaji tentang kekuatan tarik dimana kekuatan tarik disini sebagai acuan sifat mekanik atau kemampuan ST-41 menahan beban geser dan beban lentur. Selain dari kuat arus, variabel yang lain adalah media pendingin juga berpengaruh terhadap sifat mekanik material namun perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap permasalahan ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh media pendingin oli SAE 10W-40 dan udara terhadap kekuatan statik tarik dan kekuatan statik lentur setelah proses pengelasan metode SMAW. Pengujian statik tarik menggunakan ASTM E8 dan menggunakan metode *three point bending* untuk pengujian statik lentur. Setelah melakukan pengujian dan pembahasan diketahui bahwa menggunakan cairan oli sebagai media pendingin dengan cara mencelupkan hasil lasan hingga dingin memiliki nilai kekuatan tegangan tarik lebih rendah yaitu sebesar 296,378 MPa dan untuk pendingin udara memiliki nilai tegangan tarik tertinggi yaitu 326,888 MPa. Sedangkan nilai untuk kekuatan lentur oli lebih rendah yaitu sebesar -1307.56 MPa dan untuk pendingin udara memiliki nilai kekuatan lentur lebih tinggi yaitu -1549.701 MPa.

Keywords – **Las, Oli, Udara, Pendinginan**



ABSTRACT

Hani Agustono. 158130026. “The Analysis of Tensile and Flexural Strength on ST-41 Steel Welding Joint and Cooling Media of SAE 10W-40 Oil”. Supervised by Bobby Umroh, S.T., M.T. and Zulfikar, S.T., M.T.

The ST-41 material welding is commonly used by utilizing SMAW weld; however, it is needed to analyze the tensile strength where it is here as the reference to mechanical properties or the ST-41 ability in withstanding shear and bending loads. Besides the flow strength, another variable is cooling media also take effect towards the material mechanical properties but it needs to be conducted further research about this problem. The purpose of the research is to find out the effects of air and cooling media of SAE 10W-40 oil on the tensile and flexural static strengths after the welding process using the SMAW method. Then, the ASTM E8 using a three-point bending method is utilized as the static testing to test the flexural static. Furthermore, after conducting the test and study, the result revealed that using oil liquid as the cooling media by dipping the welding result until cool had a lower tensile stress strength value of 296.378 MPa. For the air cooling, it had the highest tensile stress value of 326.888 MPa. Whereas values of oil flexural strength were lower of -1307,56 MPa, and air cooling had a higher flexural strength of -1549,701 MPa.

Keywords: **Weld, Oil, Air, Cooling**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Selawat beriring salam penulis sanjung sajikan ke angkuan alam nabi besar Muhammad SAW, yang telah membawa umatnya dari alam kebodohan ke alam yang penuh ilmu pengetahuan seperti yang kita rasakan saat ini.

Pada penulisan Skripsi ini penulis mengambil judul “Analisa Kekuatan Tarik dan Lentur Sambungan Las Baja ST-41 Dengan Media Pendingin Oli SAE10W-40”. Maksud dan tujuan penulisan Skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk dapat memperoleh gelar Strata I di Universitas Medan Area.

Dalam penulisan Skripsi ini banyak kendala ya penulis alami, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka Skripsi ini dapat penulis selesaikan tepat pada waktunya, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda serta keluarga yang telah memberikan segalanya demi mencapai dan menggapai masa depan penulis.
2. Yayasan Haji Agus Salim.
3. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.
4. Bapak Faisal Amri Tanjung, S.ST, M.T, PhD selaku Dekan Fakultas Teknik.
5. Bapak Bobby Umroh S.T, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area, sekaligus Pembimbing I dalam penyelesaian Skripsi ini.
6. Bapak Zulfikar, S.T, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area, sekaligus Pembimbing II dalam penyelesaian Skripsi ini.
7. Seluruh staf pengajar jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa mesin satu perjuangan Joel Christopel, Nicholas Hutasoit, Bendris Hutabarat, Risky Fahriansyah, Ranto Arkemo, Muhammad Alfitrah, RN Agung Nugroho yang telah banyak membantu penulis selama kuliah dan menyelesaikan Skripsi ini.
9. Ridha Khairani yang selalu setia menemani selama kuliah dari awal sampai akhir menyelesaikan studi di Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini, masih banyak terdapat kesalahandan kelemahannya, maka dengan ini penulis siap menerima saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tulisan ini dimasa yang akan datang.

Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian terutama kepada penulis sendiri dan semoga Allah SWT senantiasa membimbing kita ke jalan yang diridhoi-Nya. Amin.

Medan, 1 Agustus 2019
Penulis

Hani Agustono
158130026



DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Halaman Pernyataan	ii
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir	iii
Abstrak	iv
Abstrak	v
Riwayat Hidup	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB I Pendahuluan	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II Tinjauan Pustaka	
2.1. Pengelasan	4
2.2. Las Busur Listrik	6
2.3. Arus Pengelasan	10
2.4. Elektroda	12
2.5. Kampuh Las	15
2.6. Pendinginan (Cooling)	16
2.7. Kekuatan Tarik Logam	17

2.8. Kekuatan Lentur	20
2.9. Teori Kegagalan	24
2.10. Baja ST-41	25
 BAB III Metodologi Penelitian	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2. Alat dan Bahan	29
3.3. Prosedur Kerja	38
3.4. Diagram Alir	41
 BAB IV Hasil Penelitian	
4.1. Data Hasil Pengujian Statik Tarik	42
4.2. Data Hasil Pengujian Statik Lentur	47
4.3. Foto Makro Setelah Pengujian	52
4.4. Hasil dan Pembahasan	56
 BAB V Kesimpulan dan Saran	
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis-jenis kampuh las	16
Gambar 2.2. Face bend pada transversal bending	21
Gambar 2.3. Root bend pada transversal bending	22
Gambar 2.4. Side bend pada transversal bending	22
Gambar 2.5. Face bend pada longitudinal bending	23
Gambar 2.6. Root bend pada longitudinal bending	23
Gambar 3.1. Mesin las busur lakoni falcon 120e	29
Gambar 3.2. Gerinda potong	30
Gambar 3.3. Gerinda tangan	31
Gambar 3.4. Vernier caliper	31
Gambar 3.5. Meteran	32
Gambar 3.6. Palu	32
Gambar 3.7. Sikat besi	33
Gambar 3.8. Helm safety	33
Gambar 3.9. Kedok las	34
Gambar 3.10. Kacamata safety	34
Gambar 3.11. Rompi las	35
Gambar 3.12. Sarung tangan safety	35
Gambar 3.13. Sepatu safety	36
Gambar 3.14. Spesimen uji	36
Gambar 3.15. Oli SAE 10W-40	37
Gambar 3.16. Elektroda E7010	37
Gambar 3.17. Diagram alir	41
Gambar 4.1. Gambar hasil pengujian spesimen pengujian tarik	42

Gambar 4.2. Grafik nilai rata-rata tegangan tarik	46
Gambar 4.3. Gambar hasil pengujian spesimen pengujian statik lentur	47
Gambar 4.4. Grafik nilai rata-rata tegangan lentur	51
Gambar 4.5. Foto spesimen hasil pengujian statik tarik media pendingin oli	52
Gambar 4.6. Foto spesimen hasil pengujian statik tarik media pendingin udara	53
Gambar 4.7. Foto spesimen hasil pengujian statik lentur media pendingin oli	54
Gambar 4.8. Foto spesimen hasil pengujian statik lentur media pendingin udara	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan diameter elektroda dengan dengan arus listrik	10
Tabel 2.2. Komposisi kimia baja ST-41	26
Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian	28
Tabel 4.1. Data hasil pengujian statik tarik	45
Tabel 4.2. Data hasil pengujian statik lentur	51



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fungsi pengelasan diantaranya adalah sebagai penyambung dua komponen yang berbahan logam. Selain itu fungsi pengelasan adalah sebagai media atau alat pemotongan. Kelebihan lain dari pengelasan diantaranya biaya murah, proses relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif (1).

Aplikasi pengelasan diantaranya dalam penyambungan rangka baja, perkapalan, jembatan, kereta api, komponen mesin dan lain sebagainya. Faktor-faktor pertimbangan dalam pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh (2). Luasnya penggunaan teknologi las ini disebabkan karena kekuatan sambungannya. Keunggulan ini menyebabkan sambungan las digunakan sebagai pengganti sambungan paku keling dan baut dalam struktur dan rancangan mesin

Berdasarkan klasifikasi kerjanya proses pengelasannya dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Namun proses pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur Shielding Metal Arc Welding (SMAW) dan gas. Proses ini juga tergantung dari material yang akan dilas, dimana tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las Metal Inert Gas (MIG) (2).

Pelat baja ST-41 merupakan bahan yang sangat kuat dan liat dengan struktur butir yang halus, dan dapat dilakukan pengerjaan dalam keadaan panas maupun pengerjaan dingin. Arti dari ST itu sendiri adalah singkatan dari Steel (baja) sedangkan angka 41 berarti menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 41 kgf/mm^2 . Material ini biasanya digunakan pada bahan konstruksi mesin dan perkapalan.

Pengelasan material ST-41 lazim digunakan menggunakan las SMAW, namun perlu kiranya untuk mengkaji tentang kekuatan tarik dimana kekuatan tarik disini sebagai acuan sifat mekanik atau kemampuan ST-41 menahan beban geser dan beban lentur. Penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa kekuatan tarik sangat dipengaruhi oleh kuat arus listrik yang dipakai selama proses pengelasan. Dilaporkan lebih lanjut kekuatan tarik terbaik pada arus 100 A dengan nilai 29.52 kgf/mm^2 . Selain dari kuat arus, variabel yang lain adalah media pendingin juga berpengaruh terhadap sifat mekanik material namun perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap permasalahan ini.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, objek yang perlu diteliti pada penelitian ini adalah mencari nilai kekuatan tarik disertai dengan kekuatan lentur pada material ST-41 menggunakan pengelasan SMAW menggunakan media pendingin yang terdiri dari pendinginan oli dan pendinginan udara. Penelitian sebelumnya sebenarnya sudah melaporkan tentang sifat mekanis pengelasan SMAW menggunakan media pendingin oli diperoleh nilai kekuatan tarik 144.27 kgf/mm^2 ,

tetapi penelitian tersebut menggunakan bahan ST-37. Selain itu mereka belum melaporkan tentang pengujian lentur, untuk itulah penelitian ini perlu dilakukan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh media pendingin oli SAE 10W-40 dan udara terhadap kekuatan statik tarik dan kekuatan statik lentur setelah proses pengelasan metode SMAW.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan.
2. Sebagai informasi bagi juru las untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.
3. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, pengelasan dan bahan teknik.
4. Mengetahui nilai uji tarik dan mutu sambungan las secara visual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengelasan

Las adalah penyambungan besi dengan cara membakar. Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu (3).

Beberapa ahli menyebutkan bahwa pengelasan adalah penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (2).

Pengelasan adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (1). Secara sederhana dapat diartikan bahwa pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

Proses pengelasan berkaitan dengan lempengan baja yang dibuat dari kristal besi dan karbon sesuai struktur mikronya, dengan bentuk dan arah tertentu. Lalu sebagian dari lempengan logam tersebut dipanaskan hingga meleleh. Kalau tepi lempengan logam itu disatukan, terbentuklah sambungan. Umumnya, pada proses pengelasan juga ditambahkan dengan bahan penyambung seperti kawat atau batang las. Kalau campuran tersebut sudah dingin, molekul kawat las yang semula merupakan bagian lain kini menyatu.

Proses pengelasan tidak sama dengan menyolder di mana untuk menyolder bahan dasar tidak meleleh. Sambungan terjadi dengan melelehkan logam lunak

misalnya timah, yang meresap ke pori-pori di permukaan bahan yang akan disambung. Setelah timah solder dingin maka terjadilah sambungan. Perbedaan antara solder keras dan lunak adalah pada suhu kerjanya di mana batas kedua proses tersebut ialah pada suhu 450 derajat Celcius. Pada pengelasan, suhu yang digunakan jauh lebih tinggi, antara 1500 hingga 1600 derajat Celcius.

Las dalam bidang konstruksi sangat luas penggunaannya meliputi konstruksi jembatan, perkapalan, industri karoseri dll. Disamping untuk konstruksi las juga dapat untuk mengelas cacat logam pada hasil pengecoran logam, mempertebal yang aus (4).

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya.

Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu di dalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktik, secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara-cara pengelasan. Cara ini pemeriksaan, bahan las, dan jenis las yang akan digunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutsche Industrie Normen*) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam

keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan cara menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom molekul dari logam yang disambungkan.

Pada waktu ini pengelasan dan pemotongan merupakan pengerjaan yang amat penting dalam teknologi produksi dengan bahan baku logam. Dari pertama perkembangannya sangat pesat, telah banyak teknologi baru yang ditemukan. Paling tidak saat ini terdapat sekitar 40 jenis pengelasan. Dari seluruh jenis pengelasan tersebut hanya dua jenis yang paling populer di Indonesia yaitu pengelasan dengan menggunakan las busur listrik SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan las karbit OAW (*Oxy Acetylene Welding*).

Disini penulis hanya akan membahas tentang las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dikarenakan penelitian ini menggunakan model pengelasan tersebut.

2.2. Las Busur Listrik

Las busur listrik adalah proses penyambungan logam dengan pemanfaatan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Las busur listrik merupakan salah satu jenis las listrik dimana sumber pemanasan atau pelumeran bahan yang disambung atau di las berasal dari busur nyala listrik (5). Las busur listrik dengan metode elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak di gunakan pada masa ini, cara pengelasan ini menggunakan elektroda logam yang di bungkus dengan fluks. Las busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari

busur, maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Las busur listrik umumnya disebut las listrik adalah salah satu cara menyambung logam dengan jalan menggunakan nyala busur listrik yang diarahkan ke permukaan logam yang akan disambung. Pada bagian yang terkena busur listrik tersebut akan mencair, demikian juga elektroda yang menghasilkan busur listrik akan mencair pada ujungnya dan merambat terus sampai habis. Logam cair dari elektroda dan dari sebagian benda yang akan disambung tercampur dan mengisi celah dari kedua logam yang akan disambung, kemudian membeku dan tersambunglah kedua logam tersebut.

Mesin las busur listrik dapat mengalirkan arus listrik cukup besar tetapi dengan tegangan yang aman (kurang dari 45 volt). Busur listrik yang terjadi akan menimbulkan energi panas yang cukup tinggi sehingga akan mudah mencairkan logam yang terkena. Besarnya arus listrik dapat diatur sesuai dengan keperluan dengan memperhatikan ukuran dan type elektrodanya.

Pada las busur, sambungan terjadi oleh panas yang ditimbulkan oleh busur listrik yang terjadi antara benda kerja dan elektroda. Elektroda atau logam pengisi dipanaskan sampai mencair dan diendapkan pada sambungan sehingga terjadi sambungan las. Mula-mula terjadi kontak antara elektroda dan benda kerja sehingga terjadi aliran arus, kemudian dengan memisahkan penghantar timbullah busur. Energi listrik diubah menjadi energi panas dalam busur dan suhu dapat mencapai 5500 °C

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) juga sering disebut sebagai *stick welding*. Hal ini dikarenakan elektrodanya yang berbentuk stick. Proses pengelasan ini adalah proses pengelasan yang relative paling banyak dan luas penggunaannya.

Electric arc adalah arus elektron yang kontinu mengalir melalui media yang pendek antara dua elektrode (+ dan -) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas antara elektrode akan diionisir oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda.

Dua faktor yang memengaruhi pancaran elektron :

1. Temperatur
2. Kekuatan medan listrik

Untuk menimbulkan arc, kedua elektroda dihubungkan singkat dengan cara disentuhkan lebih dahulu (*arcstarting*) dan pada bagian yang bersentuhan ini akan terjadi pemanasan (temperatur naik), hal ini mendorong terjadinya busur. Beberapa keuntungan SMAW :

1. Peralatan yang digunakan tidak rumit, tidak mahal, dan mudah dipindahkan
2. Elektrodanya telah terdapat flux
3. Sensitivitasnya terhadap gangguan pengelasan berupa angin cukup baik
4. Dapat dipakai untuk berbagai posisi pengelasan

2.2.1. Jenis-jenis Mesin Las Busur Listrik

Mesin las yang ada pada unit peralatan las berdasarkan arus yang dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan menjadi 3 macam, dikarenakan didalam penelitian ini mesin las yang digunakan adalah mesin las arus searah (Mesin DC), jadi peneliti hanya menjelaskan tentang Mesin DC.

- a. Mesin las arus searah (Mesin DC)

Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin berupa dynamo motor listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor diesel, atau alat penggerak yang lain. Mesin arus yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak mulanya memerlukan peralatan yang berfungsi sebagai penyearah arus.

Penyearah arus atau rectifier berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Arus bolak-balik diubah menjadi arus searah pada proses pengelasan mempunyai beberapa keuntungan, antara lain :

1. Nyala busur listrik yang dihasilkan lebih stabil,
2. Setiap jenis elektroda dapat digunakan pada mesin las DC,
3. Tingkat kebisingan lebih rendah,
4. Mesin las lebih fleksibel, karena dapat diubah ke arus bolak-balik atau arus searah.

Mesin las DC ada 2 macam, yaitu mesin las stasioner atau mesin las portabel. Mesin las stasioner biasanya digunakan pada tempat atau bengkel yang mempunyai jaringan listrik permanen, misal listrik PLN. Adapun mesin las portabel mempunyai bentuk relatif kecil biasanya digunakan untuk proses pengelasan pada tempat-tempat yang tidak terjangkau jaringan listrik. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian mesin las adalah penggunaan yang sesuai dengan prosedur yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat mesin, perawatan yang sesuai dengan anjuran. Sering kali gangguan-gangguan timbul pada mesin las, antara lain mesin tidak mengeluarkan arus listrik atau nyala busur listrik lemah.

- b. Mesin las arus bolak-balik (Mesin AC)
- c. Mesin las ganda (Mesin AC-DC)

2.3. Arus Pengelasan

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan.

Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan.

Tabel 2.1. Hubungan diameter elektroda dengan arus listrik

Diameter Elektroda Dalam mm	Tipe Elektroda dan Besarnya Arus dalam Ampere					
	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2.5		80-125	70-100	100-145		
3.2	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	120-160	150-210	160-220	180-260	180-240	180-250
5	160-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-305
5.5		260-340	260-340	275-285	250-350	275-365
6.3		330-415	315-400	335-470	300-420	335-430
8		390-500	375-470			

Besar arus dan tegangan listrik yang digunakan dalam pengelasan harus diatur sesuai kebutuhan. Daya yang dibutuhkan untuk pengelasan tergantung dari besarnya arus dan tegangan listrik yang digunakan. Tidak ada aturan pasti besar tegangan listrik pada mesin las yang digunakan. Hal ini berhubungan dengan

keselamatan kerja operator las tubuh manusia tidak akan mampu menahan arus listrik dengan tegangan yang tinggi.

Tegangan listrik yang digunakan pada mesin las (tegangan pada ujung terminal) berkisar 55 volt sampai 85 volt. Tegangan ini disebut sebagai tegangan pembakaran. Bila nyala busur listrik sudah terjadi maka tegangan turun menjadi 20 volt sampai 40 volt. Tegangan ini disebut dengan tegangan kerja. Besar kecilnya tegangan kerja yang terjadi tergantung dari besar kecilnya diameter elektroda. Semakin besar arus yang terjadi.

Dengan alasan diatas maka pada mesin las pengaturan yang dilakukan hanya besar arusnya saja. Pengaturan besar kecilnya arus dilakukan dengan cara memutar tombol pengatur arus. Besar arus yang digunakan dapat dilihat pada skala yang ditunjukkan oleh amperemeter (alat untuk mengukur besar arus listrik) yang terletak pada mesin las. Pada masing-masing las, arus minimum dan arus maksimum yang dapat dicapai berbeda-beda, pada umumnya berkisar 100 ampere sampai 600 ampere. Pemilihan besar arus listrik tergantung dari beberapa faktor, antara lain: diameter elektroda yang digunakan, tebal benda kerja, jenis elektroda yang digunakan, polaritas kutub -kutubnya dan posisi pengelasan.

Bila arus terlalu tinggi (besar), akan menyebabkan :

1. Kemungkinan terjadi takikan tinggi,
2. Percikan sangat banyak,
3. Elektrode las panas kemerahan,
4. Penutupan terak tidak cukup dan tampilan rigi las buruk,
5. Kemungkinan terjadi lubang cacing dan retak tinggi,
6. Daerah las rapuh akibat panas berlebih.

Bila arus terlalu rendah (kecil), akan menyebabkan :

1. Penyalaan busur listrik sukar dan busur listrik yang terjadi tidak stabil,
2. Terlalu banyak tumpukan logam las karena panas yang terjadi tidak mampu melelehkan elektroda dan bahan bakar dengan baik,
3. Rigi las sempit dan mengembang,
4. Kemungkinan terak terperangkap tinggi.

2.4. Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, selain berfungsi sebagai pembangkit, elektroda juga sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (fluks) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi fluks atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat Inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm.

Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang

berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda. Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O₂ dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas

Pada dasarnya bila ditinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.

Elektroda (Kawat las) memiliki kode spesifikasi yang dapat kita lihat pada kardus pembungkusnya. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Berdasarkan peraturan AWS (*American Welding Society*)

2.4.1. Spesifikasi kawat las terbungkus untuk untuk Mild Steel diatur dalam AWS

A5.1

1. Dua digit pertama menunjukkan Kekuatan tariknya dalam kilo-pound-square-inch (Ksi)
 - a. E6010 = kekuatan tariknya 60 ksi, (60000 psi),
 - b. E7018 = kekuatan tariknya 70 ksi, (70000 psi),
2. Digit ketiga adalah Posisi pengelasan
 - a. Exx1x – untuk semua posisi (flat, horisontal, vertikal, overhead),
 - b. Exx2x – untuk posisi flat dan horizontal,
 - c. Exx3x – hanya untuk posisi flat,
3. Digit terakhir (ke empat atau lima) menunjukkan tentang jenis arus dan tipe salutan. Digit (angka) tersebut mulai dari 0 s.d. 8 yang menunjukkan tipe arus dan pengkutuban (polarity) yang digunakan, di mana ada empat pengelompokan yang dapat menunjukkan tipe arus untuk tiap tipe elektroda, yaitu :
 - a. Elektroda dengan digit terakhirnya 0 dan 5 dapat digunakan hanya untuk tipe arus DCRP,
 - b. Elektroda dengan digit terakhirnya 2 dan 7 dapat digunakan untuk arus AC atau DCSP,
 - c. Elektroda dengan digit terakhirnya 3 dan 4 dapat digunakan untuk arus AC atau DC (DCRP dan DCSP),
 - d. Elektroda dengan digit terakhirnya 1, 6 dan 8 dapat digunakan untuk arus AC atau DCRP,

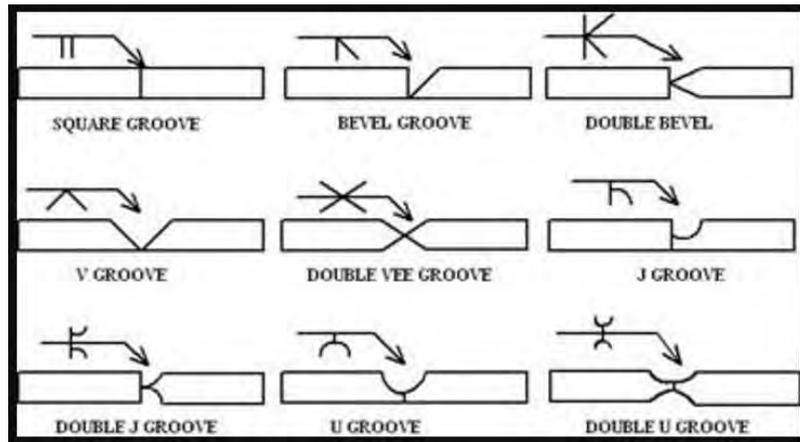
4. Khusus untuk tipe salutan (flux) elektroda, secara umum adalah sebagai berikut :
 - a. 0 dan 1 = tipe salutannya adalah : *celluloce* (Exxx0, Exxx1)
 - b. 2, 3 dan 4 = tipe salutannya adalah : *rutile* (Exxx2, Exxx3, Exxx4)
 - c. 5, 6 dan 8 = tipe salutannya adalah : *basic* (Exxx5, Exxx6, Exxx8)
5. Untuk elektroda dengan lima digit angka maka tiga angka pertama merupakan kekuatan tarik
 - a. E11010 = kekuatan tariknya 110 ksi, (110000 psi),

Contohnya elektroda jenis E6013 dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan dengan arus las AC maupun DC. Elektroda dengan kode E6013 untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing-masing yaitu :

- E = Elektroda untuk las busur listrik,
- 60 = Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 Psi (60.000 Ib/in²) atau 42 kg/mm²,
- 1 = Menyatakan posisi pengelasan, 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi,
- 4 = Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC.

2.5. Kampuh Las

Kampuh atau alur las merupakan bagian pada pengelasan yang nantinya akan diisi oleh logam las yang berasal dari kawat las atau logam pengisi.



Gambar 2.1. Jenis-jenis Kampuh Las

Berdasarkan banyaknya logam las yang mengisi kampuh, lasan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu lasan penetrasi penuh dan lasan penetrasi tidak penuh atau lasan penetrasi sebagian. Apabila logam las mengisi seluruh bagian kampuh (penetrasi penuh) disebut dengan groove weld, sedangkan jika logam las tidak mengisi seluruh bagian kampuh (lasan penetrasi sebagian) maka jenis lasan ini dikenal sebagai fillet weld. Didalam penelitian ini, peneliti menggunakan jenis kampuh las *V Groove*.

2.7. Pendinginan (*Cooling*)

Media Pendingin merupakan proses pendinginan terjadi perlakuan panas yang bisa merubah struktur mikro material. Ada beberapa sifat mekanis material yang terjadi pada saat material menagalami penurunan suhu (6).

Oli ialah salah satu jenis minyak pelumas dan dapat digolongkan menjadi dua bentuk, yaitu cair (liquid) atau biasa disebut oli, dan setengah padat (semi solid) Minyak pelumas cair (oli) dengan SAE 10W-340 yang paling banyak di pakai wilayah Indonesia. Disini peneliti menggunakan media pendingin oli SAE 10W-40.

2.8. Kekuatan Tarik Logam

Kekuatan tarik (tensile strength, ultimate tensile strength) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda.

Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (brittle). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (ductile).

Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength). Nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen.

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-perubahannya dari suatu logam terhadap gaya tarik yang diberikan. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan perpanjangan.

Pada pengujian tarik gaya tarik yang diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai

perpanjangan yang dialami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan kurva tegangan dan regangan.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (N)

A = Luas awal penampang (mm²)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal. Persamaannya yaitu :

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ε = Regangan (%)

L_o = Panjang Awal (mm)

L_f = Panjang Akhir (mm)

Pada pengujian tarik, gaya tarik yang diberikan secara perlahan-lahan dimulai dari nol dan berhenti pada tegangan maksimum (Maximum Stress) dari logam yang bersangkutan. Maksimum Stress merupakan batas kemampuan maksimum material mengalami gaya tarik dari luar hingga mengalami fracture (patah), sedangkan Yield Stress merupakan batas kemampuan maksimum material untuk mengalami pertambahan panjang (melar) sebelum material tersebut mengalami fracture mengikuti hukum Hooke.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

σ_u = Tegangan Maksimum (N/mm²)

F_u = Gaya Maksimum (N)

A = Luas Awal Penampang (mm²)

Gaya tarik yang diberikan pada mesin pengujian tarik yang selama pengujian akan mencatat setiap kondisi bahan sampai terjadinya tegangan maksimum, juga sekaligus akan menggambarkan diagram tarik dari benda uji, adapun panjang L_f akan diketahui setelah benda uji patah dengan menggunakan pengukuran secara normal tegangan maksimum adalah tegangan tertinggi yang bekerja pada luas penampang semula. Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastis yang pernah dialami, laju regangan, suhu dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam yaitu :

1. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji. Kekuatan ini berguna untuk keperluan spesifikasi dan kontrol kualitas bahan.

2. Kekuatan luluh

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Kekuatan luluh yang diperoleh dengan metode offset biasanya dipergunakan untuk perancangan dan keperluan spesifikasi.

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

σ_y = Tegangan Luluh (N/mm²)

F_y = Gaya Luluh (N)

A = Luas Awal Penampang (mm²)

3. Perpanjangan.

Perpanjangan diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal dan dinyatakan dalam persen.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material baja ST-41 sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik pada umumnya adalah parameter kekuatan tarik (*ultimate strength*) maupun luluh (*yield strength*), parameter kaliatan/keuletan yang ditunjukkan dengan adanya prosen perpanjangan (*elongation*) maupun bentuk penampang patahannya.

2.9. Kekuatan Lentur

Uji lentur (*Bending Test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan keuletan hasil sambungan las baik di *weld metal* maupun HAZ. Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa factor yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Kekuatan tarik (*Tensile Strength*).
2. Komposisi kimia dan struktur mikro terutama kandungan Mn dan C.
3. Tegangan luluh (*yield*).

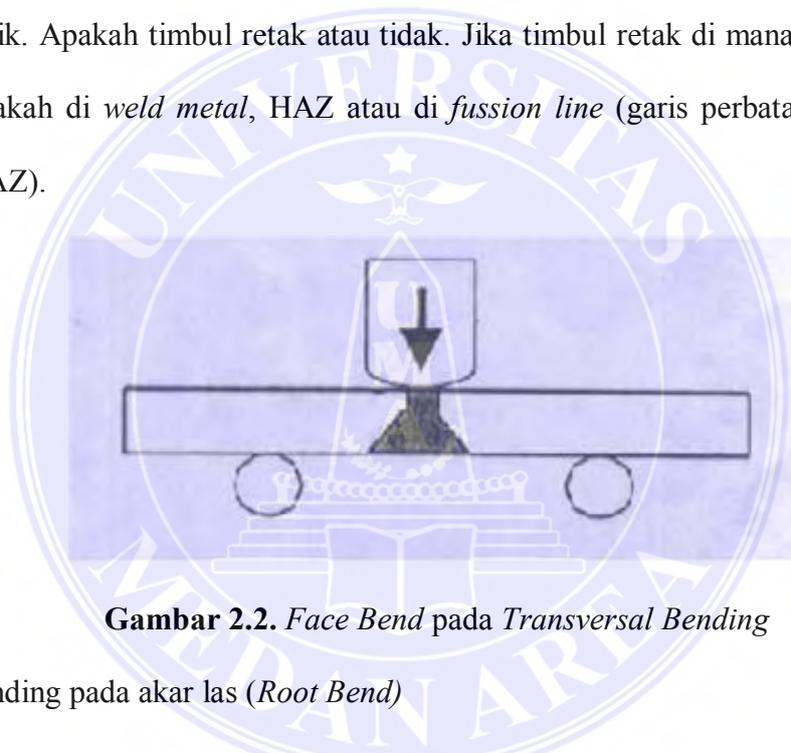
Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dibedakan menjadi 2 yaitu transversal bending dan longitudinal bending.

2.9.1. Transversal Bending

Pada *transversal bending* ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian transversal bending dibagi menjadi tiga :

a. Bending pada permukaan las (*Face Bend*)

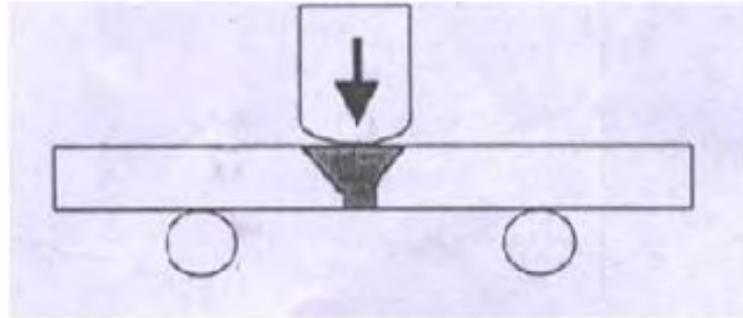
Dikatakan *Face Bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 2.2). Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.2. *Face Bend* pada *Transversal Bending*

b. Bending pada akar las (*Root Bend*)

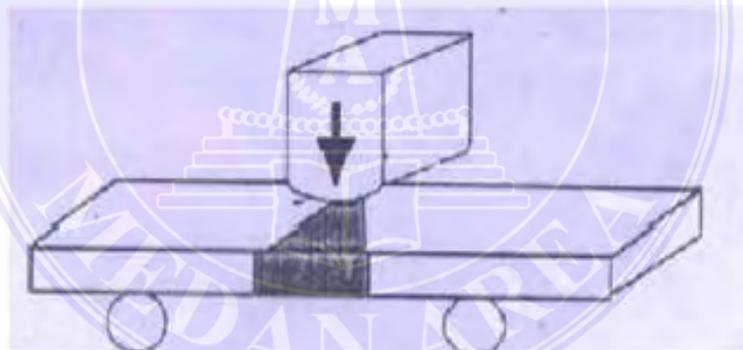
Dikatakan *Root Bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 2.3). Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ)



Gambar 2.3. *Root Bend* pada *Transversal Bending*

c. Bending pada sisi las (*Side Bend*)

Dikatakan *Side Bend* jika bending dilakukan sehingga sisi las (gambar 2.4). Pengujian ini dilakukan jika ketebalan material yang di las lebih besar dari 9.5 mm. Pengamatan dilakukan pada sisi las tersebut, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *Weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



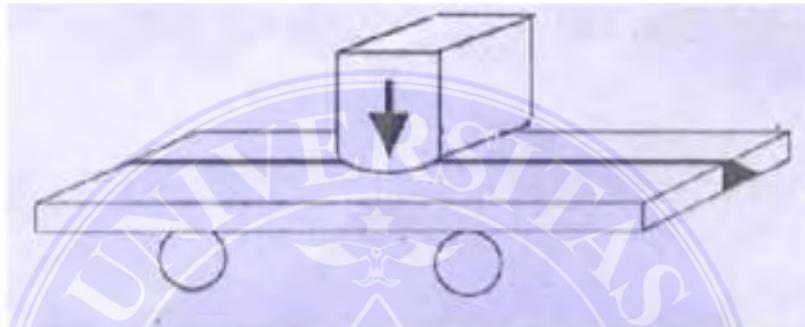
Gambar 2.4. *Side Bend* pada *Transversal Bending*

2.9.2. Longitudinal Bending

Pada *longitudinal bending* ini, pengambilan spesimen searah dengan arah pengelasan berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian longitudinal bending dibagi menjadi dua :

a. Bending pada permukaan las (*Face Bend*)

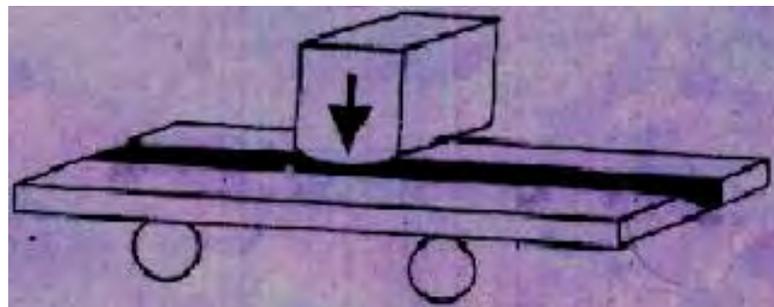
Dikatakan *Face Bend* jika bending dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 2.5). Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di *Weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.5. *Face Bend* pada *Longitudinal Bending*

b. Bending pada akar las (*Root Bend*)

Dikatakan *Root Bend* jika bending dilakukan sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan (gambar 2.6). Pengamatan dilakukan pada akar las yang mengalami tegangan tarik, apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak di manakah letaknya, apakah di *Weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 2.6. *Root Bend* pada *Longitudinal Bending*

2.9.3. Kriteria Kelulusan Uji Lenkung

Untuk dapat lulus dari uji lengkung maka hasil pengujian harus memenuhi standard ASME sebagai berikut :

1. Pada daerah Weld metal dan HAZ ukurannya tidak melebihi $\pm 3,2$ mm yang diukur dari segala arah permukaan.
2. Pada daerah pelapisan ukuran cacat maksimal 1.6 mm
3. Cacat pada sudut diabaikan kecuali akibat SI (*Slag Inclusion*) dan IF (*Incomplete Fusion*) dan *Internal Discontinuities*

2.10. Teori Kegagalan

Permasalahan yang sering dihadapi oleh para engineer adalah memilih material yang tepat dan lebih spesifik karena berpengaruh terhadap kegagalan dari material tersebut. Kegagalan pada material yang ulet adalah ketika permulaan dari peluluhan material tersebut, sedangkan pada material yang getas, kegagalan dapat disebut dengan fracture patah.

a. Teori Tegangan Geser Maksimum Kriteria Tresca

Henri tresca mengemukakan teori tegangan geser maksimum atau tresca yield criterion pada tahun 1968. Teori tegangan geser maksimum memperkirakan kegagalan spesimen yang mengalami beban kombinasi terjadi bila tegangan geser maksimum pada suatu titik mencapai tegangan luluh hasil uji tarik atau uji tekan dan suatu material yang sama. Dimana adalah tegangan luluh yang didapatkan dari uji tarik atau uji tekan adalah tegangan luluh untuk pembebanan uniaksial.

b. Teori Energi Distorsi Maksimum Kriteria von Mises

Teori kegagalan ini diperkenalkan oleh Huber 1904 dan kemudian disempurnakan melalui kontribusi Von Mises dan Hencky. Teori ini menyatakan bahwa "Kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap specimen dari material yang sama".

Antara Teori Tresca Dan Teori Von Mises Perbandingan dua kriteria kegagalan dapat dilihat pada Gambar 18. Kedua kriteria memberikan hasil yang sama ketika tegangan principal yang diberikan sama atau ketika satu dari tegangan principal yang diberikan adalah nol dan yang lain memiliki nilai dari σ y . Atau dengan kata lain jika material diberikan tegangan geser murni maka teori tersebut menghasilkan ketidakcocokan yang sangat besar dalam memprediksi kegagalan. Pada uji torsi actual, digunakan untuk mengembangkan sebuah kondisi geser murni pada specimen ductile, memperlihatkan bahwa teori maksimum distorsi energy memberikan hasil yang lebih akurat sebesar 15 dibanding dengan teori tegangan geser maksimum.

2.11. Baja ST-41

Pelat baja merupakan lembaran baja dengan ketebalan yang relatif kecil dibandingkan ukuran panjang dan lebar lembarnya. Lembaran baja setelah dirol mempunyai sifat-sifat yang mudah dilas dan dibentuk. Dalam konstruksi baja, plat baja banyak digunakan untuk konstruksi jembatan.

Pelat baja ST-41 merupakan bahan bangunan yang sangat kuat dan liat dengan struktur butir yang halus, dan dapat dilakukan pengerjaan dalam keadaan panas maupun pengerjaan dingin. Arti dari St itu sendiri adalah singkatan dari Steel

(baja) sedangkan angka 41 berarti menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 41 km/mm².

Unsur-unsur yang terkandung dalam baja akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan fisik dari baja yang bersangkutan. Jenis-jenis baja umumnya ditentukan berdasarkan kandungan unsur karbon yang terkandung dalam material baja tersebut. Tabel berikut ini menunjukkan data komposisi kimia unsur-unsur yang ada dalam material spesimen. Berdasarkan kandungan karbon dalam material dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan tergolong low carbon steel dengan kadar karbon 0,12 %. Berikut tabel di bawah ini kandungan unsur kimia baja ST-41 dalam material.

Tabel 2.2. Komposisi kimia Baja ST-41

Komposisi Kimia (%)							
C	P	S	Mn	Si	Cu	Al	Fe
0.12	0.04	0.05	0.50	0.10	0.10	0.02	Sisa

Sumber : Penyedia bahan Baja ST-41

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon oleh karena itu baja karbon di kelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3% disebut baja karbon rendah, baja dengan kadar karbon 0,3% - 0,6% disebut dengan baja karbon sedang dan baja dengan kadar karbon 0,6%-1,5% disebut dengan baja karbon tinggi (7).

Terdapat penelitian yang meneliti tentang kekuatan statik tarik menggunakan media pendingin oli namun menggunakan bahan uji atau spesimen yang berbeda. Disini peneliti akan memasukan nilai hasil pengujian peneliti yang lain agar menjadi acuan nilai untuk peneliti membandingkan dengan hasil pengujian penelitian peneliti nantinya.

Salah satu penelitian yang dilakukan Dicky Adi Tyagita dan Andik Irawan dari Universitas Negeri Jember, mereka meneliti dengan judul “Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Plat Baja ST-37 dengan Media Pendingin Liquid”. Penelitian tersebut sama dengan penelitian yang dilakukan peneliti, yang membedakan kedua penelitian ini adalah jenis spesimen yang dipakai dan banyaknya media pendinginnya. Dari hasil pengujian dan pembahasan diketahui bahwa menggunakan cairan oli sebagai pendingin dengan cara mencelupkan hasil lasan hingga dingin memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 44,27 kg/mm².



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Teknologi Kimia Industri Jalan Medan Tenggara No. VII, Medan Tenggara, Medan Denai, Kota Medan, Sumatera Utara dengan waktu 4 bulan. Uraian kegiatan dijelaskan dalam Tabel 3.1 yang berisi tentang uraian kegiatan penelitian di mulai dari persiapan alat dan bahan sampai Seminar Hasil.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Maret				April				Juni				Juli			
		Minggu Ke				Minggu Ke				Minggu Ke				Minggu Ke			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Kajian Literatur																
2	Persiapan Alat dan Bahan																
3	Persiapan Penelitian																
4	Pengambilan Data																
5	Analisa Hasil																
6	Pembuatan Laporan Hasil																

- c. Arus Output : 10 - 120 Ampere
 - d. Diameter Kawat Las : 2.0 - 4 mm (maks.) (recomended 3.2mm)
 - e. Ukuran Soket : 25mm
 - f. Dimensi : 270 x 200 x 110mm
 - g. Pendingin : Kipas
 - h. Duty Cycle : 60% (pada 120A), 100% (pada 100A)
 - i. Jenis Arus : DC (Searah).
2. Gerinda Potong dan Gerinda Tangan.

Untuk memotong plat menjadi beberapa bagian sebelum dilakukan uji tarik dan uji lengkung. Peneliti menggunakan gerinda potong dikarenakan tebal pelat dan akan susah jika menggunakan alat potong manual seperti gergaji tangan atau gergaji besi.



Gambar 3.2. Gerinda Potong

Gerinda tangan sangat berguna pada penelitian ini. Kegunaan gerinda tangan di dalam penelitian ini antara lain untuk merapikan ujung spesimen benda uji setelah dipotong dan untuk membuat kampuh las *V Groove*.



Gambar 3.3. Gerinda Tangan

3. Alat Ukur

Beberapa alat ukur yang digunakan didalam penelitian ini diantaranya :

a. Vernier Caliper

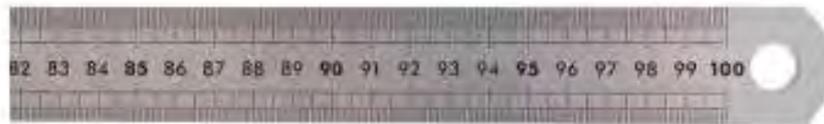
Kegunaan Vernier kaliper disini untuk mengukur bagian yang detail seperti pada saat membuat kampuh pada spesimen dan mengukur bagian yang kecil yang sulit diukur menggunakan mistar baja.



Gambar 3.4. Vernier Caliper.

b. Mistar Baja.

Kegunaan mistar baja didalam penelitian ini untuk mengukur spesimen sesuai standart sebelum dipotong menjadi bagian bagian yang siap diuji tarik dan uji lengkung.



Gambar 3.5. Meteran

Untuk mengukur dimensi sebelum dipotong menjaadi beberapa bagian.

4. Palu dan Sikat Besi

Didalam penelitian ini palu berguna pada saat selesai mengelas spesimen, kegunaannya adalah untuk memukul bagian yang di las agar lapisan fluks pada las terbuka atau terkelupas.



Gambar 3.6. Palu

Dan sikat besi kegunaannya untuk membersihkan bekas las menjadi bersih tanpa sisa dari fluks elektroda.



Gambar 3.7. Sikat Besi

5. Alat Pelindung Diri

Ada banyak pelindung diri yang dipakai pada saat penelitian, karena safety sangat diutamakan. Beberapa alat pelindung diri yang dipakai disaat melakukan penelitian diantara lain :

a. Helm Safety

Kegunaannya untuk melindungi kepala si pekerja, supaya bisa terhindar dari kejatuhan barang dan yang lain.



Gambar 3.8. Helm Safety

b. Kacamata Las / Kedok Las

Untuk melindungi mata dan wajah dari pancaran busur listrik berupa sinar ultra violet dan inframerah yang menyala terang dan kuat saat melakukan proses pengelasan.



Gambar 3.9. Kedok Las

c. Kacamata Safety

Untuk melindungi mata dari debu, dan percikan bahan kimia cair.



Gambar 3.10. Kacamata Safety

d. Rompi Las

melindungi seluruh bagian tubuh dari panas dan percikan las. Selain itu terdapat Apron sebagai tambahan, apron dada dan apron lengan ini terbuat dari bahan kulit. Karena jika dari kain biasa maka pakaian akan lubang, hal ini disebabkan tingginya temperatur percikan las.



Gambar 3.11. Rompi Las

e. Sarung Tangan Safety

Berguna sebagai alat pelindung tangan ketika bekerja di tempat atau kondisi yang bisa mengakibatkan cedera tangan.



Gambar 3.12. Sarung Tangan Safety

f. Sepatu Safety

Kegunaan sepatu safety adalah untuk melindungi kaki dari benda tajam, benda panas dan lain lain yang dapat membahayakan kaki.



Gambar 3.13. Sepatu Safety

3.2.2. Bahan

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya :

1. Baja ST-41 berguna sebagai spesimen yang akan diuji tarik dengan standart ASTM E-8.



Gambar 3.14. Spesimen Uji

- Media pendingin yang digunakan adalah oli SAE 10W-40



Gambar 3.15. Oli SAE 10W-40

- Elektroda E 6013 sebagai cairan fluks penggabung dua logam Baja ST-41 yang akan diuji.



Gambar 3.16. Elektroda E6010\

3.5. Prosedur Kerja

Dalam melaksanakan sebuah penelitian, peneliti seharusnya mempunyai prosedur pengerjaan yang sistematis agar pekerjaan yang dilakukan berjalan dengan baik dan tidak terjadi kesalahan, berikut adalah prosedur kerja dalam penelitian ini :

3.5.1. Persiapan Spesimen

Pada penelitian ini, penguji menggunakan 2 buah plat ST-41 dengan ukuran 15mm x 20mm x 8mm dan menghasilkan 12 spesimen yang akan dibagi menjadi 2 kelompok. Kelompok tersebut yaitu 6 untuk hasil pengelasan dengan media pendingin oli dan 6 spesimen lagi untuk hasil pengelasan dengan media pendingin udara.

Setelah mengelompok spesimen menurut media pendinginnya, spesimen tersebut dibagi kembali menjadi 4 kelompok, yaitu :

1. 3 spesimen untuk uji statik tarik hasil media pendingin oli
2. 3 spesimen untuk uji statik lentur hasil media pendingin oli
3. 3 spesimen untuk uji statik tarik hasil media pendingin udara
4. 3 spesimen untuk uji statik lentur hasil media pendingin udara

Berikut langkah-langkah pengerjaan pembuatan spesimen kerja sebagai berikut :

1. Siapkan bahan ST-41
2. Potong menjadi 2 bagian dengan menggunakan gerinda potong
3. Rapikan setiap ujung spesimen menggunakan gerinda tangan agar lebih rapi dan buat kampuh las *V groove* menggunakan gerinda tangan tersebut
4. Kemiringan kampuh *V groove* 30 derajat
5. Las menggunakan las busur listrik (SMAW) pada kampuh *V groove* tersebut

6. Rendam spesimen hasil las tadi dengan cairan Oli SAE10W-40 sebagai media pendingin nya
7. Setelah 10 menit angkat spesimen hasil las kemudian bersihkan
8. Pukul menggunakan palu hasil las agar kulit dari lapisan elektroda terlepas
9. Bersihkan hasil las dengan menggunakan sikat baja.
10. Potong menggunakan gerinda potong menjadi 6 bagian spesimen, 4 untuk uji tarik dan 2 lagi untuk uji lentur
11. Rapikan ujung ujung spesimen bekas potongan menggunakan gerinda tangan.

3.5.2. Prosedur Pengujian

Berikut adalah langkah-langkah dalam melaksanakan Pengujian Statis Tarik dan Pengujian Statik Lentur :

a. Pengujian Statik Tarik

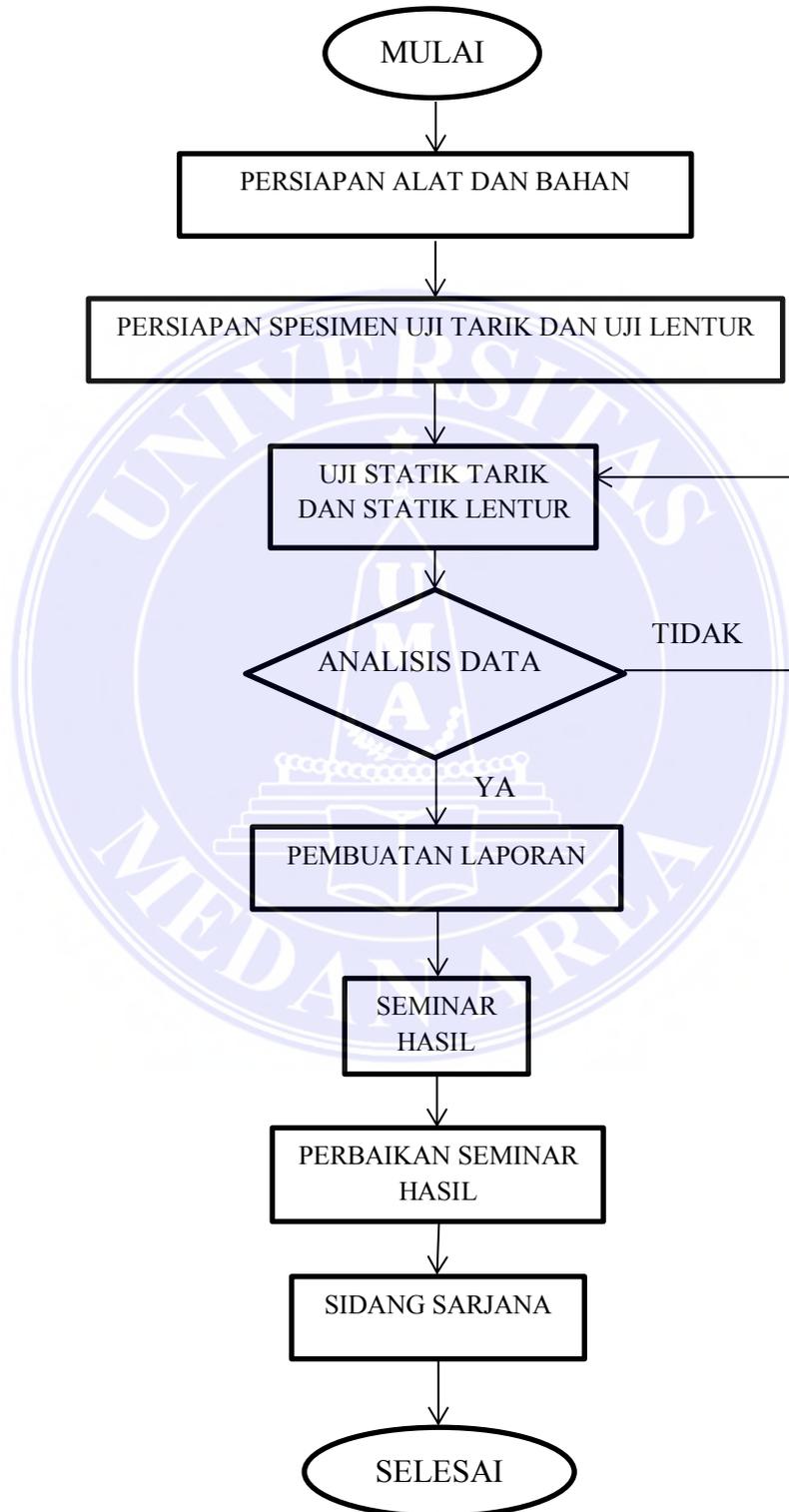
1. Mengukur benda uji dengan ukuran standar pengujian ASTM E8
2. Mengukur panjang awal (L_0) atau gage length dan menghitung luas penampang irisan benda uji.
3. Memasang benda uji pada pegangan (grip) atas dan pegangan bawah pada mesin uji tarik.
4. Nyalakan mesin uji tarik dan lakukan pembebanan tarik sampai benda uji putus.
5. Mencatat beban luluh dan beban putus yang terdapat pada skala.
6. Melepaskan benda uji pada pegangan atas dan bawah, kemudian satukan keduanya seperti semula.

7. Menghitung panjang regangan yang terjadi
- b. Pengujian Statik Lentur
1. Ambil spesimen, gerinda pada permukaan yang akan diamati pada daerah weld metal, HAZ, dan sedikit base metal. Panjang luasan yang digerinda sekitar 50 mm
 2. Gerinda sudut-sudut spesimen sepanjang luasan di atas sehingga menentukan radius
 3. Dalam menggerinda pertama kali gerinda dengan batu gerinda kasar terlebih dahulu, setelah rata baru gerinda dengan batu gerinda yang halus
 4. Ulangi langkah diatas untuk seluruh spesimen
 5. Ambil spidol dan tandai tiap spesimen dengan kode sebagai berikut :
F untuk spesimen face bend
R untuk spesimen root bend
 6. Ambil spesimen ukur dimensinya
 7. Catat kode spesimen dan data pengukurannya pada lembar kerja
 8. Ulangi langkah untuk seluruh spesimen
 9. Tentukan diameter mandrel
 10. Catat data mesin pada lembar kerja
 11. Ambil spesimen dan letakkan pada tempatnya secara tepat
 12. Amati permukaannya sampai terdapat patahan.
 13. Bila terdapat cacat, ukur dan catat pada lembar kerja bentuk, dimensi, tempat dan jenis cacat.
 14. Ulangi langkah untuk seluruh spesimen.

3.6. Diagram Alir

Diagram alir prosedur Analisa Karakteristik Sambungan Las Baja ST-41

Dengan Media Pendingin Oli SAE 10W-40 diperlihatkan pada gambar 3.17



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dan perhitungan terhadap data hasil pengujian statik tarik dan pengujian statik lentur mengenai hasil sambungan las baja ST-41 dengan media pending oli dan udara didapat disimpulkan diantaranya :

1. Hasil rata-rata dengan media pendingin oli yang didapat pada pengujian statik tarik yaitu tegangan tarik 296.378 MPa dan regangan tarik sebesar 12.93 %. Sedangkan pada pengujian statik lentur didapat nilai rata-rata yaitu tegangan lentur -1307.56 MPa dan regangan lentur sebesar -0.653 %.
2. Hasil rata-rata dengan media pendingin udara yang didapat pada pengujian statik tarik yaitu tegangan tarik 326.888 MPa dan regangan tarik sebesar 29.86 %. Sedangkan pada pengujian statik lentur didapat nilai rata-rata yaitu tegangan lentur -1549.701 MPa dan regangan lentur sebesar -0.774 %.

5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian dan menyimpulkan hasil penelitian maka disarankan :

1. Untuk lebih menyempurnakan penelitian ini diperlukan dengan meneliti sifat fisiknya yaitu dengan mengamati struktur mikro dari spesimen uji.
2. Perlu dilakukan meneliti terhadap ketahanan dan laju korosinya.
3. Sebaiknya menggunakan alat uji tarik dan uji lentur yang sudah terkomputerisasi.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai media pendingin air sebagai pembanding sebagaimana sering dilakukan oleh tukang las.



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/30/19

Access From (repository.uma.ac.id)

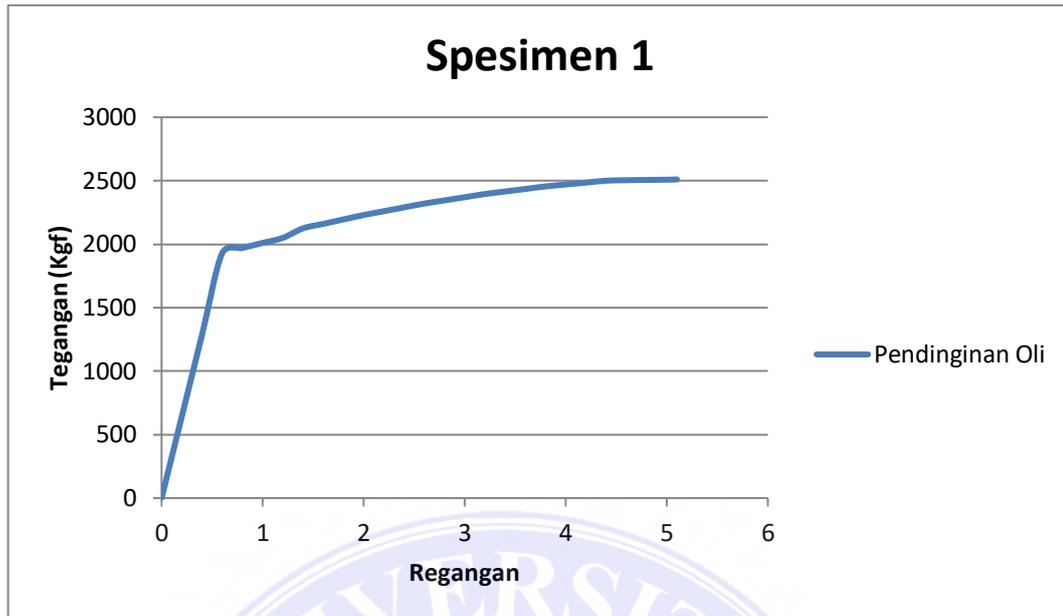
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widharto, S, Petunjuk Kerja Las, Jakarta : Pradaya Paramita, 2003.
- [2] Widyosumarto, H, Prof. Dr. Ir. Okumura Toshie, Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta : Pt. Pradaya Paramita, 2004
- [3] Badan Pengembang dan Pembinaan Bahasa, Kamus Besar Bahasa Indonesia, Jakarta : Balai Pustaka, 2016.
- [4] Widyosumarto, Harsono, Okumura Toshie Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta : Pt. Pradaya Paramita, 1994.
- [5] Arifin, S, Las Listrik dan Otogen, Jakarta : Ghalia Indonesia, 1997.
- [6] Siswanto, Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik), Jakarta : Pt. Prestasi Pustakarya, 2001.
- [7] Amanto, H, Daryanto, Ilmu Bahan, Jakarta : Bumi Aksara, 1999.
- [8] Arikunto, Suharsimi, Metodologi Penelitian, Jakarta : Pt. Rineka Cipta, 2002.

LAMPIRAN I.

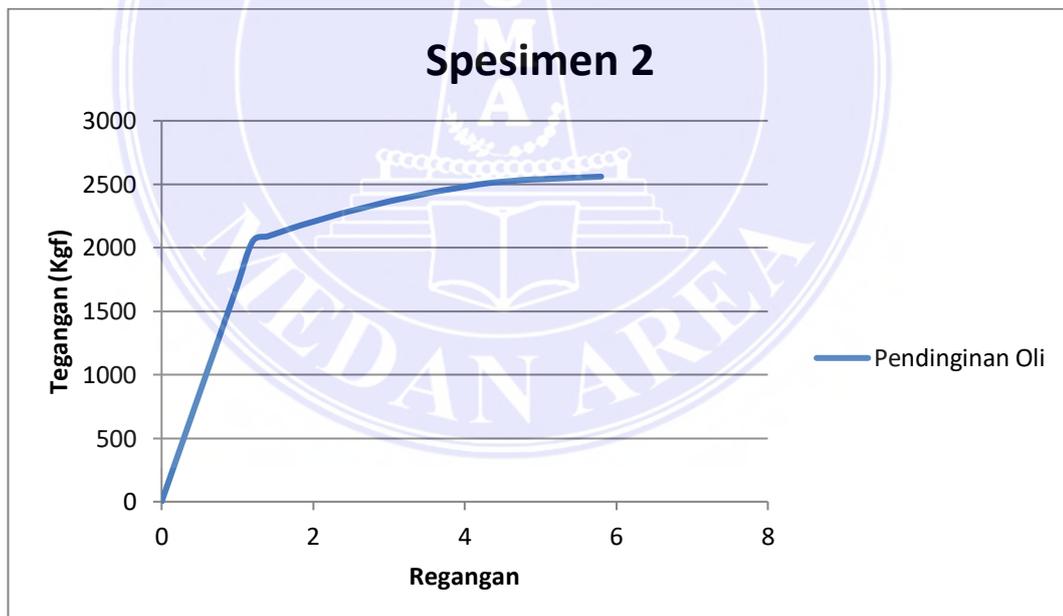
Berikut grafik hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin oli dan media pendingin udara setiap spesimen :

1. Spesimen 1 media pendingin oli



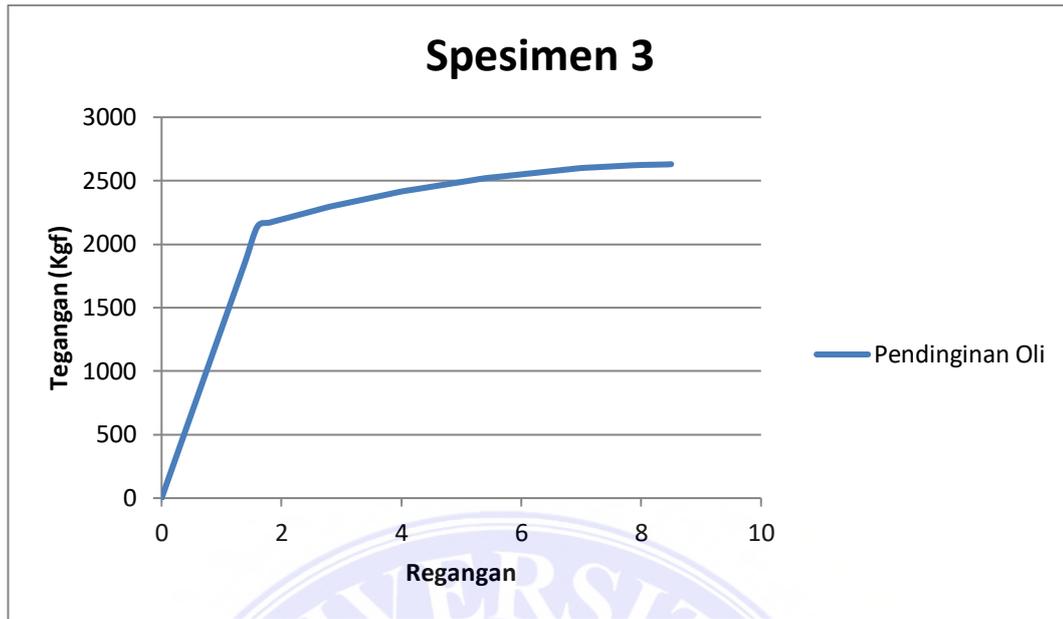
Pada spesimen 1 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 1930 kgf dan titik tarik maksimum 2510 kgf.

2. Spesimen 2 media pendingin oli



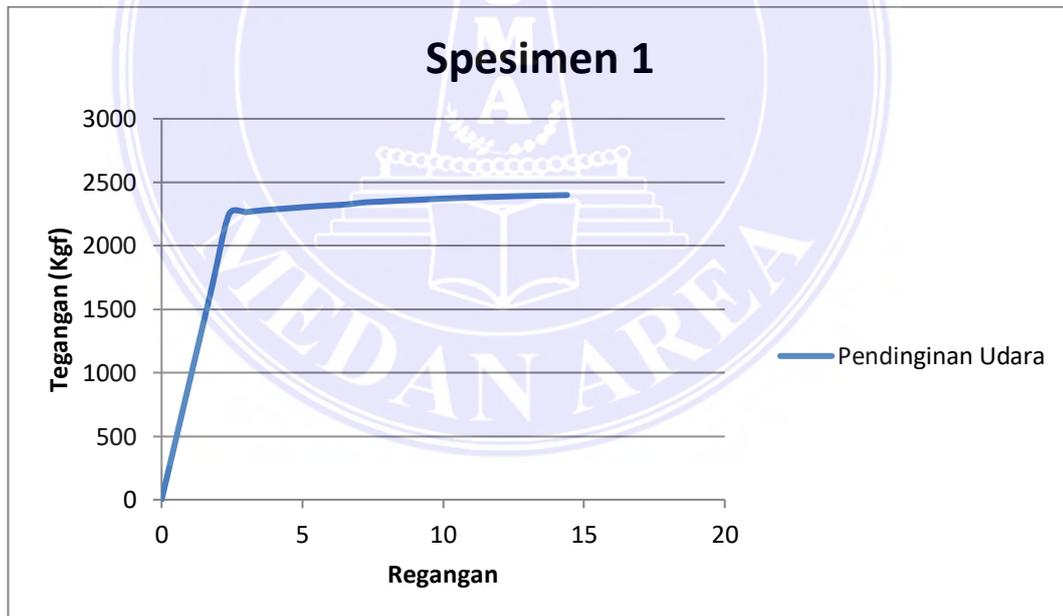
Pada spesimen 2 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 2050 kgf dan titik tarik maksimum 2560 kgf.

3. Spesimen 3 media pendingin oli



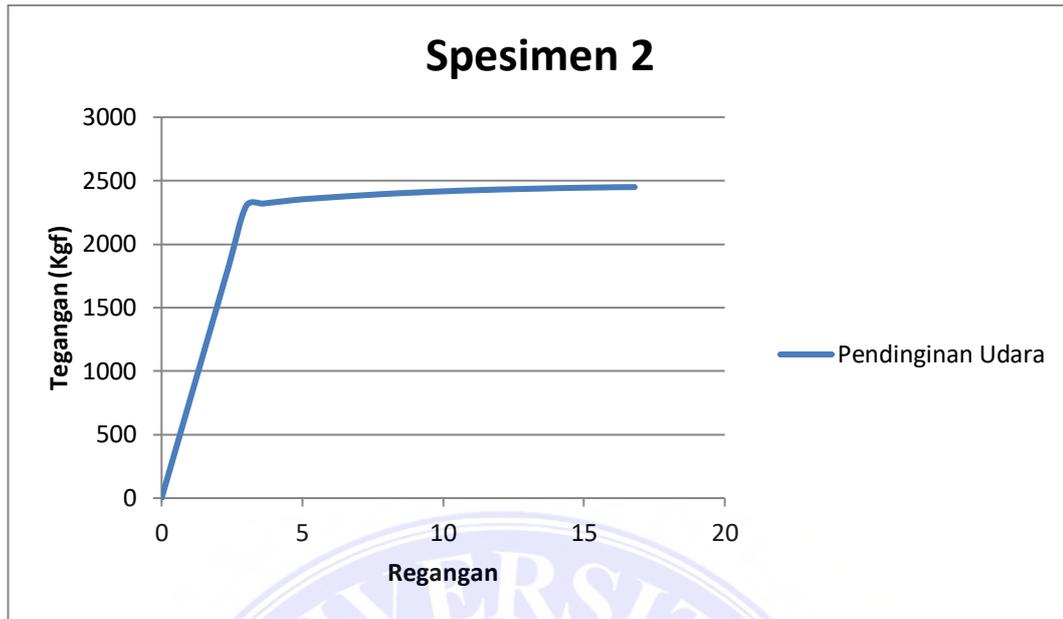
Pada spesimen 3 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 2140 kgf dan titik tarik maksimum 2630 kgf.

4. Spesimen 1 media pendingin udara



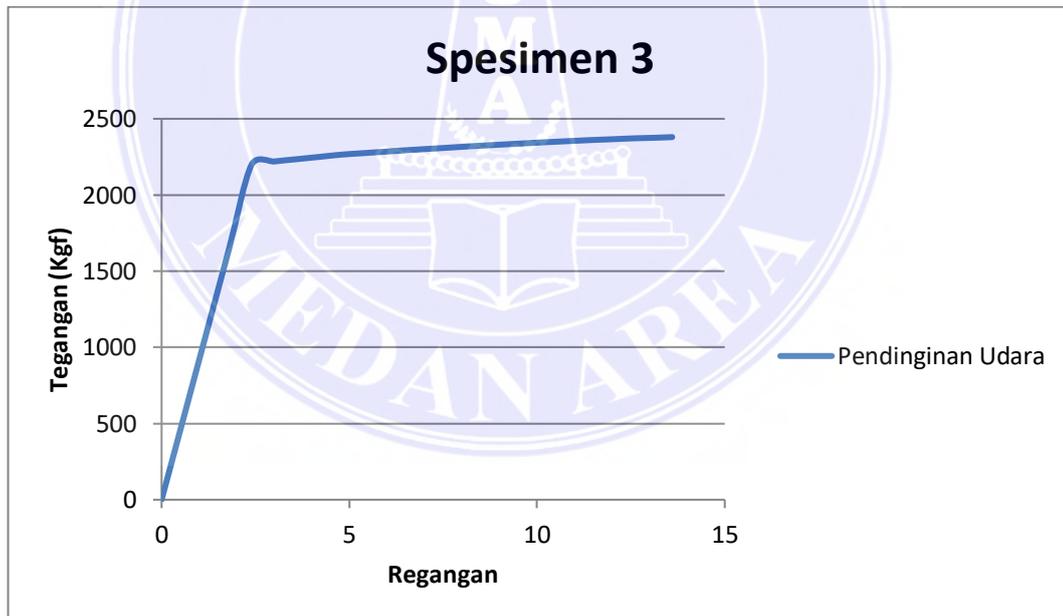
Pada spesimen 1 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 2250 kgf dan titik tarik maksimum 2400 kgf.

5. Spesimen 2 media pendingin udara.



Pada spesimen 2 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 2300 kgf dan titik tarik maksimum 2450 kgf.

6. Spesimen 3 media pendingin udara.

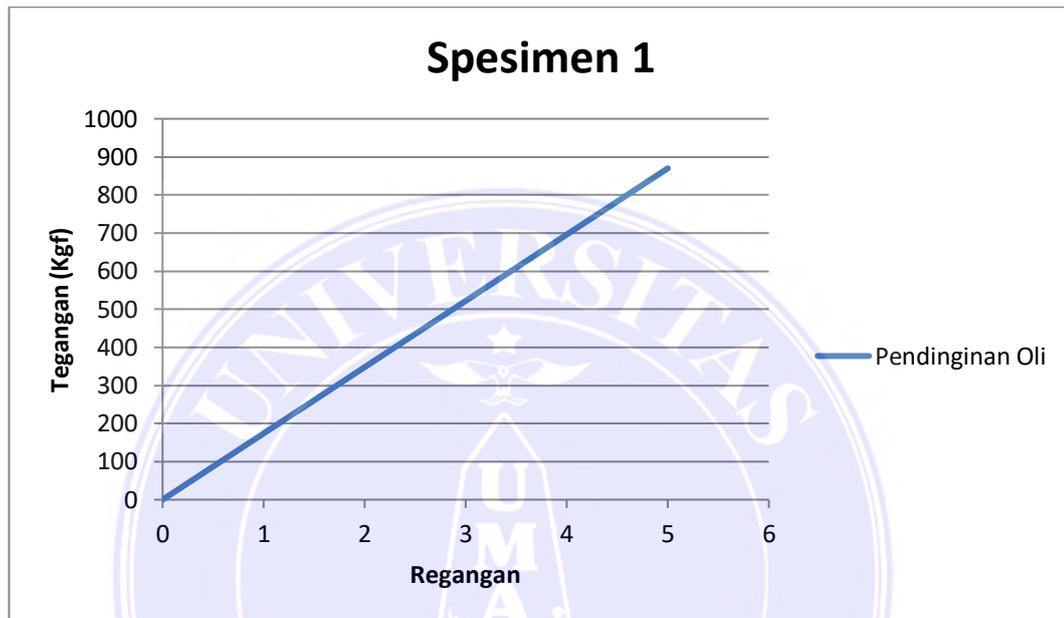


Pada spesimen 3 hasil pengujian statik tarik dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 2200 kgf dan titik tarik maksimum 2380 kgf.

LAMPIRAN II.

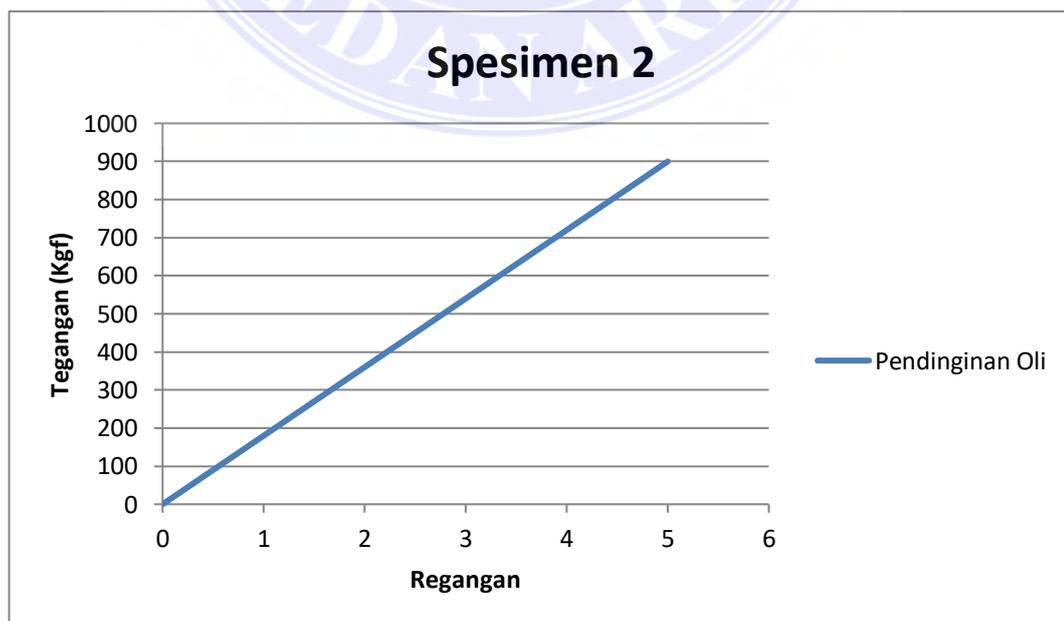
Berikut grafik hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin oli dan media pendingin udara setiap spesimen :

1. Spesimen 1 media pendingin oli.



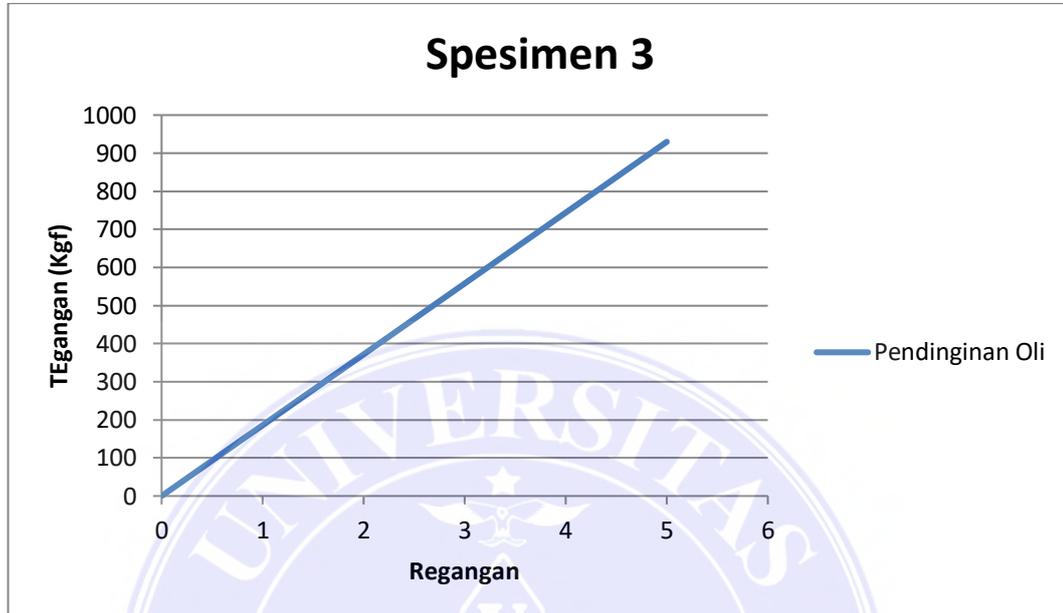
Pada spesimen 1 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 870 kgf.

2. Spesimen 2 media pendingin oli.



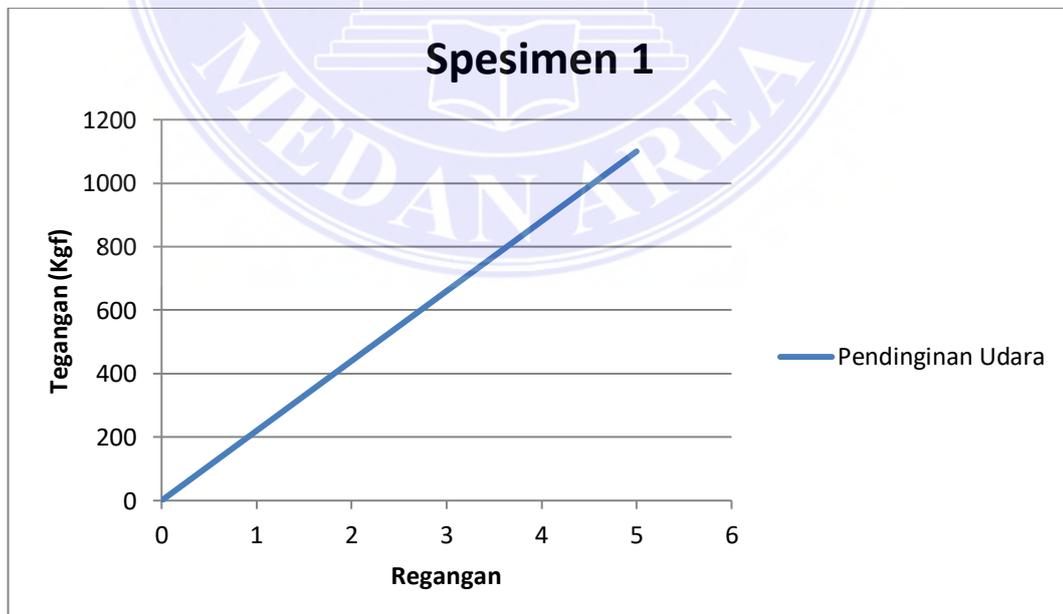
Pada spesimen 2 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 900 kgf.

3. Spesimen 3 media pendingin oli.



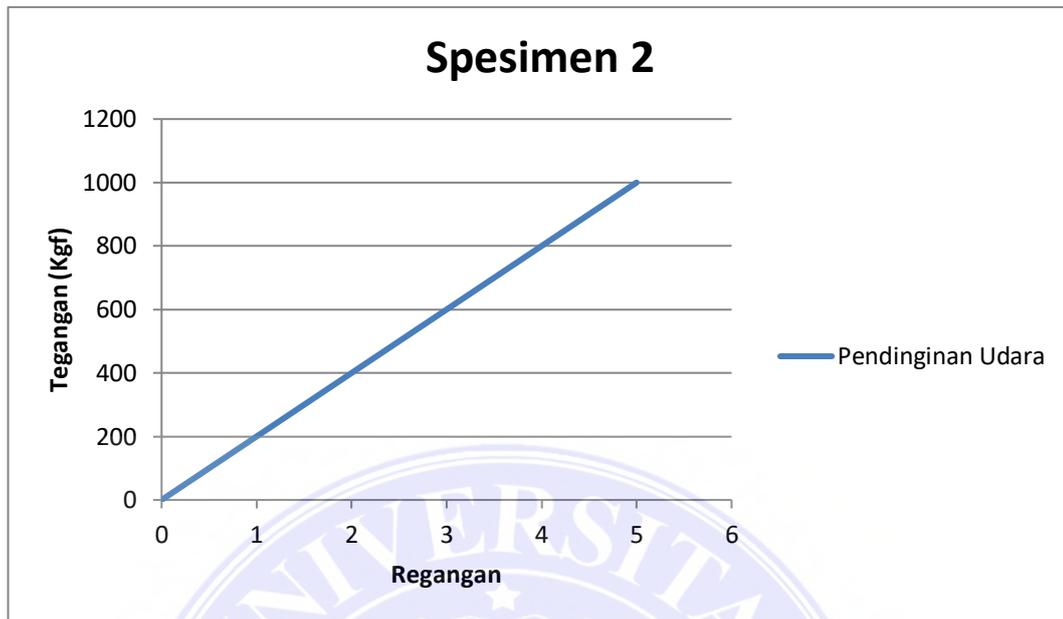
Pada spesimen 3 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin oli, didapatkan nilai titik luluh 930 kgf.

4. Spesimen 1 media pendingin udara.



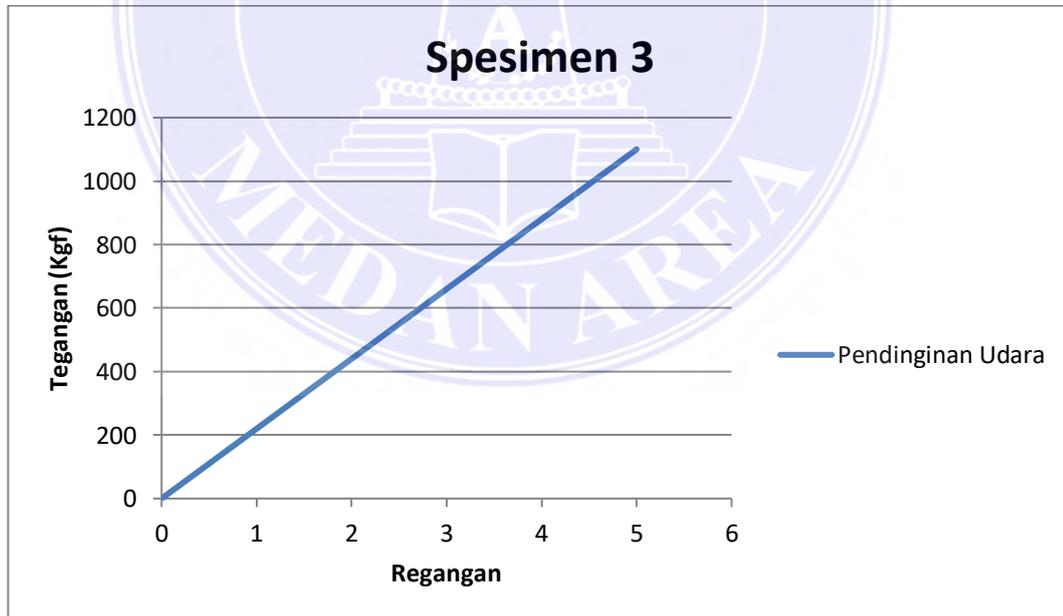
Pada spesimen 1 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 1100 kgf.

5. Spesimen 2 media pendingin udara.



Pada spesimen 2 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 1000 kgf.

6. Spesimen 3 media pendingin udara.



Pada spesimen 3 hasil pengujian statik lentur dengan media pendingin udara, didapatkan nilai titik luluh 1100 kgf.

LAMPIRAN III.

Foto-foto Penelitian



Spesimen dibagi menjadi 2 bagian sama besar menggunakan gerinda potong.



Setelah dibagi menjadi 2 bagian, buat kampuh v groove.



Pasca pengelasan langsung dicelupkan ke media pendingin Oli SAE 10W-40 dan satu spesimen lagi di dinginkan di udara terbuka.



Bagi spesimen menjadi 2 bagian : A. Uji Statik Tarik, B. Uji Statik Lentur.



Pengujian statik tarik dengan standar pengujian ASTM E8.



Pengujian statik lentur dengan metode *three point bending*.



Catat Hasil yang didapat.