UJI EKSPERIMENTAL PROSES *ANNEALING* PADA HASIL PENGELASAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN BAJA KARBON RENDAH

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin

Oleh:

TRIO FAZLI ANANDA

14067070 / 2014

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2018

UJI EKSPERIMENTAL PROSES *ANNEALING* PADA HASIL PENGELASAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN BAJA KARBON RENDAH

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin

Oleh:

TRIO FAZLI ANANDA

14067070 / 2014

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2018

UJI EKSPERIMENTAL PROSES *ANNEALING* PADA HASIL PENGELASAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN BAJA KARBON RENDAH

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan Teknik Mesin

Oleh:

TRIO FAZLI ANANDA

14067070 / 2014

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2018

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

UJI EKSPERIMENTAL PROSES *ANNEALING* PADA HASIL PENGELASAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN BAJA KARBON RENDAH

Nama	**: TRIO FAZLI ANANDA**
NIM/BP	**: 14067070/2014**
Program Studi	**: Pendidikan Teknik Mesin**
Jurusan	**: Teknik Mesin**
Fakultas	**: Teknik**

Padang, September 2018

Disetujui Oleh :

Pembimbing I	**Pembimbing II**
Drs. Syahrul, M.Si.	**Drs. Nelvi Erizon, M.Pd.**
NIP. 19610829 198703 1 003	**NIP. 19620208 198903 1 002**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP

Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.
NIP. 19690920 199802 1 001

HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Judul	**: Uji Eksperimental Proses *Annealing* pada Hasil Pengelasan SMAW terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah**
Nama	**: Trio Fazli Ananda**
NIM/BP	**: 14067070/2014**
Program Studi	**: Pendidikan Teknik Mesin**
Jurusan	**: Teknik Mesin**
Fakultas	**: Teknik**

Padang, September 2018

Tim Penguji

Nama		**Tanda Tangan**
1. Ketua	**: Drs. Syahrul, M.Si.**	**1.**
2. Sekretaris	**: Drs. Nelvi Erizon, M.Pd.**	**2.**
3. Anggota	**: Dr. Waskito, M.T.**	**3.**
	Drs. Jasman, M.Kes.	**4.**
	Ir. Zonny Amanda Putra, S.T., M.T.	**5.**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, September 2018

Yang Menyatakan

Trio Fazli Ananda
14067070 / 2014

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil alamin ku panjatkan kehadiran allah subhanawata'ala semesta alam yang maha pencipta atas segala karuniaNya sehingga ananda selalu sehat, semangat menyelesaikan skripsi ini.
Sholawat serta salam tak lupa aku haturkan kepada Rasulullah shallallahu'alaihi wassalam, manusia terbaik yang selalu menjadi sumber inspirasi ku untuk selalu menjadi lebih baik disegala aspek kehidupan didunia ini

Segenap kasih dan cintaku Skripsi ini ini spesial ku persembahkan untuk kedua Orang Tua ku, untuk Ayah dan Ibu yang sejak ananda dilahirkan selalu memberikan yang terbaik kepada ananda walau dalam keadaan apapun. Ananda ucapkan beribu terima kasih dari hati yang tulus atas segala usaha dan jerih payah pengorbanan Ayah dan ibu untuk anak mu selama ini.
Besar harapan Ananda untuk dapat menjadi anak yang berbakti dan membanggakan. Ananda bersyukur mempunyai Orang Tua hebat dan luar biasa seperti Ayah dan Ibu.

Tersayang dan kucintai, adik ku Terima Kasih atas dukungan, doa dan semangat yang telah kalian berikan selama ini. Untuk adik ku, Rezka Meysa Putri, Hartika Srinita, Vidola Martila, Zifana Oktavioni, jangan mudah menyerah dalam berjuang, semangat selalu dan jangan melawan kalau lagi dibilangin, jadilah adek yang baik, doaku dan semangat ku untuk kalian juga. Mari kita bersama-sama berjuang untuk membahagiakan orang tua tercinta.

Untuk yang ku hormati para Dosen Jurusan Teknik Mesin FT-UNP Dosen pembimbing skripsi ku Bapak Drs. Syahrul, M.Si. dan Bapak Drs. Nelvi Erizon M.Pd. Terimakasih atas semua saran dan masukan selama ini sehingga ananda bisa menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat lulus guna memperoleh gelar sarjana pendidikan . Terimakasih banyak untuk Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Dr. Ir. Arwizet K, ST., M.T. dan Sekretaris Jurusan Bapak Drs. Syahrul, M.Si. Bapak Ibu Dosen Teknik Mesin lainnya serta teknisi yang telah memberikan ilmu dan bantuannya yang kami butuhkan selama ini.

Terima kasih banyak untuk dedikasinya yang sedemikian besar telah kalian berikan kepada kami, bagi kampus terutama dalam dunia pendidikan.
Semoga semangat pengabdian kalian akan terus meyala terang dan tak akan redup selamanya hingga akhir hayat.

Tak lupa sahabat seperjuangan Teknik Mesin 2014.
Terutama buat Cimees Squat (Riko Fernando, Itot Reichan Oktafialdi, Oktan Beno, Yoga Amanda Putra, Arif Alpewari, Febrian, Yogi Perwana, Firman Hidayat)
Tak terasa masa-masa ngampus sudah terlewati, setiap perjumpaan pasti ada perpisahan tapi semua kenangan pasti kekal.

Ku ucapkan banyak terima kasih sahabat, yang sudah bantu menyelesaikan skripsi ini, menghilangkan stress sama-sama, semua itu tak akan ku lupakan. Jika tanpa kalian pasti tidak ada yang akan dikenang untuk diceritakan pada masa depan kelak. Senang mengenal kalian. Maaf beribu maaf jika ada tindakan dan perkataan ku yang menyinggung kalian.
Sahabat terbaik takkan mati dan hilang
semoga kita menjadi orang yang sukses dimasa yang akan datang.
Aminn

"Sukses bukan yang berfikir untuk hari esok tapi yang berkerja dihari ini"

Padang, September 2018

Trio Fazli Ananda

BIODATA PENULIS

Nama	: Trio Fazli Ananda
TTL	: Muaro Paiti, 25 Januari 1996
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Status Perkawinan	: Belum Kawin
Pendidikan Terakhir	: S-1 Pendidikan Teknik Mesin
No HP	: 0822 8830 7300
Email	: triofazli25@gmail.com
Alamat	: Jorong Talawi, Kenagarian Muaro Paiti, Kecamatan Kapur IX, Kab. Lima Puluh kota.

RIWAYAT PENDIDIKAN

2002-2008	SD N 02 Muaro Paiti.
2008-2011	SMP N 1 Kecamatan Kapur IX.
2011-2014	SMA N 1 Kecamatan Kapur IX.
2014-2018	Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang (FT-UNP)

ABSTRAK

Trio Fazli Ananda : Uji Eksperimental Proses *Annealing* pada Hasil Pengelasan SMAW terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah

Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan terjadinya tegangan sisa pada hasil daerah las. Untuk menghilangkan tegangan sisa tersebut perlu diberi suatu perlakuan panas melalui proses *annealing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses *annealing* pada hasil pengelasan SMAW terhadap ketangguhan baja karbon rendah. Jenis Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen. Pengelasan menggunakan jenis las SMAW. Objek penelitian yang diteliti adalah baja karbon rendah ukuran 56 mm x 10 mm x 10 mm.

Dengan roses *annealing* pada variasi suhu 600^0C, 650^0C, 700^0C dengan waktu penahanan 30 menit yang dipanaskan dalam *furnace* dan didinginkan di luar ruangan. Hasil pengujian *impact* menunjukan bahwa terjadinya peningkatan harga *impact* pada baja karbon rendah hasil pengelasan setelah dilakukan proses *annealing.* Spesimen baja karbon rendah *raw material* memiliki rata-rata harga *impact* **1,58 x 10^6 N/m**. Spesimen baja karbon rendah tanpa proses *annealing* memiliki rata-rata harga *impact* **0,99 x 10^6 N/m**. Spesimen baja karbon rendah dengan suhu *annealing* 600^0 C memiliki rata-rata harga *impact* **1,16 x 10^6 N/m.** Spesimen baja karbon rendah dengan suhu *annealing* 650^0 C memiliki rata-rata harga *impact* **1,42 x 10^6 N/m**. Spesimen baja karbon rendah dengan suhu *annealing* 700^0 C memiliki rata-rata harga *impact* **1,56 x 10^6 N/m.** Berdasarkan data pengujian yang dilakukan diperoleh gambaran bahwa suhu *annealing* 700^0 C dapat mengembalikan tingkat ketangguhan baja hasil pengelasan menyerupai ketangguhan baja *raw material.*

Kata Kunci : Eksperimental, *Annealing,* Hasil Pengelasan SMAW, Ketangguhan, Baja karbon rendah.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanawata'ala, atas berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Shalawat beserta salam tercurahkan pada junjungan kita yakni nabi besar Muhammad SAW.

Penulisan laporan skripsi yang berjudul "**Uji Eksperimental Proses *Annealing* pada Hasil Pengelasan SMAW terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah"** ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang**.**

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Drs. Syahrul, M.Si. selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak membimbing dan mengarahkan dalam pembuatan proposal penelitian ini.
2. Bapak Drs. Nelvi Erizon, M.Pd. selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak membimbing dan mengarahkan dalam pembuatan proposal penelitian ini.
3. Bapak Dr. Waskito, M.T. selaku dewan penguji 1.
4. Bapak Drs. Jasman, M.Kes. selaku dewan penguji 2.
5. Bapak Ir. Zonny Amanda Putra, S.T.,M.T. selaku dewan penguji 3.

6. Bapak Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FT UNP.
7. Bapak/Ibuk staf pengajar dan administrasi kepegawaian Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
8. Teristimewa untuk Orang Tua serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberi dukungan dalam menyelesaikan proposal penelitian ini.
9. Seluruh rekan seperjuangan mahasiswa Teknik Mesin UNP tahun 2014.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan skripsi ini masih kurang dari sempurna, sehingga perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis akan menerima dengan senang hati saran dan kritikan yang sifatnya membangun terhadap penelitian ini. Penulis berharap semoga laporan skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Padang, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN……..... **ii**
PERSETUJUAN SKRIPSI…… **iii**
SURAT PERNYATAAN……... **iv**
HALAMAN PERSEMBAHAN..... **v**
BIODATA PENULIS..... **vii**
ABSTRAK……..... **viii**
KATA PENGANTAR……... **ix**
DAFTAR ISI…….. **xii**
DAFTAR TABEL……..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR…….. **xiv**
DAFTAR LAMPIRAN…….. **xv**

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah..... 1
B. Identifikasi Masalah..... 4
C. Batasan Masalah..... 5
D. Rumusan Masalah..... 5
E. Tujuan Penelitian..... 5
F. Manfaat Penelitian..... 6

BAB II. LANDASAN TEORI

A. Baja Karbon..... 7
B. Perlakuan Panas (*Heat treatment)*..... 13
C. Pengelasan..... 20
D. Siklus Termal..... 27
E. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Las..... 29
F. Pengujian Material..... 31
G. Penelitian Relevan..... 39

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian..... 40
B. Waktu dan Tempat..... 40
C. Objek Penelitian..... 40
D. Jenis dan Sumber Data..... 41
E. Instrumen Pengumpulan Data..... 42
F. Alat dan Bahan..... 43
G. Prosedur Penelitian..... 44
H. Teknik Analisis Data..... 50

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian..... 51
B. Analisa Data Pengujian *Impact*..... 53
C. Pembahasan hasil pengujian kekerasan..... 57

BAB V. PENUTUP

A. Kesimpulan..... 60
B. Saran..... 60

DAFTAR PUSTAKA..... 62

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Klarifikasi Baja Karbon.....……..... 10
Tabel 2. Komposisi Baja ST 42.……..... 11
Tabel 3. Cara Pengurangan atau Pembebasan Tegangan Sisa…….. 18
Tabel 4. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak…….. 24
Tabel 5. Tabel Daerah Jangkauan Arus.....……..... 26
Tabel 6. Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur..... 28
Tabel 7 . Contoh Tabel Hasil Pengujian Kekerasan……..... 43
Tabel 8 . Tabel Hasil Pengujian Kekerasan……..... 51

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah.…..……..... 11

Gambar 2. Struktur Mikro Baja Karbon Sedang.……..... 12

Gambar 3. Struktur Mikro Baja Karbon Tinggi.……..... 13

Gambar 4. Suhu *Annealing* Baja…….... 19

Gambar 5. Kampu V Tunggal……..... 21

Gambar 6. Las Busur……..... 22

Gambar 7. Setting untuk Pengelasan……..... 27

Gambar 8. Siklus Termal Las pada beberapa jarak dari Batas Las..... 28

Gambar 9. Daerah Logam Las..... 29

Gambar 10. Struktur Mikro Perlit..... 30

Gambar 11. Struktur Mikro Ferit + Perlit..... 30

Gambar 12. Struktur Mikro Martensit..... 29

Gambar 13. *Impact test spesimen*……..... 33

Gambar 14. Alat Uji *Impact Charpy*……..... 34

Gambar 15. Uji *Impact* Metode *Charpy*……..... 34

Gambar 16. Alat Uji *Impact Izod*……..... 35

Gambar 17. Uji *Impact* Metode Izod……..... 35

Gambar 18. Ilustrasi Skematis Pengujian *Impact Charpy*……..... 36

Gambar 19. Spesimen Penelitian……..... 41

Gambar 20. Spesimen Uji *Impac*t……..... 41

Gambar 21. Spesimen yang Dilas.....…….... 45

Gambar 22. Oven *Heat treatment*..... 47

Gambar 23. Prosedur Penelitian..... 49

Gambar 24. Grafik Hubungan Harga *Impact* dengan Temperatur..... 52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran **Halaman**

1. Sertifikat Welder..... 64
2. Analisa Uji *Impact*..... 65
3. Dokumentasi Penelitian..... 83

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat pada saat ini menciptakan era globalisasi dan keterbukaan yang mempunyai peranan penting dalam kemajuan suatu bangsa. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut menuntut setiap individu yang berada didalamnya untuk ikut serta agar perkembangan teknologi tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal dan mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan.

Salah satu perkembangan teknologi yang berkembang pada saat ini adalah bidang kontruksi. Perkembangan teknologi tersebut tidak terlepas dari komponen-komponen yang terbuat dari logam. Logam adalah salah satu material yang paling banyak digunakan dalam bidang kontruksi manapun. Diantara logam yang paling banyak digunakan adalah baja.

Baja adalah material yang digunakan dalam dunia industri baik yang terdapat di mesin-mesin yang dipakai maupun yang terdapat pada benda-benda yang di produksi. Karena memiliki sifat ulet, mudah dibentuk, kuat maupun mampu keras. Selain itu baja dengan unsur utama besi dan karbon serta material bawaan lainnya, bisa dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti dan sebagainya untuk mendapatkan sifat mekanik seperti yang diinginkan. Baja karbon terdiri dari baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Selain itu didalam bidang kontruksi, pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri, karena mempunyai peranan yang sangat penting dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir pada setiap pembangunan suatu kontruksi dengan logam melibatkan unsur pengelasan.

Metode pengelasan juga mengalami kemajuan yang didorong oleh peningkatan ilmu pengetahuan dan teknologi . Pengelasan (*welding*) adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, ini meyebabkan logam pada sekitar daerah las mengalami perubahan struktur matalurgi, deformasi dan tegangan termal. Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:1) "Berdasarkan definisi dari *deutche industrie normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair".

Salah satu pengelasan yang sering digunakan dalam dunia pengelasan adalah proses SMAW (*shielded metal arc welding)* atau pengelasan busur listrik elektroda terbungkus. Logam induk mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus oleh pelindung berupa flux. Selama pengelasan, elektroda akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk yang menjadi kampuh las.

Baja dengan pengelasan SMAW sangat luas penggunaanya karena lebih praktis dan mudah mengoperasikannya, pengelasan SMAW dapat digunakan

untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efesien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusut saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan pada daerah las. Tegangan-tegangan ini terjadi pada pelat yang dilas sampai temperatur kamar, tegangan ini disebut tegangan sisa. Tegangan sisa akibat pengelasan dapat memunculkan retak las dan dapat membahayakan kontruksi yang dilas apabila menerima pembebanan. Akibat panas pengelasan akan menimbulkan perubahan struktur material yang dilas apalagi kalau didinginkan dengan cepat material las akan menjadi lebih keras dan getas. Oleh sebab itu untuk mendapatkan hasil pengelasan yang seperti diinginkan perlu diberi suatu perlakuan panas untuk menghilangkan tegangan sisa melalui proses *annealing.* Belum diketahui pada suhu berapa proses *annealing* dapat menghasilkan tingkat ketangguhan yang tinggi pada baja hasil pengelasan.

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008; 144) “untuk membebaskan tegangan sisa ada dua cara, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilaksanakan adalah cara termal dengan proses *anil* atau *annealing*. Proses *annealing* adalah proses perlakuan panas dimana material dipanaskan pada temperatur dan waktu tertentu lalu didinginkan secara perlahan. Pada proses *annealing* dilakukan variasi suhu untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan bahan pada penahanan waktu pemanasan yang sama”.

Annealing memiliki banyak fungsi selain menurunkan tegangan sisa, juga meningkatkan ketangguhan di daerah HAZ dan memperbaiki butir-butir kristal suatu material. Besar butir-butir kristal sangat mempengaruhi energi patah dan perambatan retak, makin halus butir-butir kristal maka makin rendah kegetasannya. Tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam memperbaiki keuletan dan ketangguhan baja. Dan untuk melihat keuletan dan ketangguhan yang terjadi pada material tersebut dilakukanlah proses uji *impact.*

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti tertarik melakukan penelitian ini untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi menggunakan proses *annealing,* kemudian dilakukan uji *impact* pada material tersebut. Dengan ini peneliti memberi judul **"Uji Eksperimental Proses *Annealing* pada Hasil Pengelasan SMAW terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah".**

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah yang ada yaitu sebagai berikut:

1. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan adanya tegangan sisa.
2. Tegangan sisa akibat proses pengelasan dapat memunculkan retak las dan dapat membahayakan kontruksi yang dilas apabila menerima pembebanan.

3. Akibat panas pengelasan akan menimbulkan perubahan struktur material yang dilas apalagi kalau didinginkan dengan cepat material las akan menjadi lebih keras dan getas.
4. Belum diketahui pada suhu berapa proses *annealing* dapat menghasilkan tingkat ketangguhan yang tinggi pada baja hasil pengelasan.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terfokus, maka peneliti membatasi masalah yang akan diteliti pada : **"Uji Eksperimental Proses *Annealing* pada Hasil Pengelasan SMAW terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah".**

D. Rumusan Masalah

Baja dengan pengelasan SMAW sangat luas penggunaanya karena lebih praktis dan mudah mengoperasikannya, pengelasan SMAW dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efesien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal ini menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang berbeda beda pada tiap tiap daerah kontruksi. Berdasarkan uraian di atas maka timbul permasalahan, yaitu : **"Bagaimana pengaruh proses *annealing* pada hasil pengelasan SMAW terhadap ketangguhan baja karbon rendah** "

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh proses *annealing* pada hasil pengelasan SMAW terhadap ketangguhan baja karbon rendah.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat, manfaatnya penelitian sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis
   a. Memberikan sumbangan positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu logam.
   b. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya pengelasan.
2. Pengembangan industri
   a. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia pengelasan logam, khususnya untuk logam baja karbon rendah, yang pada akhirnya dapat bermanfaat untuk kemajuan dunia industri dan teknologi.
   b. Sebagai informasi yang penting untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

BAB II
LANDASAN TEORI

A. Baja Karbon

Bahan logam merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam dunia industri maupun kontruksi pada saat sekarang ini, bahan logam merupakan bahan yang pada umumnya terdapat didalam bumi (tambang) dalam bentuk biji-biji berupa batuan atau mineral. Bahan logam yang banyak kita jumpai pada dunia industri maupun dilapangan adalah logam *ferro* atau logam besi. Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:2) "Logam *ferro* adalah logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi".

Besi merupakan logam yang penting dalam bidang teknik, tetapi besi murni terlalu lunak sebagai bahan kerja, kontruksi, permesinan atau pesawat. Oleh karena itu besi selalu bercampur dengan unsur lain, terutama unsur karbon . Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:89) "Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu".

Logam *ferro* juga disebut besi karbon atau baja karbon. Bahan dasarnya adalah unsur besi (Fe) dan karbon (C), tetapi sebenarnya juga mengandung unsur lain seperti : silisium, mangan, fosfot, belerang dan sebagainya yang kadarnya relatif rendah. Unsur- unsur dalam campuran

itulah yang mempengaruhi sifat-sifat besi atau baja pada umumnya. Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:23) unsur-unsur tersebut yaitu:

1. Unsur Fosfor (P)

   Unsur fosfor membentuk larutan besi fosfida. Fosfor dianggap sebagai unsur yang tidak murnidan jumlah kehadirannya di dalam baja dikontrol dengan tepat sehingga persentase maksimum unsur fosfor didalam baja sekitar 0,05 %.

2. Unsur sulfur (S)

   Unsur sulfur membahayakan larutan besi sulfida (besi belerang) yang mempunyai titik cair rendah dan rapuh. Besi sulfida terkumpul pada batas butir-butirnya yang membuat baja hanya didinginkan secara singkat (tidak sesuai dalam pengerjaan dingin), karena kerapuhannya. Hal itu juga membuat baja dipanaskan secara singkat (tidak sesuai untuk pengerjaan panas), karena menjadi cair pada temperatur pengerjaan panas dan juga menyebabkan baja menjadi retak-retak. Kandungan sulfur harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%.

3. Unsur silikon (Si)

   Silokon membuat baja tidak stabil, tetapi unsur ini tetap menghasilkan lapisan grafit (pemecah sementit yang menghasilkan grafit) dan menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Baja mengandung silikom sekitar 0,1 - 0,3%.

4. Unsur Mangan (Mn)

Unsur mangan yang bercampur dengan sulfur akan membentuk mangan sulfida dan diikuti dengan pembentukan besi sulfida, mangan sulfida tidak membahayakan baja dan mengimbangi sifat jelek dari sulfur, kandungan mangan harus dikontrol dan mengandung mangan lebih dari 1%.

Unsur tersebut mempengaruhi sifat-sifat dari logam tersebut seperti: sifat mekanis (kemampuan bahan atau kelakuan logam untuk menahan beban yang dikenakan kepadanya baik beban statis, dinamis, atau berubah-ubah pada berbagai keadaan), sifat mekanis dari logam tersebut berupa kekenyalan, kekuatan, keuletan, kekerasan, keliatan, kegetasan, ketahanan ausan, dan kekuatan tekan.

Sifat fisis (sifat suatu logam bagaimana keadaan logam itu apabila mengalami peristiwa fisika). Misalnya keadaan pada waktu terkena pengaruh panas dan pengaruh listrik. Sifat kimia (bagaimana kondisi bahan tersebut mampu menahan zat kimia yang dikenakan pada bahan tersebut). Misalnya apakah bahan itu larut atau terjadi reaksi apabila terkena suatu larutan. Sifat teknologis (merupakan kemampuan suatu bahan dalam proses pengerjaan secara teknis seperti kemampuan bahan untuk dilas, kemampuan untuk ditimpa, dikerjakan dengan mesin, dan kemampuan untuk dituang).

Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan kelas		Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (Kg/mm^2)	Kekuatan tarik (Kg/mm^2)	Perpanjangan (%)	Kekerasan brinell	penggunaan
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-21	32-36	40-43	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Kontruksi umum
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-34	50-56	30-17	140-170	Alat-alat mesin
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas rel, pegas dan kawat piano
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	

(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:90)

Menurut Bondan Tiara Sofyan (2010:52) “Baja adalah paduan unsur Fe dan C, dengan kandungan karbon kurang dari 2%”. Baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah kandungan karbonnya, baja karbon terdiri atas tiga macam yaitu: baja karbon rendah *(Low Carbon Steel)*, baja karbon sedang *(Medium Carbon Steel)*, dan karbon tinggi *(High Carbon Steel)*.

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

   Menurut Bondan Tiara Sofyan (2010:53) “kadar karbon baja ini kurang dari 0,25% serta struktur mikronya terdiri atas *ferit* dan *perlit*, sehingga bersifat lunak, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik”. Baja jenis ini banyak digunakan untuk kontruksi jembatan, bangunan, dan lainnya.

Gambar 1. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah
(Sumber: http://ardra.biz/wp-content/uploads/2012/04/StrukturMikro-Baja-Karbon-Rendah-Sedang-dan-Tinggi.jpg)

Baja ST 42 merupakan golongan baja karbon rendah karena di dalam baja ST 42 terdapat kandungan karbon < 0,20 %. Pengkodean ST 42 sendiri merupakan pengkodean untuk mempermudah dalam pemilihan baja. Arti pengkodean tersebut adalah:

ST : *Steel*

42 : Kekuatan tarik 42 kg/mm^2

Tabel 2. Komposisi Baja ST 42

C	Si	Mn	P	S
< 0,20 %	< 0,40 %	< 1,35 %	< 0,04 %	< 0,05 %

(Sumber: Anang Subardi 2012: 03)

Dibandingkan baja karbon lainnya baja karbon rendah paling banyak diproduksi dengan bentuk lembaran, plat, profil dan batangan. Baja karbon rendah mendapat prioritas utama untuk dipertimbangkan karena baja karbon rendah mudah diperoleh, mudah dibentuk atau sifat permesinannya baik dan harganya relatif murah. Karena baja karbon rendah mendapatkan prioritas utama maka dituntut untuk

memperbaiki sifatnya setelah dilakukan proses pengelasan dengan menggunakan proses *annealing*.

2. Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Menurut Bondan Tiara Sofyan (2010:53) "Baja karbon sedang mengandung karbon sebesar 0,25 sampai 0,60%". Baja jenis ini lebih kuat dibandingkan baja karbon rendah. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, batang torak, rantai, pegas, rel kereta api dan lain-lain.

Gambar 2. Struktur Mikro Baja Karbon Sedang
(Sumber : http://ardra.biz/wp-content/uploads/2012/04/StrukturMikro-Baja-Karbon-Rendah-Sedang-dan-Tinggi.jpg)

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Menurut Bondan Tiara Sofyan (2010:54) "Baja karbon tinggi mengandung karbon sebesar 0,60 sampai 1,40%. Baja karbon tinggi ini banyak dipergunakan untuk keperluan pembuatan pegas-pegas, alat-alat perkakas, palu, dan gergaji.

Gambar 3. Struktur Mikro Baja Karbon Tinggi
(Sumber : http://ardra.biz/wp-content/uploads/2012/04/StrukturMikro-Baja-Karbon-Rendah-Sedang-dan-Tinggi.jpg)

B. Perlakuan Panas *Heat Treatment*

1. Pengertian *Heat Treatment*

Proses perlakuan Panas (*heat treatment*) pada bahan bukan hanya proses memanaskan suatu komponen tetapi juga dilanjutkan dengan proses pendinginan yang terkontrol sehingga didapatkan sifat-sifat tertentu pada baja/logam tersebut. Salah satu perlakuan panas dipakai disini adalah proses *annealing*.

Perlakuan panas adalah suatu metode yang digunakan untuk mengubah sifat fisik, mekanik dan kadang-kadang sifat kimia dari suatu material. Aplikasi umum yang paling umum adalah untuk material logam. Secara umum perlakuan panas adalah memanaskan yang dilanjukan dengan mendinginkan matarial untuk mencapai hasil yang diinginkan seperti pengerasan atau pelunakan material.

Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:16) “Perlakuan panas adalah proses yang memanaskan bahan sampai suhu tertentu dan kemudian didinginkan menurut cara tertentu”.

Menurut Muhammad Alip (1989:91) “Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan suatu bahan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu seperti kekerasan dan kekuatan atau yang terbaik guna memenuhi suatu kebutuhan”.

Ada beberapa jenis perlakuan panas diantaranya *hardening, tempering, carburizing, annealing, nitriding* dan *normalizing*. Perlakuan panas yang tepat dapat menghilangkan tegangan dalam, besar butir dapat diperbesar atau diperkecil, peningkatan ketangguhan atau dapat menghasilkan permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Secara umum *heat treatment* dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

a. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
b. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
c. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk

martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat.

2. Jenis- Jenis Proses *Heat Treatment*

a. Proses *Hardening*

Proses *hardening* biasanya disebut juga proses pengerasan suatu proses perlakuan panas yang dilakukan untuk menghasilkan suatu benda kerja yang keras, proses ini dilakukan pada temperatur tinggi.

b. Proses *Tempering*

Proses *tempering* dilakukan dengan cara memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan dan ketangguhan yang tinggi.

c. Proses *Carburuzing*

Proses yang selanjutnya yaitu proses *carburuzing* yaitu suatu proses untuk menaikkan prosentase unsur karbon dari besi padatan. *Carburizing* tidak mampu merubah komposisi karbon secara menyeluruh dari material yang diproses, namun pada daerah kulit atau permukaan besi akan berubah secara signifikan. Proses *carburizing* permukaan besi akan mengalami karburisasi.

d. Proses *Nitriding*

Nitriding adalah proses pengerasan permukaan sub kritis dengan cara difusi nitrogen pada temperatur tinggi. Proses *nitriding* biasa juga disebut sebagai proses pelakuan *thermokimia feritik* yang berarti bahwa pengerasan terjadi setelah proses panas berlangsung akibat terbentuknya senyawa kimia yang sangat keras, kekerasan yang diperoleh dapat melampaui karburasi.

e. Proses *Annealing*

Pada proses *annealing* hampir sama dengan proses tempering, dimana bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkakan keuletan, namun proses ini memiliki perbedaan dimana untuk perbedaannya disini dalam proses *annealing* baja belum dipanaskan kembali / dikeraskan.

Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:73) "*Annealing* dapat didefinisikan sebagai pemanasan pada suhu yang sesuai, diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Hal ini bertujuan untuk menginduksi kelunakan, memperbaiki sifat-sifat pengerjaan dingin, dan membebaskan tegangan-tegangan pada baja sehingga diperoleh struktur yang dikehendaki".

Beberapa jenis proses *annealing* adalah sebagai berikut:

1) *Annealing* penuh

Proses ini dapat diartikan sebagai pemanasan yang dipertahankan pada beberapa suhu diatas batas perubahan

(transformasi). hal itu dilakukan sampai struktur *austenit* secara komplek berubah menjadi struktur *perlit*. Perlu dipahami bahwa untuk melakukan proses *annealing* penuh dilakukan sebelum dimulainya proses pengerjaan dingin.

2) *Annealing* isothermal

Selain *annealing* penuh ada juga *annealing* isothermal (*annealing* tak sempurna). *Annealing* isothermal adalah proses *annealing* dengan pemanasan antara temperatur kritis bawah dan temperatur kritis atas. Pada proses ini semua *austenit* berubah menjadi *perlit*. anil isotermal menghasilkan *perlit* dengan struktur yang merata. Kehalusan butirnya tergantung pada suhu transformasi.

3) *Annealing* pada suhu kritis terendah

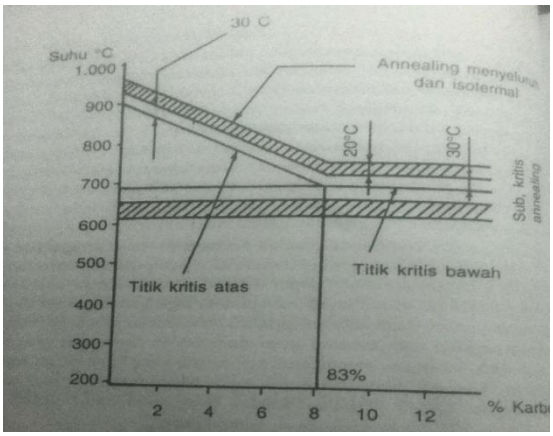
Proses ini dapat diartikan sebagai pemanasan yang dipertahankan pada beberapa suhu dibawah batas transformasi (perubahan), diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Proses ini diintroduksi secara luas selama dilaksanakan pengerjaan dingin supaya menghilangkan perubahan bentuk dari kristal. Sehingga pengerjaan dingin dalam proses ini dapat diteruskan (proses ini biasanya disebut proses *annealing*). dalam proses ini baja dipanaskan pada suhu sekitar 650^0C. kemudian didinginkan secara bebas diudara.

Tabel 3. Cara Pengurangan / Pembebasan Tegangan Sisa

Cara		Penjelasan	Keuntungan	Kerugian
Cara Mekanik	Penempaan	Logam lasan dan daerah sekitarnya ditempa atau dipukul selama atau setelah pengelasan	Dapat digunakan pada logam logam ulet. Butir logam dapat menjadi halus.	Tidak dapat digunakan pada logam-logam getas
	Peregangan	Sambungan ditarik sampai terjadi perubahan bentuk plastik.	Sangat baik untuk bejana bentuk bola. Karena geometrinya maka tegangan yang diperlukan dapat dihitung dengan teliti. Pelaksaannya dapat dilakukan dengan tekanan hidrostatis	Tidak dapat digunakan pada bentuk-bentuk yang rumit
	Getaran	Kepada kontruksi diberikan getaran yang dapat memberikan resonansi frekwensi rendah. Karena getaran ini akan terjadi perubahan bentuk plastik setempat.	Pelaksaannya sederhana	Tidak dapat digunakan pada kontruksi besar dengan plat-plat tebal karena hasilnya tidak merata
Cara Termal	Anil	Lasan pada baja jenis ferit dipanaskan sampai 600^0C atau 700^0 C dan yang dari austenit 900^0C. Setelah ditahan beberapa waktu pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Keberhasilannya tinggi	Tidak dapat digunakan pada kontruksi besar dan sukar dilaksanakan dilapangan.
	Anil Suhu Tinggi	Lasan dari baja jenis kontruksi umum dipanaskan sampai 900^0 atau 950^0C setelah ditahan beberapa lama pada suhu ini kemudian didinginkan secara pelan-pelan.	Seluruh tegangan sisa dapat dibebaskan	Diperlukan pemanasan yang merata dan harus dijaga agar tidak terjadi perubahan bentuk.
	Pembebasan tegangan dengan suhu rendah	Kedua permukaan daerah lasan selebar 60 sampai 130 mm dipanaskan	Baik untuk kontruksi-kontruksi besar.	Pengurangan terhadap tegangan sisa rendah

		sampai 150^0 atau 200^0C, yang diikuti dengan pendinginan dengan air		

(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:144)



Gambar 4. Diagram Suhu *Annealing* Baja
(Sumber : Hari Amanto dan Daryanto 2003:74)

Menurut Hari Amanto dan Daryanto (2003:73-74) Proses ini dapat diartikan "sebagai pemanasan yang dipertahankan pada beberapa suhu di bawah batas transformasi (perubahan), diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Proses ini diintroduksi secara luas selama dilaksanakan pengerjaan dingin supaya menghilangkan perubahan bentuk dari kristal". Sedangkan menurut Yustiasih Purwaningrum (2006:235) "*Annealing* adalah proses PWHT (Post Weld Heat Treatment) yang mempunyai tujuan untuk memperbaiki keuletan dan menurunkan tegangan tarik. *Annealing* dilakukan dengan cara memanaskan material di dalam *furnace* sampai suhu tertentu

dan ditahan pada suhu tersebut, pendinginan dilakukan di dalam *furnace*".

f. Proses *Normalizing*

Proses ini dapat diartikan sebagai pemanasan dan mempertahankan pemanasan pada suhu yang sesuai diatas batas perubahan, diikuti dengan pendinginan secara bebas didalam udara luar supaya terjadi perubahan ukuran butiran- butiran. Pada proses ini baja dipanaskan untuk membentuk struktur *austenit,* direndam dalam keadaan panas, dan seterusnya didinginkan secara bebas diudara. Pendinginan yang bebas akan menghasilkan struktur yang lebih halus.

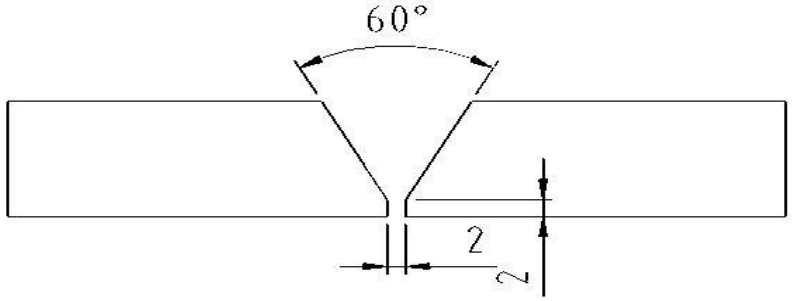
C. Pengelasan

Menurut Hery Sonawan dan Rochim Suratman (2004:1) "Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambah dan menghasilkan sambungan yang kontinu".

Menurut Widharto (2001:1) "Pengelasan (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkan melalui pemanasan. Secara sederhana dapat diartikan bahwa pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak serta menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas dan kawat las sebagai logam pengisi. Sebagai

contoh dua batang lilin disambung dengan terlebih dahulu mencairkan permukaaan-permukaan yang akan disambung dengan mempergunakan sumber panas (api atau obor), peristiwa ini disebut pengelasan. Jadi untuk benda padat yang tidak dapat mencair oleh panas seperti mika, asbes, kayu, kaca, dan lain-lain tidak akan dapat dilas. Penyambungan hanya dapat dilaksanakan dengan rekatan, baut, ulir, dan cara-cara lain selain pengelasan.

1. Sambungan/kampuh las



Gambar 5. Kampuh V Tunggal
(Sumber : Dedi Hernawan 2015:15)

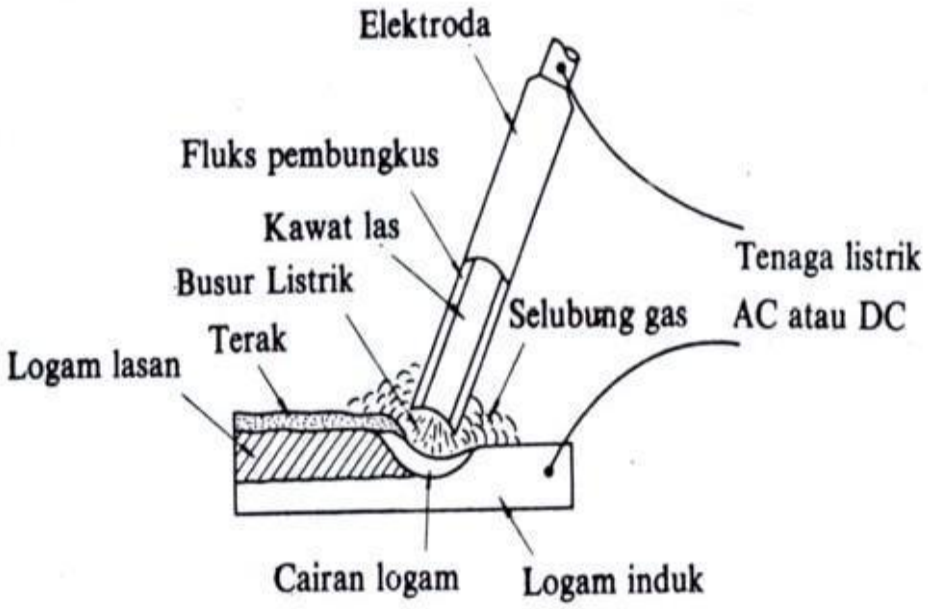
Pada gambar 5 adalah spesimen pengelasan. Jenis kampuh atau sambungan dalam pengelasan beraneka ragam, tergantung dari bentuk, posisi dan fungsi dari benda itu sendiri. Untuk spesimen yang tidak membutuhkan keseimbangan yang tinggi cukup menggunakan kampuh V tunggal.

2. Las Busur

Proses SMAW disebut juga proses MMAW (*Manual Metal Arc Welding*). Logam induk mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dibungkus oleh

pelindung berupa fluks dan disebut kawat las. Las busur listrik dengan metode elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yamg banyak di gunakan masa kini, cara pengelasan ini menggunakan elektroda yang di bungkus dengan fluks.

Las busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur, logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama.



Gambar 6. Las Busur
(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura 2008:9)

Pada gambar 6 diatas menjelaskan tentang proses pengelasan busur dengan elektroda terbungkus, elektroda yang digunakan untuk pengelasan sedikit demi sedikit akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke bahan dasar selama proses pengelasan. ketelitian yang tinggi diperlukan pada waktu pengelasan, tinggi

rendahnya elektroda tetap harus dijaga. Elektroda atau kawat las menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian berubah menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak, dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam, dan selulosa. Pemindahan logam dari elektroda kebahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan penarikan permukaan tanpa pemberian tekanan. Perlindungan busur nyala mencegah kontaminasi atmosfir pada cairan logam dalam arus busur dan kolam busur, sehingga tidak terjadi penarikan nitrogen dan oksigen serta pembentukan nitrit dan oksida yang dapat mengakibatkan kegetasan.

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:9-10) “Pada pengelasan SMAW fluks memegang peranan penting karena *flucs* dapat bertindak sebagai pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam, sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya dan sumber unsur-unsur paduan”

3. Elektroda

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan bagian yang tidak bersalut, bagian ini merupakan ujung pangkal untuk menjepitkan tang las. Pada dasarnya bila ditinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dapat diklasifikasikan menjadi beberapa

jenis yaitu elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro.

Flux biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, *fluoride*, zat organik, baja paduan dan serbuk besi.

Tabel 4. Spesifikasi Elektroda Terbungkus Dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis fluks	Posisi pengelasan	Jenis listrik	Sifat Mekanik Dari logam las			
				Kekuatan tarik ($kg/mm^{2)}$	Kekuatan luluh ($Kg/mm^{2)}$	Perpanjangan (%)	Kekuatan tumbuk (kg-m)
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC Polaritas balik	43,6	35,2	22	2,8 kg-m pada 28,9°C
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas balik	43,6	35,2	22	2,8 kg-m pada 28,9°C
E6012	Natrium Titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas lurus	47,1	38,7	17	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6013	Kalium Titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas ganda	47,1	38,7	17	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6020	Oksida besi tinggi	H-S, F	AC atau DC Polaritas lurus ganda	43,6	35,2	25	–
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S, F	AC atau DC Polaritas lurus ganda	43,6	35,2	25	2,8 kg-m pada 28,9°C
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm^2							
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas ganda	50,6	42,2	17	Tidak disyaratkan

E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC Polaritas balik	50,6	42,2	22	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas balik	50,6	42,2	22	2,8 kg-m pada 17,8°C
E7018	Serbuk besi ,hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC Polaritas balik	50,6	42,2	22	2,8 kg-m pada 17,8°C
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC Polaritas ganda	50,6	42,2	17	Tidak disyaratkan
E7028	Serbuk besi ,hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC Polaritas ganda	50,6	42,2	22	2,8 kg-m pada 28,9°C
Kekuatan tarik terendah kelompok E 70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm^2							

(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:14)

Pemilihan didasarkan pada jenis *flux*, posisi pengelasan dan arus las. Oleh karena itu dipilih elektroda jenis E6011 karena baja karbon rendah mempunyai kekuatan tarik terendah 43,6 kg/mm^2 dan pas digunakan pada baja karbon rendah ST 42.

4. Arus Pengelasan

Pemilihan arus yang digunakan untuk pengelasan SMAW harus diperhatikan, karena kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti juga dipengaruhi oleh arus las. Las SMAW bisa menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Ada dua jenis polaritas pada las SMAW yang digunakan yaitu polaritas langsung dan polaritas terbalik. Pada polaritas langsung elektroda berhubungan dengan terminal negatif sedangkan pada polaritas terbalik elektroda berhubungan dengan terminal positif. Besar kecilnya arus dapat diatur

dengan alat yang ada pada mesin las. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan melebarnya cairan las yang dan deformasi yang besar dalam 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.

Tabel 5. Tabel Daerah Jangkauan Arus

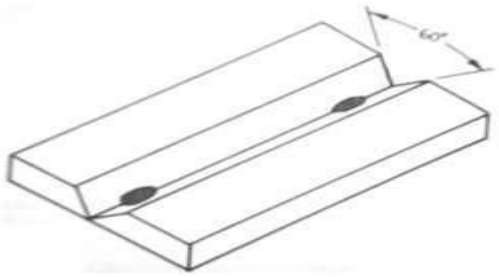
Diameter elektroda		Daerah jangkau besaran arus (dalam Ampere)							
In	Mm	E6010 dan E6011	E6012	E6013	E6020	E6027	E7014	E7015, E7016, dan E7018	E7024, dan E7028,
1/16	1,6	_	20-40	20-40	_	_	_	_	-
5/64	2,0	_	25-60	25-60	_	_	_	_	-
3/32	2,4	40-80	35-85	45-90	_	_	80-125	65-110	70-100
1/8	3,2	75-125	80-140	80-130	100-150	110-160	110-160	100-150	115-165
5/32	4,0	110-170	110-190	105-180	130-190	140-190	150-210	140-200	150-220
3/16	4,8	140-215	140-240	150-230	175-250	170-400	200-275	180-255	200-275
7/32	5,6	170-250	200-320	210-300	225-310	370-520	260-340	240-320	260-340
1/4	6,4	210-320	250-400	250-350	275-375	_	330-415	300-390	315-400
5/16	8,0	275-425	300-500	320-430	340-450	_	390-500	375-475	375-470

(Sumber :Widharto 2001:11)

5. Prosedur dan teknik pengelasan

Langkah pertama dalam melakukan pengelasan yaitu potong pelat baja sesuai dengan ukuran yang diperlukan, disisi yang akan dilas diberi kampuh dengan sisi miring 30^0 atau dengan sudut kampuh 60^0. Nyalakan mesin las, arus las diatur sesuai dengan ketebalan bahan dan diameter elektroda yang akan dilas. Selanjutnya plat-plat yang akan di las tersebut

disejajarkan dan diletakkan pada meja las, kemudian di las titik pada ujung pelat tersebut agar menempel. Setelah persiapan tadi selesai pengelasan bisa dimulai dari akar *(root)* dengan 2 kali pengisian. Kemudian mulai pengelasan kedua (*pilar*) dilakukan dengan 2 kali pengisian, lalu ayunkan busur las diatas kampuh untuk memberikan manik las dengan permukaan yang melengkung. Mulai pengelasan terakhir (*capping*) dengan 1 kali pengisian, jangan biarkan las menjadi terlalu lebar. Pada pengelasan terakhir permukaan las boleh sedikit lebih tinggi dari pada jarak puncak kampuh V.



Gambar 7. *Setting* untuk Pengelasan
(Sumber : Griffin Ivan H 1978:137)

D. Siklus Termal Las

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan didaerah lasan. Ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektroda terbungkus. Dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap.

Tabel 6. Perkiraan Waktu Pendinginan Pada Beberapa Cara Las Busur

Cara pengelasan	Indeks masukan panas n	Konstanta							
		Waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C				Waktu pendinginan dari 800°C ke 300°C			
		K	t_0	α	$\bar{T}$	K	t_0	α	$\bar{T}$
Las busur terbungkus	1,5	1,35	14,6	6	600	2	14,6	4,5	400
Las busur gas CO_2	1,7	1/2,9	13	3,5	600	1/2,5	14	5	400
Las busur dengan kawat berisi fluks.	1,35	—	—	—	600	11	14	5	400
Las busur rendam	$(t<32)$ 2,5–0,05t	$9,5/10^{5-0,22t}$				$7,3/10^{5-0,22t}$			
	$(t\geqq 32)$ 0,95	950	12	3	600	730	20	7	400

J: Masukan panas $= \dfrac{60EI}{V}$ (Joule/cm)

E: Tegangan busur (Volt)

I: Arus Las (Amper)

V: Laju las (cm/men)

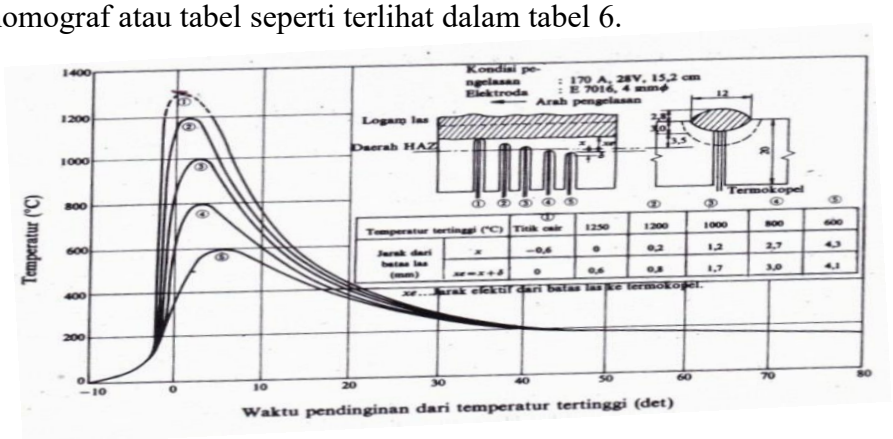
$\bar{T}$: Suhu daerah HAZ (°C)

T_0: Suhu mula pelat (°C)

t: Tebal pelat (mm)

(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:60)

Titik cair logam pengisi poses brazing 1200°C. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kwalitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha - usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris atau nomograf atau tabel seperti terlihat dalam tabel 6.

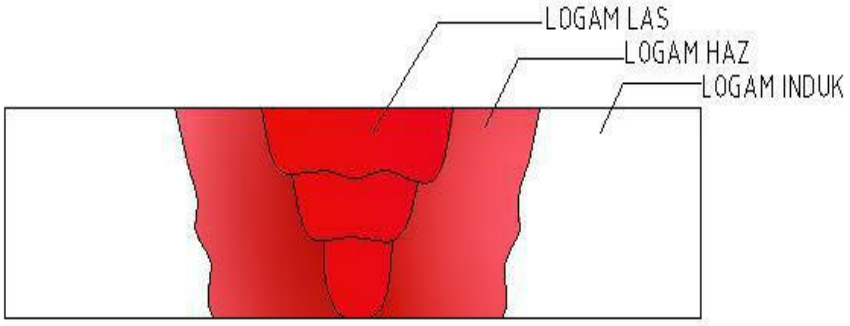


Gambar 8. Siklus Termal Las pada beberapa jarak dari Batas Las

(Sumber : Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 2008:59)

E. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Las

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah HAZ (*Heat Afective Zone*) dan logam induk. Logam las adalah bagian dari logam yang mencair dan kemudian membeku pada waktu pengelasan. Daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan secara cepat. Sedangkan logam induk adalah bagian logam dasar yang tidak terpengaruh oleh panas dan suhu pengelasan, sehingga tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dan sifatnya. Selain ketiga daerah las tersebut ada dua daerah khusus yaitu daerah yang membatasi daerah las dengan daerah HAZ dan daerah yang membatasi daerah HAZ dan logam induk.

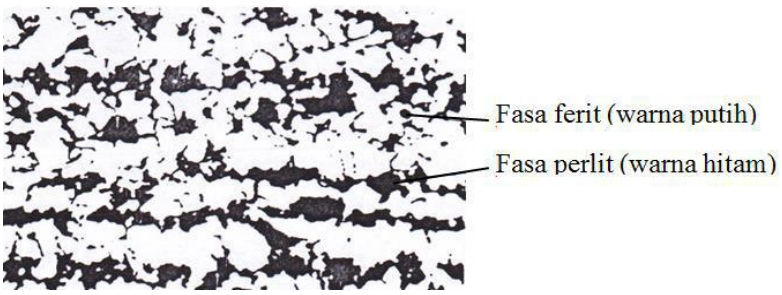


Gambar 9. Daerah logam las
(Sumber: Dedi Hernawan 2015:26)

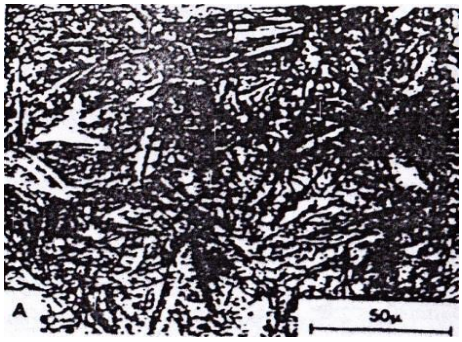
Struktur mikro material ada fasa - fasa yang tersusun didalamnya yaitu austenit, ferit, sementit, perlit dan martensit. Fasa austenit terbentuk pada baja ditemperatur tinggi. Jika fasa austenit didinginkan secara lambat maka akan terbentuk fasa ferit dan perlit. Fasa ferit hanya dapat menampung unsur karbon 0,025% yang bersifat lunak. fasa

sementit tidak seperti ferit dan austenit, sementit merupakan senyawa yang bersifat sangat keras dan mengandung 6,67% C. Sementit sangat keras tetapi bila bercampur dengan ferit yang lunak maka kekerasannya menurun. Campuran ferit dengan perlit ini disebut perlit. Jarak antara pelat-pelat sementit dalam perlit tergantung pada laju pendinginan baja. Laju pendinginan cepat menghasilkan jarak yang cukup rapat, sedangkan laju pendinginan lambat menghasilkan jarak yang semakin jauh. Fasa martensit terjadi jika baja didinginkan secara cepat dari fasa austenit. Fasa martensit biasanya terlihat seperti bentuk jarum-jarum halus. Kekerasan martensit tergantung pada kandungan karbon pada baja. Umumnya kekerasan martensit sangat tinggi walaupun kadar karbonnya rendah.

Gambar 10. Struktur Mikro Perlit
(Sumber : Hery Sonawan dan Rochim Suratman, 2004:55)



Gambar 11. Struktur Mikro Ferit+Perlit Baja 0,25% C
(Sumber : Hery Sonawan dan Rochim Suratman, 2004:74)



Gambar 12. Struktur Martensit
(Sumber : Hery Sonawan dan Rochim Suratman, 2004:58)

F. Pengujian Material.

Pengujian pada bahan bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat yang dimiliki bahan tersebut serta bertujuan untuk menjaga mutu dari hasil bahan tersebut. Salah satu sifat yang dimiliki logam adalah sifat mekanis. Secara sederhana sifat mekanis suatu logam adalah kemampuan bahan untuk menahan beban, baik beban statis, dinamis, atau berubah-ubah pada berbagai keadaan, dengan suhu tinggi maupun dibawah nol derajat. Menurut Muhammad Alip (1989:84) “Sifat mekanik bahan (benda) adalah reaksi dan ketahanan bahan terhadap beban yang diterima”.

Menurut Bondan Tiara Sofyan (2010:25) “sifat Mekanis dari logam tersebut berupa kekuatan tarik, tekan, geser, fleksural, tekuk, *impact,* kelelahan, keuletan, kekerasan dan ketahanan aus”. dalam melaksanakan suatu pengujian agar hasil pengujian yang didapatkan akurat harus mempersiapkan spesimen dan memperhatikan jenis alat penguji apakah alat penguji yang digunakan yang berstandar, agar nantinya hasil yang dapat akurat. Dalam pengujian mekanik terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, dan uji puntir adalah

pengujian yang menggunakan beban static, sedang uji lelah dan uji *impact* menggunakan jenis beban dinamik.

Proses pengujian dikelompokan menjadi dua yaitu *Destructive test (DT), Non Destructive Test* (NDT), Yaitu proses pengujian logam yang merusak benda uji dan pengujian yang tidak menimbulkan kerusakan logam atau benda yang di uji. Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (2008:361), "Pengujian Merusak pada kontruksi las adalah pengujian terhadap model dari kontruksi atau pada batang-batang uji yang telah dilas dengan cara yang sama dengan proses pengelasan yang akan digunakan sampai terjadi kerusakan pada model kontruksi atau batang uji".

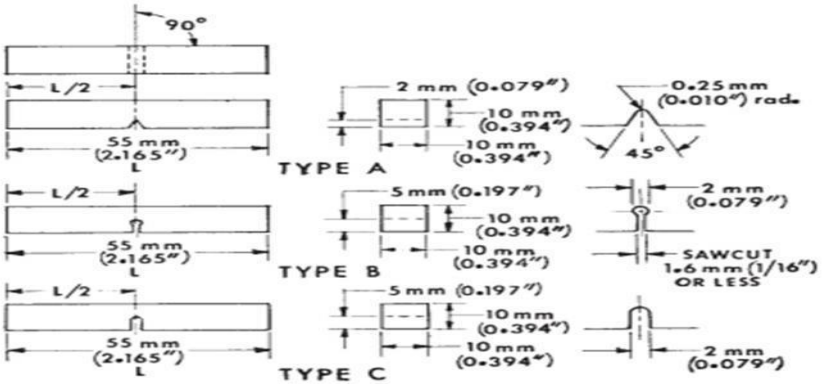
Ketangguhan logam las tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Penyerapan oksigen oleh logam las cair yang terlalu banyak bila dibandingkan dengan logam induk, akan mengakibatkan perbedaan keuletan antar keduanya. Pengujian untuk ketangguhan yang biasa digunakan adalah pengujian *impact*.

1. Pengertian pengujian *impact*

   Pengujian *impact* menurut Victor Malau dan Andhika Widyaparaga (2008:189) bertujuan "untuk mengetahui kemampuan specimen menyerap energi yang diberikan".

Menurut Al-Qawabah, dkk (2012:1551) "*impact test are designed to measure theresistance to failure of a material to a suddenly applied force*. *The test measures the impact energy, or the energy absorbed prior to fracture".*

Pengujian *impact* merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba. Menurut Hardi Sudjana (2008:453) "Pengujian ini dilakukan pada mesin uji yang dirancang dengan memilki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejut, dalam pengujian ini terdapat dua macam cara pengujian yakni cara *Izod* dan cara *Charpy* yang berbeda menurut arah pembebanan terhadap bahan uji serta kedudukan bahan uji". Pada pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impak yang dikenal dengan ketangguhan takik. Spesimen *charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses permesinan.



Gambar 13. ***Impact Test Specimens***
(Sumber : Calliester William D, 2003:471)

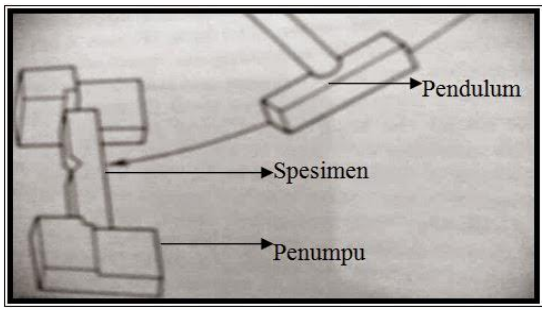
2. Jenis – jenis Metode Uji *Impact*

Secara umum metode pengujian *Impact t*erdiri dari dua jenis yaitu:

a. Metode *Charpy*

Merupakan pengijian *Impact* dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal / mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

Gambar 14. Alat Uji *Impact Charpy*



Gambar 15. Uji *Impact* Metode *Charpy*
(Sumber : Http://teknikdesaindanmanufaktur.blogspot.co.id)

Beberapa kelebihan dari metode *Charpy*, antara lain :

1) Hasil pengujian lebih akurat.
2) Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan.
3) Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang

4) Waktu pengujian lebih singkat.

Sementara kekurangan dari metode *Charpy*, yaitu :

1) Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal.

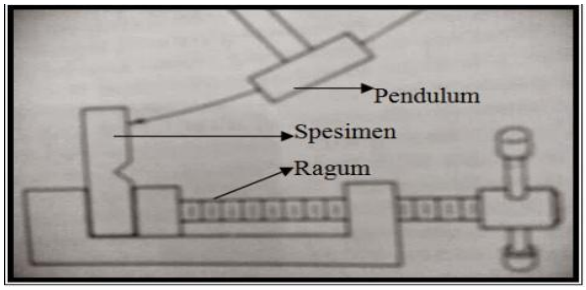
2) Spesimen dapat bergeser dari tumpuan karena tidak dicekam.

3) Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil

b. Metode *Izod*

Merupakan pengujian *impact* dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan. Pada umumnya metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika sedangkan metode *Izod* digunakan di Eropa.

Gambar 16. Alat Uji *Impact Izod*



Gambar 17. Uji *Impact* Metode *Izod*

(Sumber : Http://teknikdesaindanmanufaktur.blogspot.co.id)

Kelebihan metode *Izod* :

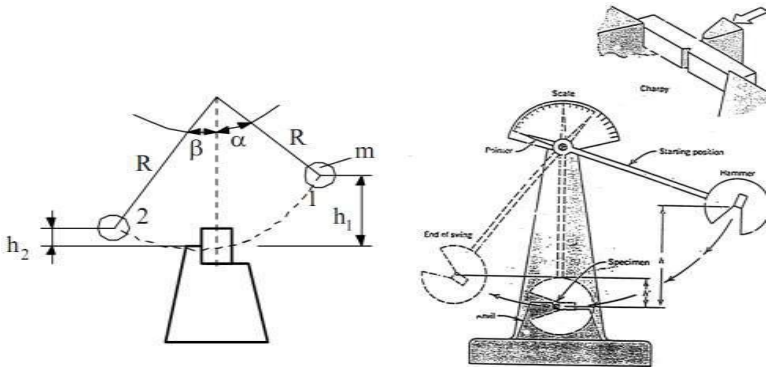
1) Tumbukan tepat pada takikan dan spesimen tidak mudah bergeser karena salah satu ujungnya dicekam.
2) Dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.

Kerugian penggunaan metode Izod :

1) Biaya pengujian lebih mahal.
2) Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik.
3) Hasil perpatahan kurang baik.
4) Waktu yang digunakan untuk pengujian cukup panjang karena prosedur pengujian yang banyak.

3. Perhitungan Uji *Impact*

Pembebanan dalam proses pengujian pukul takik (*impact test*), diberikan oleh ayunan pendulum dengan berat G dan jarak terhadap sumbu putar R yang bergerak dari ketinggian h_1 pada sudut awal α



Gambar 18. Ilustrasi Skematis Pengujian *Impact Charpy*

(Sumber : Dedi hernawan 2015:22)

Pada uji *impact,* energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali, semakin besar energi yang terserap, semakin rendah ayunan kembali dari bandul.

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut (Giancolli Dougles C 2001:25) :

$$HI = \frac{E}{A}$$

Dimana :

HI = Harga impak (N/m)

E = Energi potensial (Nm)

A = Luas penampang (m^2)

Setelah spesimen patah, bandul pembentur akan berayun dan berhenti pada posisi tertentu. Maka alat akan menunjukkan besar serapan energi. Disamping itu posisi pantulan bandul akan memberikan beberapa informasi seperti: sudut pantulan bandul setelah benturan dan ketinggian pantulan bandul. Semua informasi ini diperlukan untuk menentukan serapan energi teoritis melalui persamaan (Giancolli Dougles C 2001:26)

$$E_o = m.g.h_o$$

$$E_i = m.g.hi$$

$$E = E_o - E_i$$

dimana:

E = Besar energi serapan (Nm)

m = massa pendulum (22 kg)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)

h_o = Ketinggian jatuh pendulum (m)

h_i = Ketinggian pantulan pendulum (m)

Penentuan luas penampang patahan sebagai langkah dalam mendapatkan harga impak harus dilakukan sesuai menurut profil patahan spesimen. Untuk itu diperlukan pengukuran dan perhitungan terhadap dimensi spesimen secara teliti. Perhitungan luas penampang patahan diperoleh dengan persamaan (Giancolli Dougles C 2001:27):

$A = T \times W$

Dimana :

A = Luas penampang (mm^2)
T = Tebal (mm)
W = Lebar (mm)

E. Penelitian Relevan

Penelitian mengenai proses *annealing* telah banyak dilakukan.

1. Prihanto Trihutomo, dkk (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh proses *annealing* pada hasil pengelasan terhadap sifat mekanik baja karbon rendah, dari penelitian tersebut diketahui bahwa semakin tinggi variasi suhu *anneling* maka kekuatan bahan akan semakin tinggi.
2. Dedy Hernawan, dkk (2015) melakukan penelitian tentang variasi proses *annealing* pada sambungan SMAW, dari penelitian tersebut diketahui bahwa variasi proses *annealing* mempengaruhi kekuatan *impact* suatu material.

1. Temperatur *annealing* 700^0C memiliki nilai ketangguhan yang paling baik dibandingkan dengan variasi temperatur 650^0C dan 600^0C.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi suhu dan waktu dalam proses perlakuan panas sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat baja karbon rendah ST 42.

3. Perlu pengujian selain uji *impact charpy* seperti pegujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian lengkung dan pengujian lainnya yang dibutuhkan dalam perancangan suatu konstruksi.

4. Sebelum melakuan pengelasan, elektroda sebaiknya dimasukan kedalam oven supaya kadar air yang ada pada *flux* elektroda sesuai standar dan penyalannya lebih mudah.

5. Sewaktu pembuatan ataupun pengujian, sebaiknya menerapkan keselamatan kerja, sehingga kecelakaan kerja dapat dihindari selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Qawabah, S.M.A, Nabeel Alshabatat dan U.F. Al-Qawabeha. (2012). *Effect of Annealing Temperature on the Microstructure, Microhardness, Mechanical Behavior and Impact Toughness of Low Carbon Steel* Grade 45.*Jurnal IJERA*. Vol 2. No. 3. Hal: 1550-1553.

Anang Subardi. (2012). Karakteristik proses penyekrapan datar dengan pemotongan ortogonal terhadap bentuk geram menggunakan pahat HSS pada bahan baja ST 42. *Jurnal TEKNIK MESIN*, Institut Teknologi Nasional Malang. No. 1. Hal: 1-10.

Andra .(2014). struktur mikro baja. Diakses dari http://ardra.biz/wp-content/uploads/2012/04/Struktur-Mikro-Baja-Karbon-Rendah-Sedang-dan-T inggi pada tanggal 25 Februari 2018.

Bondan Tiara Sofyan. (2010). *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba teknika.

Callister William D. (2003). Materials Science and Engineering An Introduction, Sixth Edition. New York: John Wiley & Sons.

Dedi hernawan. (2015). *Skripsi pengaruh variasi suhu proses annealing pada sambungan SMAW terhadap ketangguhan las baja K945 EMS45.* Universitas Negeri Semarang.

Giancolli Dougles C. (2001).Fisika. Edisi Lima. Jilid Dua. Jakarta: Erlangga.

Griffin Ivan H. (1978). *Welding Processes*. New York: Litton Educational Publishing.

Hardi Sudjana. (2008). *Teknik Pengecoran Logam.* Jakarta:Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Hari Amanto Daryanto. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.

Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura. (2008). *Teknologi Pengelasan Logam.* Jakarta: Pratya Pramita.

Hery Sonawan dan Rochim Suratman. (2004). *Pengantar untuk Memahami proses Pengelasan Logam*. Bandung. Alfabeta.

Hindayani. (2014). rangkuman materi mean, median, modulus dan contoh. Diakses dari http://hindayani.com/rangkuman-materi-mean-median-modus dan-contoh. pada tanggal 1 Maret 2018.

Muhammad Alip. (1989). *Teori dan Praktek las.* Jakarta : Dapertemen pendidikan dan kebudayaan.

Prihanto Trihutomo. (2014). *Pengaruh Proses Anealing pada hasil pengelasan terhadap sifat mekanik baja karbon rendah. Jurnal TEKNIK MESIN*, Universitas Negeri Malang. No. 1. Hal: 84-88.

Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: ALFABETA.

UNP. (2010). *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir/Skrips*i. Padang: Universitas Negeri Padang.

Viktor Malau dan Adhika Widyaparaga. (2008). *Pengaruh Perlakuan Panas Quench dan Temper Terhadap Laju Keausan, Ketangguhan Impak,kekuatan tarik dan kekerasan baja XW 42 untuk keperluan Cetakan Keramik*. *Jurnal Media Teknik*. No 2. Tahun XXX Hal: 186-192.

Widharto. (2001). *Petunjuk Kerja Las.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yustiasih Purwaningrum. (2006). *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis sambungan Las SMAW Baja A-287 Sebelum dan Sesudah PWHT. jurnal TEKNOIN*. Vol. 11, No. 3. Hal: 233-242.