



**PENGARUH VARIASI SUHU PROSES ANNEALING
PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN
LAS BAJA K945 EMS45**

Skripsi

Diajukan dalam rangka menyelesaikan Studi Strata 1

Untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

**Nama : Dedy Hernawan
NIM : 5201408081
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Jurusan : Teknik Mesin**


**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2015

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ANNEALING* PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA K945 EMS45" disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan oleh dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi.

Semarang, Februari 2015


Dedy Hermawan
5201408081

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dedy Hernawan

NIM : 5201408081

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ANNEALING* PADA
SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA
K945 EMS45

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. M. Khumaedi, M. Pd.
NIP. 196209131991021001

()

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd, M.Eng.
NIP.198003192005011001

()

Dewan Penguji

Pembimbing I : Heri Yudiono, S.Pd. M. T.
NIP. 196707261993031003

()

Pembimbing II : Rusiyanto, S.Pd. M.T.
NIP.197403211999031002

()

Penguji Utama : Drs. Sunyoto, M.Si
NIP 196511051991021001

()

Penguji Pendamping I : Heri Yudiono, S.Pd. M. T.
NIP. 196707261993031003

()

Penguji Pendamping II : Rusiyanto, S.Pd. M.T.
NIP.197403211999031002

()

Ditetapkan di Semarang
Tanggal

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik



Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd
NIP. 196602151991021001

ABSTRAK

Hernawan, Dedy. 2014. “Pengaruh Variasi Suhu *Annealing* Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45”. Skripsi, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui adakah pengaruh dari variasi suhu *annealing* pada pengelasan baja K945EMS45 terhadap ketangguhan dan stuktur foto mikro material. Penelitian menggunakan jenis baja K945 EMS45 yang mengandung kadar karbon 0,4708%, 0,3233% silikon, 0,5884% mangan, dan beberapa unsur pembentuk lainnya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengelasan menggunakan jenis las SMAW. Proses PWHT *annealing* pada variasi suhu 500⁰C, 600⁰C, 700⁰C dengan waktu penahanan 60 menit yang dipanaskan dalam *furnace* dan didinginkan di dalam *furnace* sampai suhu ruangan.

Hasil penelitian menunjukkan presentasi nilai ketangguhan PWHT Suhu 500⁰C naik 49% dari Non PWHT, Dibandingkan pada PWHT Suhu 600⁰C mengalami kenaikan 24% dan PWHT Suhu 700⁰C mengalami kenaikan 16% dari PWHT Suhu 600⁰C. Proses *Annealing* dengan Suhu 500⁰C, 600⁰C, 700⁰C perubahan struktur mikronya belum bisa homogen, daerah las masih terlihat struktur martensitnya, daerah logam induk tidak terjadi perubahan yang berarti. Penampang patah pada spesimen Non PWHT berbentuk *granular*. Penampang patah pada spesimen yang mengalami perlakuan perpatahannya ulet berserat. Hal yang dapat direkomendasikan dari penelitian ini : 1) Perlu dilakukan penelitian lanjut dengan variasi suhu diatas 700⁰C; 2) Perlu dilakukan pengujian selain uji *impact Charpy* seperti pegujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian lengkung dan pengujian lainnya yang dibutuhkan dalam perancangan suatu konstruksi.

Kata kunci: *Annealing*, Struktur Mikro, Ketangguhan

ABSTRACT

Hernawan, Dedy. 2014. “EFFECT OF VARIATION OF TEMPERATURE ANNEALING PROCESS IN CONNECTION WITH THE POWER OF WELDING SMAW STEEL K945 EMS45”. Skripsi, *Mechanical Engineering Department, Engineering, Semarang State University.*

The purpose of this study was to determine the effect of temperature variation there any weld annealing heat treatment on the toughness K945EMS45 steel welding and micro photo of the material. Research using this type of steel containing K945 EMS45 carbon content 0.4708%, 0.3233% silicon, 0.5884% manganese, and a few other elements forming.

The method used in this study is the experimental method. Welding using SMAW welding type. Then do the PWHT process annealing at 500⁰C temperature variations, 600⁰C, 700⁰C with a detention time of 60 minutes which is heated in the furnace and cooled in the furnace to room temperature.

The results showed presentation PWHT temperature toughness values 500⁰C up 49% of the Non PWHT, compared to the PWHT temperature is 600⁰C increased 24% and PWHT temperature of 700⁰C increased 16% from the PWHT temperature of 600⁰C. Temperature Annealing process with 500⁰C, 600⁰C, 700⁰C changes can not be homogeneous microstructure, the weld area is still visible martensitnya structure, the parent metal area is not significant change. Cross-section of the specimen fracture Non PWHT granular form. Cross-section of the specimen broke the treated perpatannya resilient fibrous. Things recommended from this study: 1) The need of further research with temperature variations above 700⁰C; 2) It should be done in addition to testing the Charpy impact test as test of tensile, hardness testing, testing and other testing arc required in the design of a construction.

Keyword: Annealing, Micro Structure, Toughness

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu Sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar” (Al-Baqarah: 153)

Bermimpilah, orang yang sukses adalah orang yang memiliki mimpi yang kuat dan tekad yang kuat pula.

Kebahagiaanku adalah membahagiakan orang yang aku sayangi.

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang merawat saya dari kecil, mencintai saya, serta tiada henti mendoakan saya dari awal sampai akhir.
2. Adikku Rico Wahyu S, Fiky Andriyani, dan Dewy Azizatul yang selalu memberikan motivasi dari awal sampai akhir untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Sahabatku kost selalu membuatku tersenyum, memberikan banyak pengalaman dan pelajaran yang akan selalu aku ingat.
4. Teman-teman seperjuangan PTM angkatan 2008 yang aku cintai dan banggakan.
5. Almamater yang selalu aku banggakan.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dengan judul “PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ANNEALING* PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA K945 EMS45”.

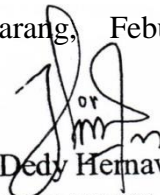
Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari banyak pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan sehingga pada akhirnya skripsi ini dapat berjalan dengan lancar. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Heri Yudiono, S.Pd, M.T. selaku pembimbing I dan bapak Rusiyanto, S.Pd, M.T. selaku pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan pengarahan dengan sabar, serta bapak Drs. Sunyoto, M.Si selaku dosen penguji yang memberikan waktu dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini. Selain itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan dalam rangka penulisan skripsi ini.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian.
4. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.

5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah membantu dalam penelitian dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih belum sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang dapat membantu dari berbagai pihak sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak dan pembaca.

Semarang, Februari 2015



or
Dedy Hernawan
5201408081

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon.....	6
2.1.2 <i>Post Weld Heat Treatment (PWHT)</i>	9
2.1.3 Pengelasan	14

2.1.4	Ketangguhan	21
2.1.5	Perpatahan atau Uji Makro	24
2.1.6	Struktur Mikro	26
2.2	Kerangka Berpikir	28
BAB III	METODE PENELITIAN	31
3.1	Metode Experimen	31
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan	32
3.4	Alur Penelitian	33
3.5	Spesimen	35
3.6	Cara Pengujian	37
3.7	Teknik Pengumpulan Data	43
3.7.1	Lembar Pengujian Impact	44
3.7.2	Analisis Data	45
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Komposisi Bahan Baja K945 EMS45	46
4.2	Pengujian <i>Impact</i>	46
4.3	Struktur Mikro	49
5.3.1	Struktur Mikro Non PWHT <i>Annealing</i>	50
5.3.2	Struktur PWHT <i>Annealing</i> Pada Suhu 500 ⁰ dan Waktu Penahanan 60 Menit	53
5.3.3	Struktur PWHT <i>Annealing</i> Pada Suhu 600 ⁰ dan Waktu Penahanan 60 Menit	56

5.3.4 Struktur PWHT <i>Annealing</i> Pada Suhu 700 ⁰ dan Waktu Penahanan 60 Menit	59
4.4 Penampang Patah.....	64
4.5 Pembahasan Hasil Penelitian.....	66
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Simpulan.....	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Komposisi Baja K945 EMS45	9
2.2	Pembebasan tegangan sisa untuk baja	12
2.3	Spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak.....	19
2.4	Daerah jangkauan Arus.....	20
3.1	Lembar Pengamatan Pengujian <i>Impact</i>	44
3.2	Lembar Perbandingan Nilai Uji <i>Impact</i>	44
4.1	Data Komposisi Kimia Baja K945 EMS45	46
4.2	Data Hasil Pengujian <i>Impact</i>	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram Fasa Fe-C.....	13
2.2 Kampuh V tunggal	15
2.3 Las Busur Dengan Elektroda Terbungkus	16
2.4 Pengisian Las.....	21
2.5 Impact Test ASTM.....	24
2.6 Perpatahan Benda Uji.....	25
2.7 Daerah Las.....	26
2.8 Struktur Mikro Perlit	28
2.9 Struktur Mikro Ferit+Perlit Baja 0,25%C	29
2.10 Struktur Martensit	29
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	34
3.2 Material Kampuh V.....	35
3.3 Proses Pengelasan	36
3.4 Material Spesimen Uji <i>Impact</i> ASTM E23	37
3.5 <i>Furnace</i>	38
3.6 Mesin Amplas/Poles.....	40
3.7 Hasil Pemolesan	40
3.8 Mikroskop optic	41
3.9 Alat Uji <i>Impact</i>	43
4.1 Diagram Perbandingan Nilai Ketangguhan Hasil Pengujian <i>Impact</i> ...	47

4.2	Hasil Pengujian <i>Impact</i>	48
4.3	Struktur Mikro Spesimen Non PWHT <i>Annealing</i> Daerah Lasan	50
4.4	Struktur Mikro Spesimen Non PWHT <i>Annealing</i> Daerah HAZ.....	50
4.5	Struktur Mikro Spesimen Non PWHT <i>Annealing</i> Logam Induk.....	51
4.6	Struktur Mikro Spesimen Non PWHT <i>Annealing</i> Daerah Batas Las Dengan HAZ	52
4.7	Struktur Mikro Spesimen Non PWHT <i>Annealing</i> Daerah HAZ Dengan Logam Induk.....	52
4.8	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 500 ⁰ C Dengan Penahanan Waktu 60 Menit Daerah Lasan	53
4.9	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 500 ⁰ C Dengan Penahanan Waktu 60 Menit Daerah HAZ.....	54
4.10	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 500 ⁰ C Dengan Penahanan Waktu 60 Menit Logam Induk.....	54
4.11	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 500 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Daerah Batas Las Dengan HAZ	55
4.12	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 500 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ.....	56
4.13	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 600 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Daerah Lasan	56
4.14	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 600 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Daerah HAZ.....	57

4.15	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 600 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Daerah Logam Induk	57
4.16	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 600 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Las Dengan HAZ.....	58
4.17	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 600 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ.....	59
4.18	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 700 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Lasan	59
4.19	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 700 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah HAZ.....	60
4.20	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 700 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Logam Induk	61
4.21	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 700 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Las Dengan HAZ.....	61
4.22	Struktur Mikro Spesimen PWHT <i>Annealing</i> 700 ⁰ C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ.....	62
4.23	Penampang Patah Spesimen.....	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Tugas Dosen Pembimbing Skripsi	77
2. Surat Ijin Penelitian	78
3. Surat Ijin Pinjam Lab UNNES	79
4. Surat Keterangan Selesai Penelitian di UGM.....	80
5. Sertifikat Kompetensi <i>Welder</i>	81
6. Sertifikat Baja K945 EMS45	83
7. Data Hasi Uji Komposisi Baja K945 EMS45	84
8. Perhitungan Nilai Ketangguhan.....	85
9. Dokumentasi kegiatan Penelitian	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan teknologi dibidang konstruksi, 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 konstruksi dengan logam melibatkan unsur pengelasan.

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan tekanan atau tanpa tekanan. 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 kumpuh las.

Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan pada daerah las.

Tegangan-tegangan ini terjadi pada pelat yang dilas ini terjadi sampai temperatur kamar. Tegangan ini disebut tegangan sisa. Jika tegangan yang tersisa itu tegangan tarik maka akan membahayakan konstruksi las, karena akan mengakibatkan retak.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2004: 144) untuk membebaskan tegangan sisa ada dua cara, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dipakai adalah cara termal dengan proses *annealing*. Proses *annealing* adalah perlakuan panas dimana material dipanaskan pada temperatur dan waktu tertentu dan didinginkan perlahan-lahan. Pada proses *annealing* dilakukan proses variasi suhu dengan pemanasan pada waktu proses *annealing*. Proses variasi suhu dilakukan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro, keuletan dan ketangguhan bahan pada penahanan waktu pemanasan yang berbeda-beda.

Material benda uji harus dilakukan pengujian untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi pada material. Proses pengujian *impact* perlu dilakukan untuk mengukur ketangguhan suatu material benda uji.

1.2 Rumusan Masalah

Baja K945 EMS45 dengan pengelasan *SMAW* sangat luas penggunaannya karena lebih praktis, dan mudah pengoperasiannya, pengelasan *SMAW* dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat

pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang berbeda beda pada tiap-tiap daerah konstruksi. Berdasarkan uraian di atas maka timbul permasalahan, yaitu :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi suhu PWHT *annealing* terhadap ketangguhan baja K945 EMS45?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi suhu PWHT *annealing* terhadap struktur mikro baja K945 EMS45?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh proses *annealing* terhadap ketangguhan baja karbon tinggi akibat proses pengelasan.
2. Mengetahui pengaruh proses *annealing* terhadap struktur mikro baja karbon tinggi akibat proses pengelasan.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini menjadi jelas dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Tujuan peneliti perlu membatasi beberapa masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini, yaitu:

1. Material logam yang digunakan adalah pelat baja karbon tinggi *K945 EMS45*.

2. Pengelasan yang digunakan adalah pengelasan busur nyala logam terlindung atau *SMAW (shielded metal arc welding)*.
3. Elektroda yang digunakan adalah jenis E7018 standar *ASTM (American society for testing material)* khusus baja karbon tinggi dan arus yang dipakai 115 - 165 A.
4. *Annealing* yang dipakai adalah *annealing* pada suhu 500⁰ C, 600⁰ C, 700⁰ C dan waktu penahanan 60 menit.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji *impact* dan uji foto mikro, uji *impact* dilakukan pada daerah logam las dengan spesimen uji jenis *ASTM E23*.

1.5 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 tinggi, yang pada akhirnya dapat bermanfaat untuk kemajuan dunia industri dan teknologi.

- b. Sebagai informasi yang penting untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.
- c. Sebagai perbandingan pada penelitian sejenisnya untuk pengembangan teknologi khususnya di bidang pengelasan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan dari besi dan karbon. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori berdasarkan persentase kandungan karbonnya, yaitu: baja karbon rendah ($C = 0,03-0,35 \%$), baja karbon sedang ($C = 0,35-0,45 \%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,45-1,70 \%$). Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon tinggi. Persentase karbon yang naik, meningkatkan tegangan leleh namun menurunkan keuletan. salah satu dampaknya adalah membuat pekerjaan las menjadi lebih sulit.

a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel/Mild Steel*)

Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas, baja karbon rendah bukan baja yang keras, karena kandungan karbon rendahnya kurang dari 0,3%. Baja ini dapat dijadikan mur, baut, sekrup, peralatan senjata, alat perangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder, dan penggunaan yang hampir sama. Baja ini juga dapat diselesaikan dengan pengerjaan dingin dengan cara merendam atau mencelupkan baja kedalam larutan asam yang berguna untuk mengeluarkan lapisan oksigennya. Baja diangkat dan digiling sampai ukuran yang diinginkan.

Proses ini menghasilkan baja yang lebih licin, sehingga lebih baik sifatnya dan bagus untuk dibuat mesin perkakas.

b. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3–0,45% dan kandungan karbon tersebut memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Proses pengerjaan panas bertujuan untuk menaikkan kekuatan baja. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubungan, poros engkol, dan alat angkat presisi.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung karbon 0,45–1,7%. Pembentukan baja ini dilakukan dengan cara menggerinda permukaannya, misalnya batang bor dan batang datar. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin–mesin berat, batang–batang pengontrol, alat tangan seperti palu, obeng, tang, dan kunci mur, baja plat, dan sejumlah peralatan pertanian. Baja karbon sedang dan baja karbon tinggi banyak mengandung karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja tersebut.

d. Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambah biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan didalam industri atau pabrik. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel,

kromium, vanadium, mangan dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki (keras, kuat, dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campurannya.

kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat dan ciri tersendiri dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal (sifat ini dapat membuat baja dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling, dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Baja yang dicampur dengan kromium dan molibden akan menghasilkan baja yang bersifat keras yang baik dan kenyal dan tahan terhadap panas.

Baja paduan digunakan karena keterbatasan karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial dari pada baja, keterbatasan dari baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dengan pencampuran termasuk sifat-sifat kelistrikan, magnetis, dan koefisien spesifik dari pemuaian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongn logam.

e. Baja *K-945 EMS 45*

Baja K-945 EMS45 merupakan baja pabrikan Bohler yang didistribusikan oleh PT Bhineka Bajanas. Pengkodean K-945 EMS45 sendiri merupakan pengkodean untuk mempermudah dalam pemilihan baja. Arti pengkodean tersebut adalah.

- K : *Koude Werken Staal*
 9 : Baja karbon
 45 : Kandungan karbon yang terdapat dalam material adalah 0,45%
 E : *Engineering*
 M : *Mild*
 S : *Steel*

Baja K-945 EMS45 merupakan golongan baja karbon tinggi dikarenakan di dalam Baja K-945 EMS45 terdapat kandungan karbon 0,45%. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh PT Bohler yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Baja K-945 EMS45

C	Si	Mn	P	S	Cu
0,45%	0,31%	0,650%	0,19	0,02	0,01

Sumber : Bohler

Kadar karbon tinggi yang dimiliki Baja K-945 EMS45 menjadikan baja ini memiliki sifat-sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Dalam dunia industri, baja ini sering digunakan untuk membuat alat-alat perkakas tangan, alat-alat pertanian, dan berbagai konstruksi permesinan lainnya.

2.1.2 *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*

Perlakuan panas (*heat treatment*) menurut Mizhar dan suherman (2011:21) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia yang bersangkutan.

PWHT adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, kelunakkan, memperhalus ukuran butir. Ada beberapa jenis PWHT diantaranya *hardening*, *tempering*, *carburizing*, *annealing* dan *nitriding*. 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:

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses heat treatment dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. 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.

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.

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

Proses yang selanjutnya yaitu proses *carburizing* yaitu suatu proses untuk menaikkan maupun menurunkan 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.

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.

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

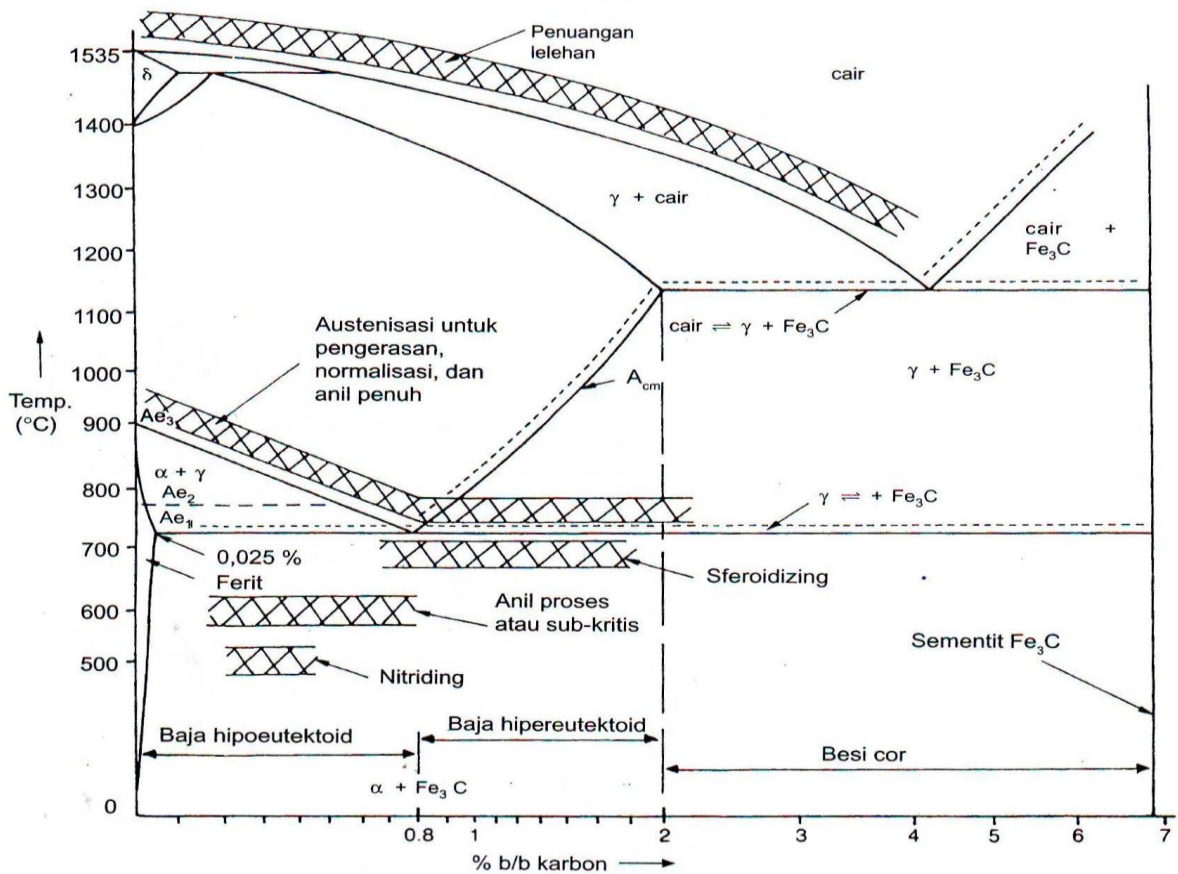
Menurut Amanto dan Daryanto (2003:73) *annealing* dapat didefinisikan sebagai pemanasan pada suhu yang sesuai, diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Hal ini bertujuan untuk menginduksi kelunakan, memperbaiki sifat-sifat pengerjaan dingin, dan membebaskan tegangan-tegangan

pada baja sehingga diperoleh struktur yang dikehendaki. Sedangkan menurut Purwaningrum (2006:235) *annealing* adalah proses PWHT 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*.

Tabel 2.2 Pembebasan Tegangan Sisa Untuk Baja

	Logam	Suhu anil °C	Waktu penahanan suhu (jam)
Baja karbon	C : 0,35% atau kurang Tebal : kurang dari 19 mm	Pada umumnya tidak perlu ada pembebasan tegangan	-
	C : 0,35% atau kurang Tebal : 19 mm atau lebih	560-680	1
	C : 0,35% atau lebih Tebal : 12 mm atau lebih	Pada umumnya tidak perlu ada pembebasan tegangan	-
	C : 0,35% atau lebih Tebal : kurang dari 12 mm	590-680	1
	Baja kil khusus untuk suhu rendah	590-680	1
	Baja karbon molibden (untuk semua tebal pelat)	C : 0,35% atau kurang Tebal : kurang dari 19 mm	590-680 680-760

Sumber: Wiryosumarto (2004: 145).



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C
(Smallman dan Bishop, 2000: 68)

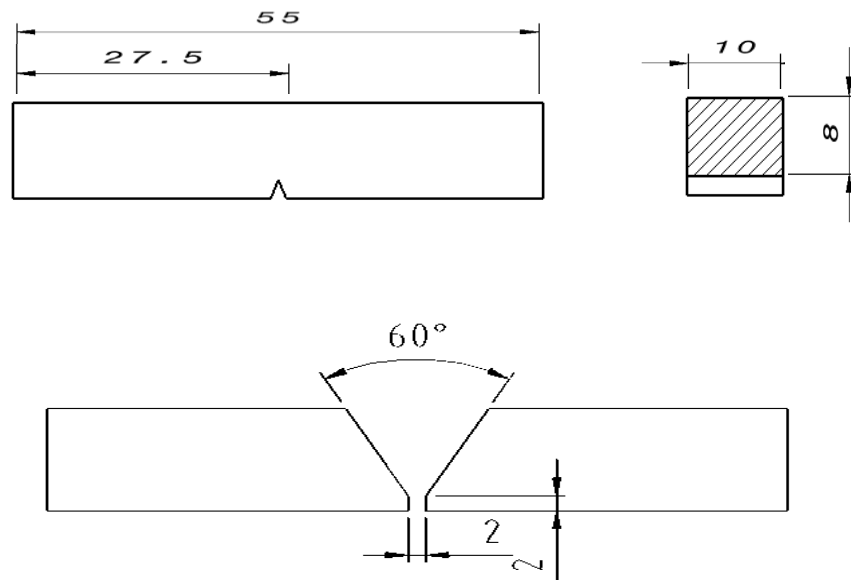
Perlu dipahami bahwa untuk melakukan proses *annealing* penuh dilakukan sebelum dimulainya proses pengerjaan dingin. Selain *annealing* penuh ada juga *annealing isothermal* (*annealing* tak sempurna). *Annealing isothermal* adalah proses *annealing* dengan pemanasan antara temperatur kritis bawah dan temperatur kritis atas. Pada proses ini semua *austenit* berubah menjadi *perlit*. *Annealing* yang terakhir adalah *Annealing* kritis bawah. 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 (Amanto dan Daryanto, 2003: 74).

2.1.3 Pengelasan

Pengelasan menurut Sonawan dan Suratman (2004:1) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian 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. 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 permukaan-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



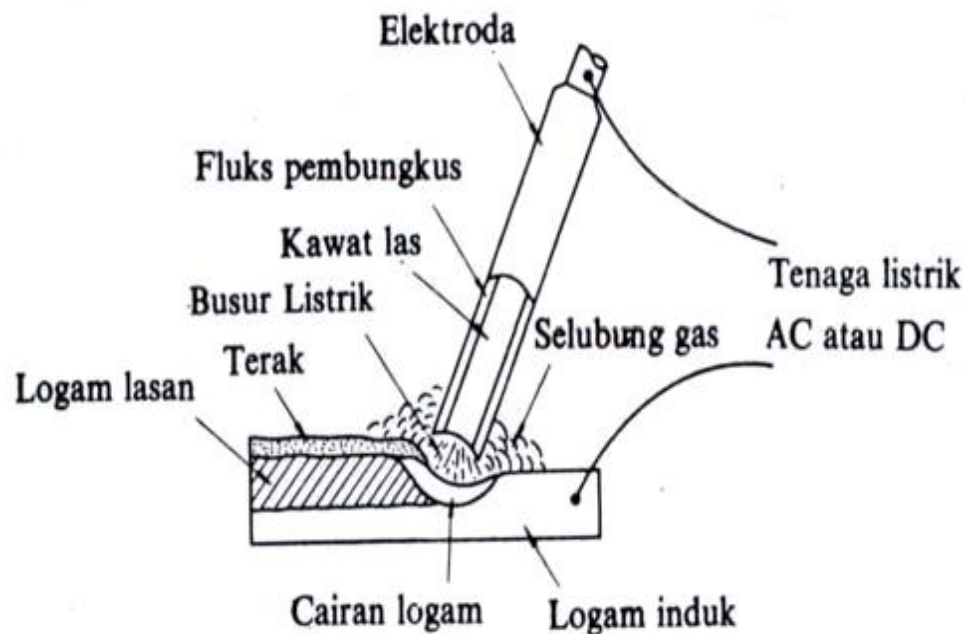
Gambar 2.2 Kampuh V Tunggal
(Dokumentasi Peneliti)

Pada gambar 2.2 adalah spesimen pengujian kekerasan dan *impact*. 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 pemcairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik

dibangkitkan dari mesin las. 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 yang banyak di gunakan masa ini, 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. 2.3 Las Busur
(Wiryosumarto dan Okumura, 2004:9)

Pada gambar 2.3 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 ke bahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan penarikan permukaan tanpa pemberian tekanan. Perlindungan busur nyala mencegah kontaminasi atmosfer 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.

Pada pengelasan SMAW fluks memegang peranan penting karena *fluks* 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 (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2004:10).

3. Elektroda dan arus pengelasan

Elektroda terdiri dari dua jenis 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.

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 dapat 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.

Tabel 2.3 Spesifikasi Elektroda Terbungkus Dari Baja Lunak

Klasifikasi	Jenis <i>fluks</i>	Posisi pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F,V,OH,H	DC polaritas balik	50,6	42,2	17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas lurus	50,6	42,2	22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22

Sumber: Wiryosumarto (2004: 14)

Elektroda harus diperhatikan, pemilihan didasarkan pada jenis *flux*, posisi pengelasan dan arus las. Menurut Karohika (2009:146) ditinjau dari elektroda las yang digunakan secara umum harga kekerasan pada elektroda 7018 lebih tinggi dibandingkan 6010. Oleh karena itu pemilihan elektroda untuk baja karbon tinggi yaitu menggunakan jenis E7018. Dipilih elektroda jenis E7018 karena baja karbon

tinggi mempunyai kekuatan tarik terendah 58 kg/mm^2 dan itu sangat mendekati dengan kekuatan tarik terendah untuk elektroda E7018 yaitu $49,2 \text{ kg/mm}^2$.

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 2.4 Tabel daerah jangkauan arus

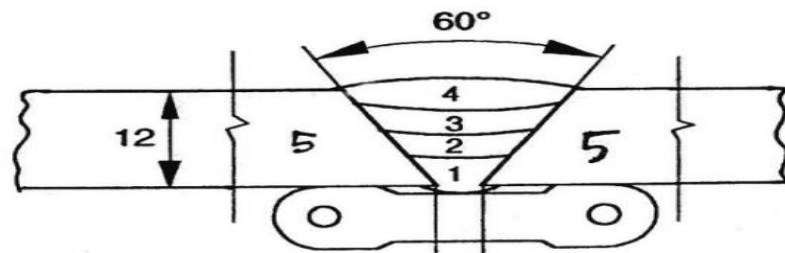
Diameter		Daerah jangkau besaran arus (dalam Ampere)							
Elektroda		E6010 dan E6011	E6012	E7018	E6020	E6022	E7014	E7015, E7016, dan E7016-1	E7018 dan E7018-1
In	Mm								
1/16	1,6	-	20-40	20-40	-	-	-	-	-
5/64	2,0	-	25-60	25-60	-	-	-	-	-
3/32	2,4	40-80	35-85	45-90	-	-	80-125	65-110	70-100
1/8	3,2	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
¼	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 : Sriwidharto, 1996:114

4. Prosedur dan teknik pengelasan

Langkah pertama dalam melakukan pengelasan yaitu potong pelat baja sesuai dengan ukuran yang diperlukan, disisi yang akan dilas diberi kemiringan dengan sisi miring 30^0 atau dengan sudut kampuh 60^0 . Nyalakan mesin las, arus las diatur sesuai keinginan dan disesuaikan dengan bahan 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*), satu jalur dari titik las pertama sampai titik las kedua dari kampuh V yang dibentuk dari kedua plat. Butir las pertama dan mulai pengelasan kedua (*pilar*) dilakukan dengan gerakan perlahan, kemudian ayunkan busur las diatas kampuh untuk memberikan manik las dengan permukaan yang melengkung. Mulai pengelasan terakhir (*capping*) dilakukan dengan gerakan perlahan lebih lebar, jangan biarkan las menjadi terlalu lebar. Sebenarnya tinggi dari permukaan las boleh sedikit lebih tinggi dari pada jarak puncak kampuh V. Lihatlah pada gambar yang memperlihatkan ukuran garis las dan ketinggian las.



Gambar 2.4 Pengisian Las

Keterangan : (1) *Root* (4) *Capping*
(2,3) *Pilar* (5) *HAZ (Heat Affective zone)*

2.1.4 Ketangguhan

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.

Pengujian impact menurut Malau dan Widyaparaga (2008:189) bertujuan untuk mengetahui kemampuan specimen menyerap energi yang diberikan. Menurut Al-Qawabah, dkk (2012:1551) *impact test are designed to measure the resistance 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 terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu *Charpy* dan *Izod*. Pada pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impact yang dikenal dengan ketangguhan takik. Specimen *Charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses permesinan. Mesin pengujian impact diperlihatkan secara skematik pada gambar dibawah. Beban didapatkan dari tumbukan oleh palu pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian (h_1). Specimen diposisikan pada dasar. Ketika dilepas, ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak dan mematahkan specimen ditakikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impact kecepatan tinggi. Palu pendulum akan melanjutkan ayunan untuk mencapai ketinggian maksimum h_2 yang lebih rendah dari h_1 . Energi yang diserap dihitung dari perbedaan h_1 dan h_2 . Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan adalah α dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur specimen adalah β .

Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan impact benda uji dapat dihitung.

E = energi awal– energi yang tersisa

$$= m.g.h_1 - m.g.h_2$$

$$= m.g.(R - R.\cos a) - m.g.(R - R.\cos \beta)$$

$$E = m.g.R(\cos \beta - \cos a)$$

dimana:

E = energi serap (J)

m = berat pendulum (kg)

g = percepatan gravitasi (10 m/s)

R = panjang lengan (m)

a = sudut pendulum sebelum diayunkan sudut jatuh ($^{\circ}$)

β = sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen sudut ayun ($^{\circ}$)

Harga impact dapat dihitung dengan:

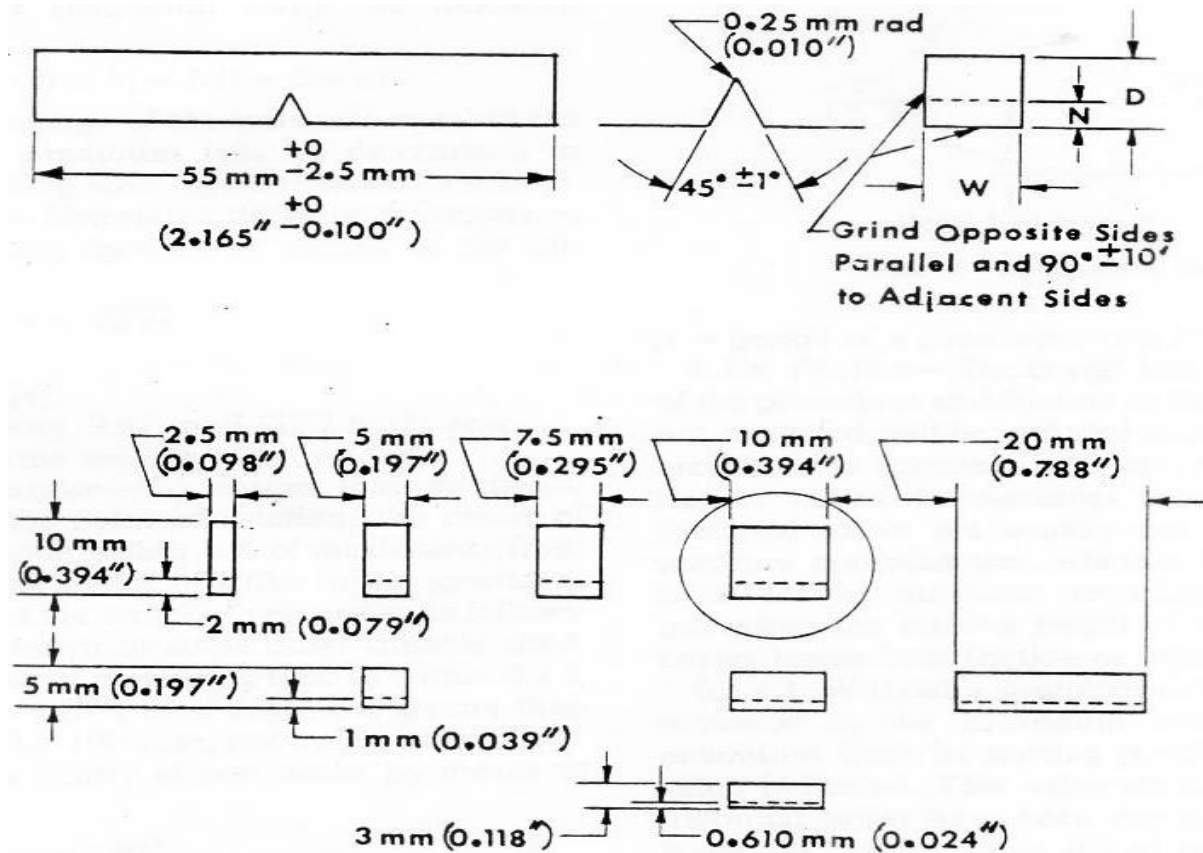
$$HI = \frac{E}{A}$$

dimana:

HI = Harga ketangguhan Impact (J/mm²)

E = energi terserap (J)

A = Luas penampang patahan benda uji (mm²)

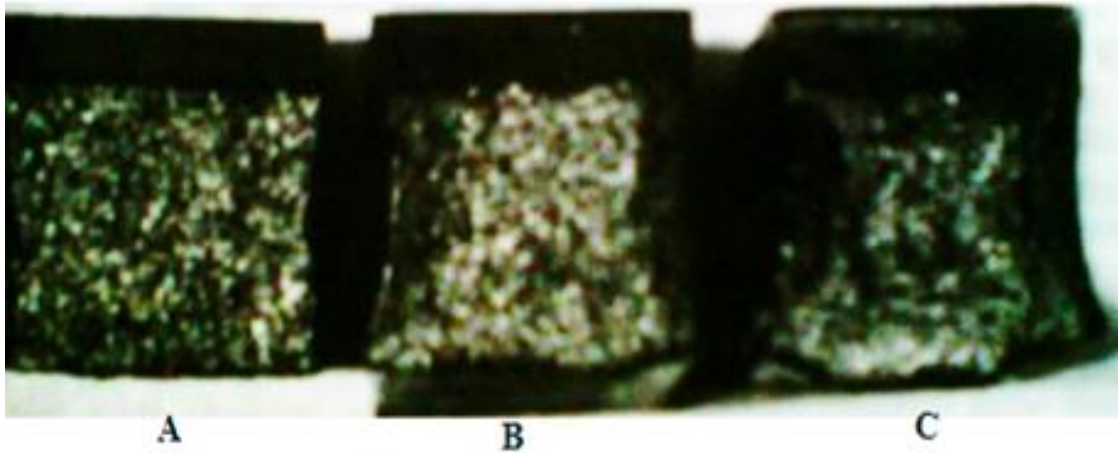


Gambar 2.5 *impact test Specimens* (ASTM, 1996:139)

2.1.5 Pengamatan Perpatahan atau Uji Makro

Perpatahan pada pengujian impact dapat diidentifikasi sebagai berikut, yaitu material yang getas, bentuk patahannya akan bermukaan merata atau biasa disebut patah belah/granular, hal ini menunjukkan bahwa material yang getas akan cenderung patah akibat tegangan normal. Material yang ulet akan terlihat meruncing atau biasa disebut patah ulet berserat, hal ini menunjukkan bahwa material yang ulet akan patah akibat tegangan geser. Sedangkan perpatahan yang terakhir adalah perpatahan campuran, perpatahan ini akan terlihat sebagian meruncing dan sebagian datar.

Pengukuran lain dari uji *impact* yang dilakukan adalah pengamatan permukaan patahan untuk menentukan jenis patahan yang terjadi, seperti patahan berserat, patahan *granular* atau patahan belah, dan patahan campuran dari keduanya. Bentuk patahan yang berbeda-beda ini dapat ditentukan dengan mudah, walaupun pengamatan permukaan patahan tidak menggunakan perbesaran.



Gambar 2.6. Perpatahan benda uji. (Dieter, 1986:93)

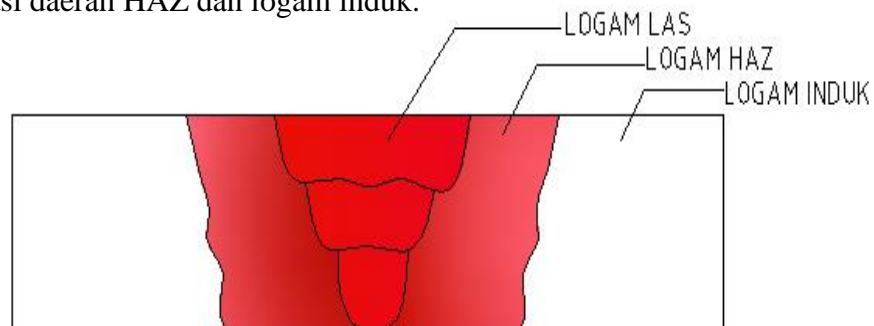
Keterangan:

- (A) patahan belah
- (B) patahan campuran
- (C) patahan berserat

Permukaan patahan belah yang datar memperlihatkan daya pemantul cahaya yang tinggi serta penampilan yang berkilat yang dapat dilihat pada Gambar 2.6(A). Sementara permukaan patahan yang ulet berserat penampilannya buram dan kurang beraturan yang dapat dilihat pada Gambar 2.6(C). Sedangkan perpatahan campuran merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas yang dapat dilihat pada Gambar 2.6(B)

2.1.6 Struktur mikro

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah HAZ (*Heat Affective 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 2. 7. Daerah Las

Struktur mikro bertujuan untuk melihat susunan fasa yang terdapat pada suatu material. Beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

1. *Sectioning* (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong sesuai dengan keperluannya.

2. *Grinding* (Pengamplasan Kasar)

Grinding berfungsi menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. *Grinding* dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga yang paling besar.

3. *Polishing* (Pemolesan)

Polising bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka perlu adanya tahap-tahap yang diperhatikan. Melakukan pemolesan sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan. Pemolesan ini menggunakan kain yang diolesi autosol, dalam melakukan pembersihan harus sampai bersih.

4. *Etching* (Pengetsaan)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang bersih dan mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut harus dilakukan pengetsaan. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena ini akan mengakibatkan kekosongan pada benda uji.

5. Pemotretan

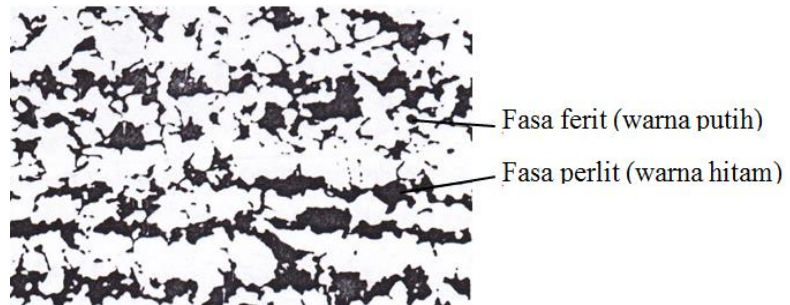
Pemotretan dimaksudkan untuk mendapatkan bentuk gambar struktur mikro dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop.

Struktur mikro material ada fasa - fasa yang tersusun didalamnya yaitu austenit, ferit, sementit, perlit dan martensit. Fasa austenit terbentuk pada baja

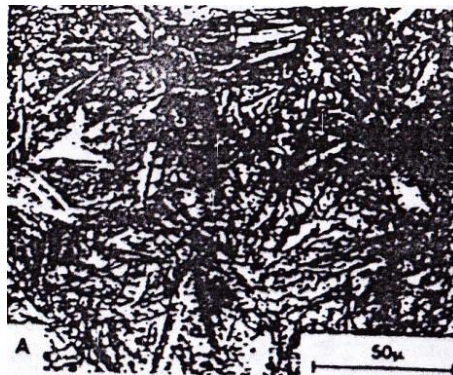
ditemperatur tinggi. Jika fasa austenit didinginkan secara lambat maka akan terbentuk fasa ferit dan perlit. Fasa ferit hanya dapat menampung unsur karbon 0,025% yang bersifat lunak. fasa sementit tidak seperti ferit dan austenit, sementit merupakan senyawa yang bersifat sangat keras dan mengandung 6,67% 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 2.8 Struktur Mikro Perlit
(Sonawan dan Suratman, 2004:55)



Gambar 2.9 Struktur Mikro Ferit+Perlit Baja 0,25% C
(Sonawan dan Suratman, 2004:74)



Gambar 2.10 Struktur Martensit
(Sonawan dan Suratman, 2004:58)

2.2 Kerangka Berpikir

Pengelasan merupakan cara yang paling praktis dan banyak digunakan dalam penyambungan logam. Salah satu jenis las yang paling banyak digunakan saat ini adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. Karena pengelasan ini mempunyai banyak keuntungan antara lain : praktis, hasilnya dapat diandalkan, efisien, dan ekonomis.

Penggunaan las tersebut, membuat tingkat kebutuhan akan bahan yang diinginkan pun meningkat. Salah satu kendala yang dihadapi dalam pengelasan

saat ini yaitu munculnya tegangan sisa yang menyebabkan kekerasan yang tinggi pada daerah las dan kekuatan logam ditiap-tiap daerah lasan menjadi berbeda-beda. Pada saat pengelasan terjadi tegangan termal karena perbedaan suhu antara logam induk dan daerah las, selain itu tegangan sisa juga terjadi akibat transformasi fasa, karena logam induk yang digunakan adalah baja karbon. Tegangan sisa pada hasil pengelasan disebabkan karena selama siklus termal las berlangsung.

Cara pembebasan tegangan sisa setelah pengelasan biasanya menggunakan *annealing*. *Annealing* adalah salah satu jenis perlakuan panas paska pengelasan. Diharapkan dengan proses *annealing* dapat mengurangi tegangan sisa, proses *annealing* juga dapat memperbaiki struktur mikro, menghindari distorsi dan retak dan menghomogenkan sifat tiap daerah lasan.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dipergunakan dalam kegiatan penelitian sehingga hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan. Metode penelitian dalam penelitian ini menggunakan jenis metode eksperimen. Metode eksperimen merupakan salah satu metode penelitian yang mengadakan kegiatan percobaan untuk melihat suatu hasil dan hasil ini akan menegaskan kedudukan hubungan (sebab-akibat) antara variabel-variabel.

3.1 Metode Eksperimen

Desain eksperimen merupakan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga dihasilkan data-data yang objektif sesuai dengan permasalahan metode eksperimen. Metode eksperimen yang dilakukan adalah meneliti pengaruh variasi suhu proses PWHT *annealing* pada variasi suhu 500⁰ C, 600⁰ C, 700⁰ C dengan penahanan waktu 60 menit terhadap nilai ketangguhan baja K945 EMS45 yang didapat dari pengujian *impact Charpy* dengan menggunakan spesimen ASTM E23 dan untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi pada setiap variasi yang dilakukan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan eksperimen dilakukan dibulan Desember 2013 sampai selesai, tempat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Pembelian bahan di PT. Bhinneka Bajanas cabang Semarang.
- b. Proses pengelasan dilakukan di Lab BLKI Semarang.

- c. Pembuatan spesimen sesuai dengan standar ASTM E23 dilaksanakan di Lab. Teknik Mesin UNNES.
- d. Pengujian *impact* dan uji foto mikro dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM Yogyakarta.

3.3 Alat dan Bahan

a. Alat

Ada beberapa alat yang dibutuhkan agar penelitian ini berjalan dengan baik, namun alat yang terpenting yaitu:

1. Mesin las listrik beserta perlengkapannya (*Rodarc 450*)
2. Tang dan palu terak
3. Sikat Baja
4. Tang Penjepit
5. Gergaji pita
6. Kikir
7. Jangka sorong (alat ukur panjang)
8. *Bevel protector* (alat ukur sudut)
9. Mesin sekrup beserta perlengkapannya
10. Mesin ampelas
11. Mesin poles
12. Alat uji ketangguhan *impact Charpy (frank)*

13. Alat struktur mikro (mikroskop optik *olympus*)

14. *Furnace* logam (mesin open logam)

b. Bahan

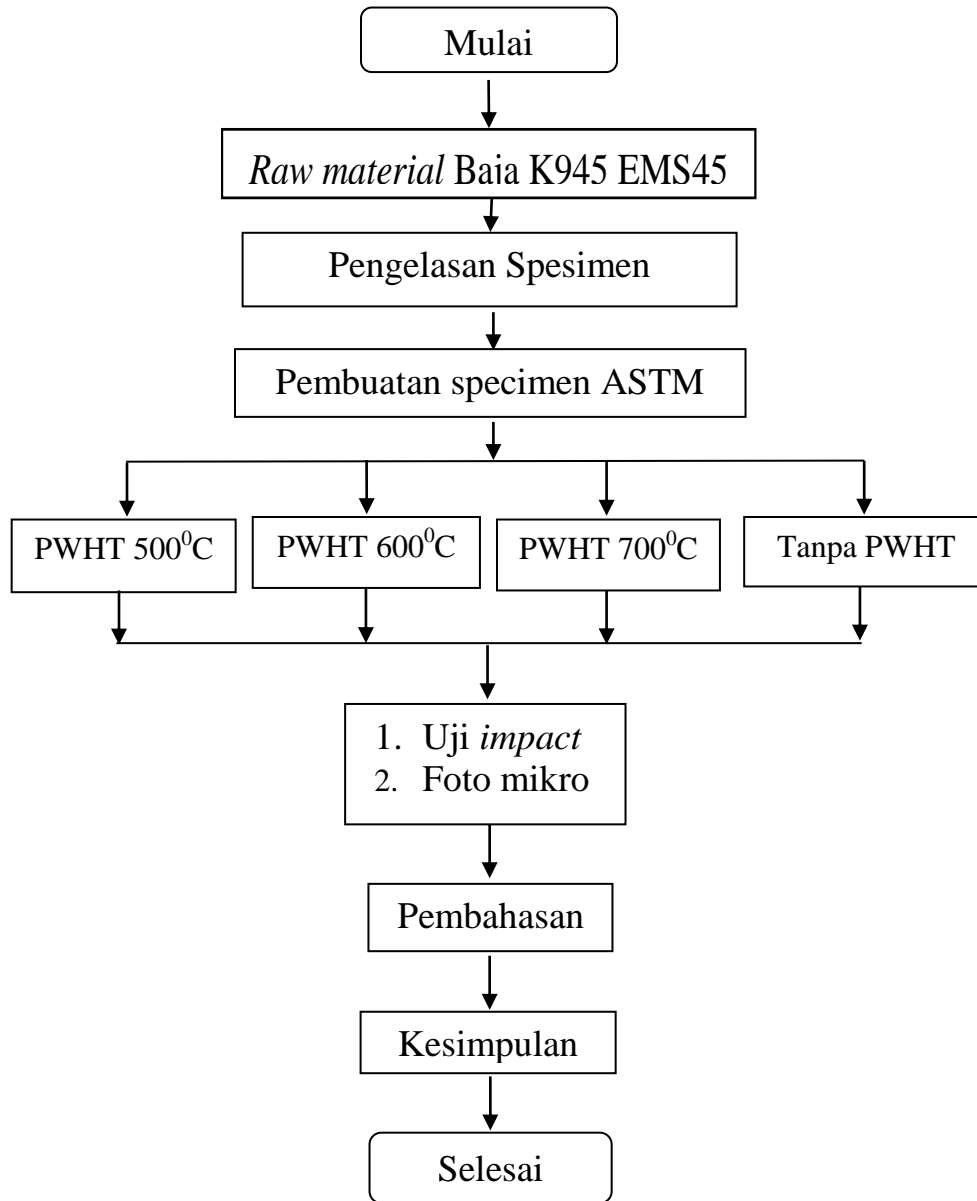
Ada beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Baja K945 EMS45
2. Elektroda E7018
3. Ampelas dengan *grade* 60 sampai 2000
4. Autosol
5. Larutan etsa (HNO_3)
6. Alkohol

3.4 Alur Penelitian.

Alur pengujian material untuk memperoleh hasil uji dalam penelitian ini adalah penyiapan Raw material Baja K945 EMS45 setelah itu material yang disiapkan untuk dibuat kampuh V untuk pengelasan spesimen, pembuatan spesimen ASTM, ada 16 spesimen yang akan diberi perlakuan panas PWHT annealing. Empat spesimen akan diberi perlakuan yang berbeda-beda, empat spesimen pertama diberi perlakuan PWHT 500°C , empat spesimen kedua diberi perlakuan PWHT 600°C , empat spesimen yang ketiga diberi perlakuan PWHT 700°C , dan yang terakhir tanpa PWHT. Hasil dari perlakuan PWHT annealing akan diuji impact, setelah pengujian

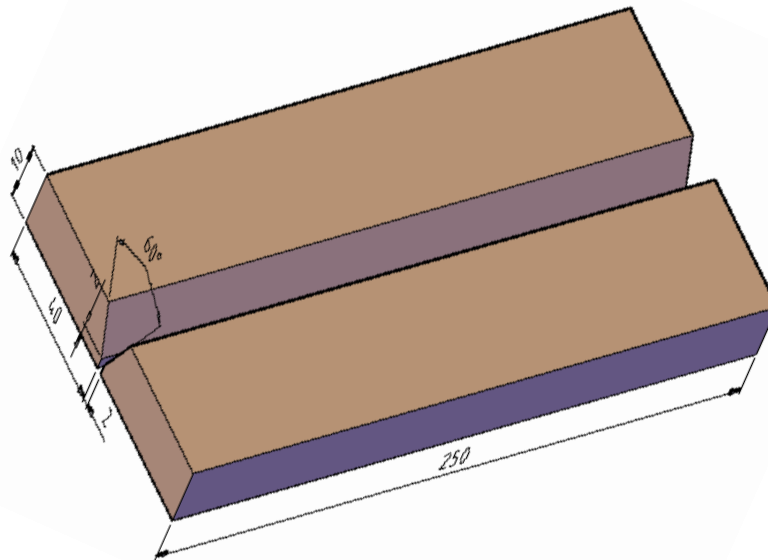
impact akan diuji struktur mikro. Hasil dari pengujian impact dan stuktur mikro didapatkan kesimpulan hasil akhir dari pengujian impact dan struktur mikro.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.5 Spesimen

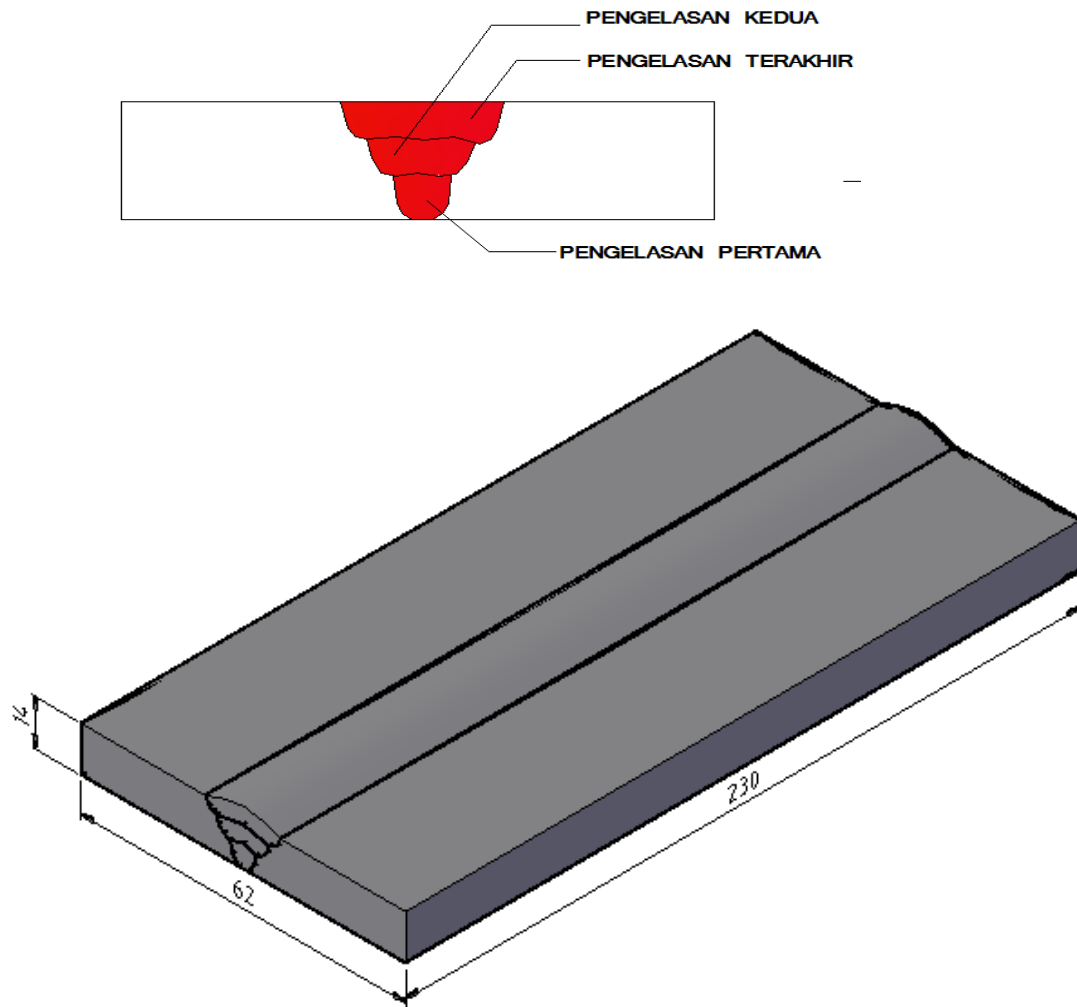
Penelitian ini mempunyai tahapan-tahapan yang harus dilalui mulai dari pemilihan bahan sampai pengujian. Tahap pertama adalah pemilihan bahan, selanjutnya dilakukan uji kimiawi untuk menjamin bahwa baja tersebut merupakan baja K945 EMS45. Menyiapkan spesimen sebanyak 16 buah dengan perincian tiap perlakuan variasi suhu masing-masing 4 buah. Suhu PWHT 500°C ada 4 buah, suhu PWHT 600°C ada 4 buah, suhu PWHT 700°C ada 4 buah, dan tanpa PWHT ada 4 buah. Menyiapkan pula spesimen untuk mikro sebanyak 4 buah dengan perincian sama. Jadi total spesimen yang dibutuhkan dalam proses anil ada 20. Tahap kedua adalah pembuatan kampuh V seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kampuh V untuk Uji *Impact* dan Struktur Mikro

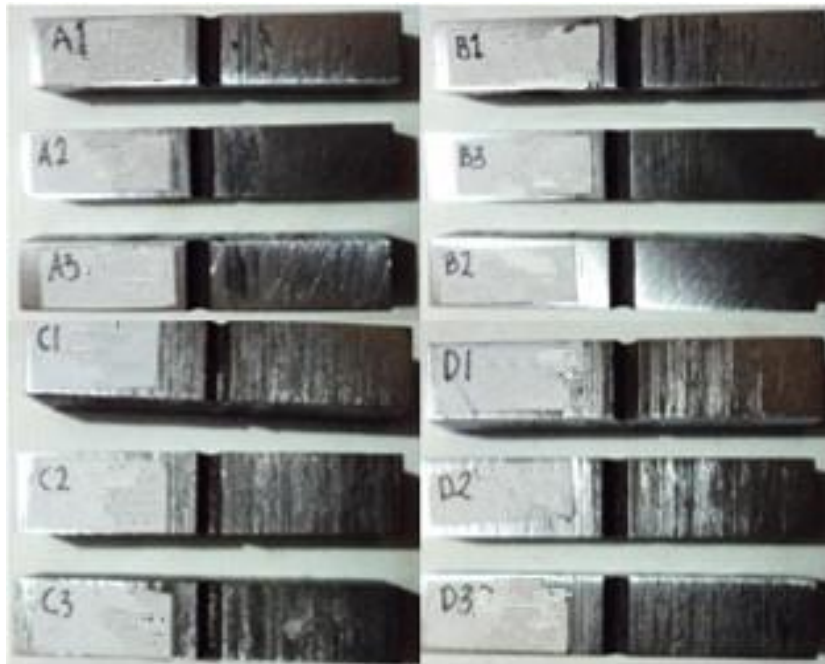
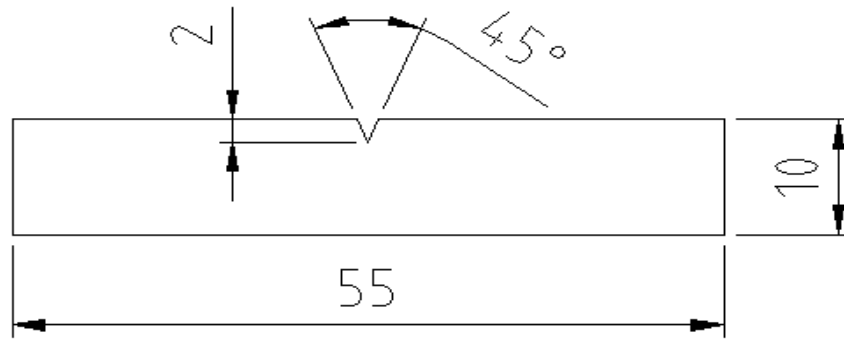
Setelah pembuatan kampuh selesai tahap ketiga adalah proses pengelasan SMAW. Proses pengelasan ini dibutuhkan ketelitian dan ketrampilan seseorang yang

tinggi harus, oleh karena itu proses pengelasan dilakukan oleh tukang las yang bersertifikat agar hasil lasan benar-benar baik sesuai standar.



Gambar 3.3 Proses Pengelasan

Tahap keempat adalah pembuatan spesimen uji struktur mikro dan uji *impact*. Bahan yang sudah di las tadi diubah menjadi spesimen uji sesuai dengan standart pengujian yang telah ditentukan. Proses pembuatan spesimen uji tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin frais.



Gambar 3.4 Spesimen Uji *Impact* ASTM E23

Keterangan :

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| A. PWHT 500 ⁰ C | C. PWHT 700 ⁰ C |
| B. PWHT 600 ⁰ C | D. Tanpa PWHT |

3.6 Cara Pengujian

Spesimen uji adalah melakukan proses *annealing*. Sebelum melakukan proses *annealing*, periksa terlebih dahulu oven pemanas. Setelah oven dalam keadaan yang baik langkah selanjutnya adalah sebagai berikut.

- a. Menyiapkan spesimen sebanyak 16 buah dengan perincian tiap perlakuan variasi suhu masing-masing 4 buah. Suhu PWHT 500⁰C ada 4 buah, suhu PWHT 600⁰C ada 4 buah, suhu PWHT 700⁰C ada 4 buah, dan tanpa PWHT ada 4 buah. Menyiapkan pula spesimen untuk mikro sebanyak 4 buah dengan perincian sama. Jadi total spesimen yang dibutuhkan dalam proses anil ada 20.
- b. Memasukkan 4 spesimen uji impact dan 1 spesimen struktur mikro ke dalam oven hingga mencapai suhu 500⁰C selama 60 menit. Setelah itu didinginkan sampai suhu kamar menggunakan oven. Ini dilakukan di dalam oven agar temperatur pendinginan dapat terjaga.
- c. Mengulangi pekerjaan yang sama untuk suhu 600⁰C dan 700⁰C selama 60 menit.

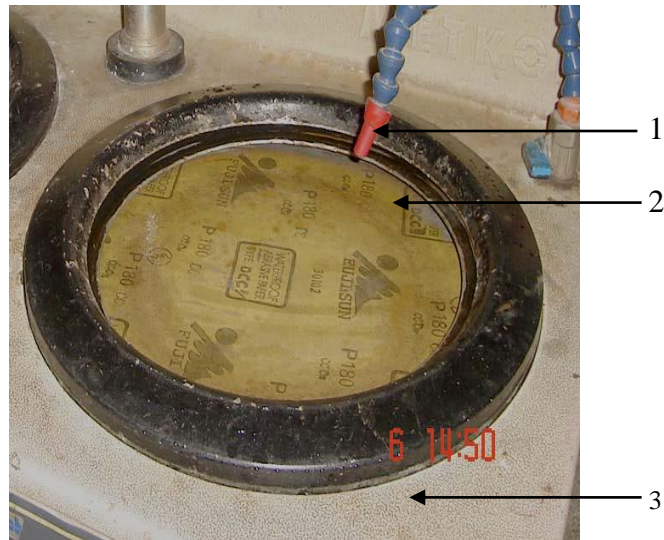


Spesimen yang telah melalui proses *annealing* harus dibedakan menurut temperatur suhu proses pemanas. Spesimen setelah dingin, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian. Pengujian yang pertama yaitu uji fisis/struktur mikro.

Spesimen dibersihkan menggunakan autosol agar bersih dan mengkilat. Setelah dibersihkan kemudian dimasukkan dalam cairan *etsa* dengan menggunakan larutan HNO_3 dengan cara dicelupkan kemudian dibilas dengan alkohol atau air secukupnya yaitu 2,5 ml dari 100% HNO_3 dicampur 97,5 ml larutan air sampai terlihat daerah-daerah logam las, daerah batas las dengan HAZ, daerah HAZ dan daerah batas HAZ dengan logam induk. Proses *etsa* selesai, spesimen dibilas dengan alkohol dan air biasa. Spesimen dikeringkan dan spesimen siap difoto struktur mikro.

Tujuan dari struktur mikro adalah untuk mengetahui struktur mikro *raw material* hasil pengelasan tanpa anil, dan hasil pengelasan dengan anil. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Spesimen uji yang menjadi obyek dari penelitian ini adalah spesimen uji jenis *ASTM E 8*.

Pengujian foto struktur mikro, sebelumnya memotong material yang sudah dilas dengan ukuran 100 x 10 x 10 mm, setelah itu material yang sudah di potong dipoles dahulu agar material halus dan rata. Pemolesan dengan menggunakan ampelas *grade* 200 sampai 1500. Spesimen di ampelas dengan ukuran 1500 sampai halus kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus dan mengkilap.



Gambar 3.6 Alat Pemoles Spesimen

Keterangan Gambar:

- 1.Pipa air
- 2.Ampelas
- 3.Meja mesin



Gambar 3.7 Hasil Pemolesan

Spesimen yang sudah di autosol kemudian di masukan dalam cairan *etsa* dengan menggunakan larutan HNO_3 dengan cara dicelupkan kemudian dibilas dengan alkohol atau air secukupnya yaitu 2,5 ml dari 100% HNO_3 dicampur 97,5 ml larutan air sampai terlihat daerah las-lasannya, yaitu daerah logam las, daerah

batas las dengan *HAZ*, daerah *HAZ* dan daerah batas *HAZ* dengan logam induk. Setelah proses *etsa* selesai spesimen dibilas dengan alkohol dan air biasa. Spesimen dikeringkan, setelah kering spesimen siap di foto stuktur mikro.

Langkah-langkah untuk melakukan proses struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a. Meletakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 200x.
- b. Sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa dengan menggunakan film asa 200. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop optik bergerak.



Gambar 3.8 Mikroskop Optik

Proses struktur mikro, tahap selanjutnya yaitu melakukan pengujian *impact*. Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur harga ketangguhan suatu material uji. Dari pelaksanaan pengujian *impact* dapat diperoleh grafik ketangguhan *impact*, dari grafik ini dapat dilihat jenis-jenis perpatahan pada spesimen uji ASTM E23.

Pengujian *impact* lebih sederhana dari pada pengamatan struktur mikro karena tidak melakukan proses pembersihan dengan autosol. Adapun langkah-langkah untuk pengujian tarik sebagai berikut :

- a. Menyiapkan alat dan spesimen terlebih dahulu, setelah itu spesimen dijepit pada ragam uji *impact*, sebelumnya telah diketahui penampangnya, panjang awal dan ketebalan.
- b. Setelah spesimen uji dijepit, kemudian tarik bandul pada mesin uji kemudian lepaskan. Dilepaskan dengan menarik pengunci lengan, maka bandul akan berayun mematahkan benda uji.
- c. Perhatikan ukuran yang ada pada skala mesin uji kemudian dicatat.
- d. Lakukan sampai semua spesimen telah dilakukan pengujian dengan ketentuan 4 spesimen dengan suhu annealing 500°C waktu 60 menit, 4 spesimen dengan suhu annealing 600°C waktu 60 menit, 4 spesimen dengan suhu annealing 700°C waktu 60 menit, 4 spesimen tanpa perlakuan panas. Pada pengujian ini yang dipakai adalah sudut 156° , pembenturnya mempunyai jari-jari 83 cm dan massa 8,5 kg.



Gambar 3.9 Alat Uji *Impact*

3.7 Teknik pengumpulan data.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan metode dokumentasi, observasi eksperimen langsung yaitu metode pengumpulan data penelitian yang dengan sengaja dan secara sistematis mengadakan perlakuan atau tindakan pengamatan terhadap suatu variabel dan eksperimen yaitu mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor atau lebih yang sengaja dimunculkan dalam setiap perbukuan. Pengambilan data yang dilakukan adalah dengan meneliti atau mengukur sifat fisis dan mekanis material dengan pengelasan *SMAW* menggunakan perlakuan panas *PWHT annealing* pada suhu kritis terendah dengan menggunakan suhu 500°C , 600°C dan 700°C pada waktu 60 menit yang kemudian

sebagai kelompok eksperimen. Sedangkan kelompok kontrol adalah obyek penelitian *raw material* dengan pengelasan tanpa perlakuan *PWHT annealing*.

Pengamatan eksperimen menggunakan lembar tabel eksperimen untuk mempermudah dalam pendekatan hasil pengujian. Lembar pengamatan uji *impact* dan struktur mikro sebagai berikut :

3.7.1 Lembar Pengamatan pengujian impact

Tabel 3.1 Lembar Pengamatan Pengujian *Impact*

Eksperimen	No spesimen	Energi terserap (mkg)	Ketangguhan <i>impact Charpy</i> (mkg/mm ²)
Non Annealing	1.		
	2.		
	3.		
Annealing 500 ⁰ C	1.		
	2.		
	3.		
Annealing 600 ⁰ C	1.		
	2.		
	3.		
Annealing 700 ⁰ C	1.		
	2.		
	3.		

Sumber : Hasil olah data

Tabel 3.2 Lembar Perbandingan Nilai Uji *Impact*

Eksperimen	Uji <i>impact</i>			Mean
	Nilai Ketangguhan			
	1	2	3	
Non PWHT				
PWHT 500 ⁰ C				
PWHT 600 ⁰ C				
PWHT 700 ⁰ C				

3.7.2 Analisis data.

Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis statistik deskriptis data mentah yang diperoleh dari pengujian, kemudian diolah dalam persamaan statistika yaitu persamaan nilai tengah (*mean*) sebagai berikut:

$$\text{Nilai Tengah (mean)} = \frac{\Sigma n}{N}$$

Dimana :

Σn = Jumlah Skor/Nilai Variabel

N = Banyaknya Variabel

Data yang diperoleh merupakan data yang bersifat kuantitatif berarti data berupa angka-angka yang memberikan penjelasan atau memberi tentang perbandingan antara data *raw material* pengelasan tanpa perlakuan annealing dan pengelasan dengan perlakuan *annealing* 500⁰C, 600⁰C dan 700⁰C dengan waktu 60 menit penyajian selanjutnya dengan diagram batang.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Adanya proses pengaruh variasi suhu PWHT *annealing* menyebabkan naiknya ketangguhan pada baja K945 EMS45, ditandai dengan patahan yang terjadi di daerah las pada spesimen PWHT *annealing* penampang patah berserat. Sementara itu spesimen tanpa PWHT *annealing* patah yang terjadi di daerah las penampang patah *granular*. Dalam proses *annealing* semakin tinggi suhu yang digunakan menyebabkan nilai ketangguhan semakin naik dan nilai kekerasannya semakin menurun dan pada penampang patahannya berserat sehingga benda itu menandakan ulet.
2. Proses *annealing* mempengaruhi struktur mikro baja K-945 EMS-45 akibat pengaruh proses pengelasan SMAW menjadi halus dan relatif sama pada perbandingan struktur antara daerah las, HAZ dan logam induk terutama pada proses anil penuh 700⁰C. Fenomena-fenomena yang nampak pada pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan, maka bentuk butiran dari ferit, dan perlit semakin membesar dan halus. Semakin membesar dan halus butiran strukturnya maka kekerasannya semakin menurun dan ketangguhan baja semakin meningkat.

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang perlu disampaikan demi kesinambungan hasil penelitian yang telah diperoleh. Saran yang diberikan yaitu:

1. *Temperatur annealing* 700⁰C memiliki nilai ketangguhan yang paling baik dibandingkan dengan variasi *temperatur* 500⁰C dan 600⁰C. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi suhu dan waktu dalam proses perlakuan panas sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanis baja K945 EMS 45.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi suhu *annealing* dan variasi *holding time* dikarenakan laju pertambahan nilai ketangguhan belum mengalami penurunan yang mengindikasikan bahwa masih dapat mengalami kenaikan, juga perlu dilakukan pengujian selain uji *impact Charpy* seperti pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian lengkung dan pengujian lainnya yang dibutuhkan dalam perancangan suatu konstruksi.
3. Sebelum melakukan pengelasan, elektroda sebaiknya dimasukan kedalam oven supaya penyalannya lebih mudah.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi waktu dalam proses perlakuan panas sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan ketangguhan baja K945 EMS45.

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.
- Amanto, Hari, dan Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- ASTM. 1996. *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken: American Society For Testing Material.
- Dieter, George E. 1986. *Metalurgi Mekanik*. Terjemahan dari Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Karohika, I Made Gatot. 2009. Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektrode pada Pengelasan Smaw Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon. *Jurnal Ilmiah Cakram*. Vol. 3 No.2. Hal: 144-149.
- Malau, Viktor 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.
- Mizhar, Susri dan Suherman. 2011. Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140. *Jurnal Dinamis*. Vol II. No. 8. Hal: 21-26.
- Purwaningrum, Yustiasih. 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.
- Sari, Ratna Kartika dan Sutrisna. 2013. Pengaruh Temperatur Anil terhadap Ketangguhan dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si. *Jurnal ROTASI*. Vol. 15, No. 1. Hal: 11-15.
- Sonawan, Hery dan Rochim Suratman. 2004. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung. Alfabeta.
- Smallman, R. E. dan R. J. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Terjemahan dari Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Sriwidharto,. 1996. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Vlack, Lawrence H. Van. 2004. *Elemen–Elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.

Wiryo Sumarto, Harsono, dan Toshie Okumura. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat tugas dosen pembimbing



KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor : 708 / FT-UNNES / 2012

Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2012/2013

- Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat : 1. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
2. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
3. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
- Memperhatikan : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pendidikan Teknik Mesin Tanggal 13 Desember 2012

MEMUTUSKAN

Menetapkan
PERTAMA

Menunjuk dan menugaskan kepada :

1. Nama : Heri Yudianto, S.Pd., M.T.
NIP : 196707261993031003
Pangkat/Golongan : IV/a - Pembina
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing I
2. Nama : RUSIYANTO, S.Pd., M.T.
NIP : 197403211999031002
Pangkat/Golongan : III/d - Penata Tk. 1
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : DEDY HERNAWAN
NIM : 5201408081
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pendidikan Teknik Mesin
Topik : PENGARUH VARIASI SUHU PROSES ANNEALING
PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP
KETANGGUHAN BAJA BOHLER K945 EMS45

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 27 Desember 2012
DEKAN



Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd.
NIP. 196602151991021001

Tembusan

1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Dosen Pembimbing
4. Pertinggal



5201408081

Lampiran 2. Surat ijin penelitian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK

Gedung E1, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

Telepon: 0248508101

Laman: <http://ft.unnes.ac.id>, surel: ft_unnes@yahoo.com

Nomor : 916/UM37-1.5/PP/2014
Lamp. :
Hal : Ijin Penelitian

Kepada

Yth. Kepala Lab. Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada
di Lab. Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada

Dengan Hormat,

Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk menyusun skripsi/tugas akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:

Nama : DEDY HERNAWAN
NIM : 5201408081
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1
Topik : PENGARUH VARIASI SUHU PROSES ANNEALING PADA
SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN BAJA BOHLER
K945 EMS45

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.



Semarang, 2 April 2014

Dengan,

Dis. Muhammad Harlanu, M.Pd.

NIP. 196602151991021001

Lampiran 3. Surat permohonan pinjam Lab Teknik Mesin Unnes



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gedung E5 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
 Telp. (024) 8508103, Fax. (024)8508103

25Maret 2014

Hal : PermohonanPeminjaman Lab permesinan

Yth.Kalab.TeknikMesinUnnes
 Di Semarang

Assalamu'alaikumwarahmatullahiwabarakatuh

Sehubungandengankegiatanpenelitianskripsisaya :

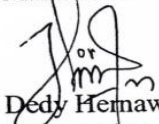
No.	Nama	NIM	Prodi
1.	Dedy Hernawan	5201408081	PTM S1
2.	Gesa Yuda Amarta	5201408116	PTM S1

Berkaitanhaltersebutmakasayaberniatmeminjam Lab Permesinangunamenunjang proses penelitian.


Demikianpermohonansayasampaikan, atasperhatiandanijinnyasayaucapkanterimakasih.

Wassalamu'alaikumwarahmatullahiwabarakatuh

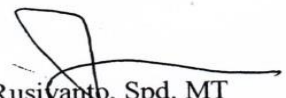
Mahasiswa 1


 Dedy Hernawan
 5201408081

Mahasiswa 2


 Gesa Yuda Amarta
 5201408116

Mengetahui
 Kalab.TeknikMesin UNNES


 Rusiyanto, Spd. MT
 NIP. 197403211999031002

*Kepada yth. Bpk. wawan, mohon ijin untuk dapat
 KTM dititipkan, tks.*

J 26/3/14.

Lampiran 4. Surat ijin penelitian Lab Bahan Teknik UGM



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA
 Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281
 Telp. (0274) 521673, Fax. (0274) 521673 e-mail: malau@ugm.ac.id

No. : 371/Lab Bahan Teknik/JTMI/UGM/2014.
 Lamp. :
 Hal : SURAT KETERANGAN.

SURAT KETERANGAN

Kami selaku pengelola Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada menerangkan bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : DEDY HERNAWAN
 No. Mahasiswa : 5201408081
 Program studi : Pendidikan TEKNIK MESIN UNNES

Telah bebas dari segala tanggungan di Laboratorium Kami, dan telah selesai melakukan penelitian pada tanggal 10 Juni 2014 dalam rangka penelitian dengan judul :

” PENGARUH VARIASI SUHU ANNEALING PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA K945 EMS45“

Demikian surat keterangan ini di buat dengan sebenar-benarnya, untuk dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

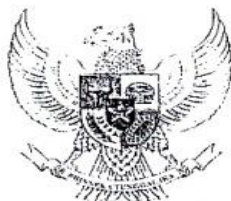
Yogyakarta, 10 Juni 2014
 Teknisi Laboratorium
 Bahan Teknik UGM



Sunhaji
 NIP:196506041986121001

Lampiran 5. Sertifikat kompetensi Las

02. 0472701



**BADAN NASIONAL
SERTIFIKASI PROFESI**
*INDONESIAN PROFESSIONAL
CERTIFICATION AUTHORITY*

SERTIFIKAT KOMPETENSI
CERTIFICATE OF COMPETENCE

No. 28126 7212 0015616 2012

Dengan ini menyatakan bahwa,
This is to certify that,

DWI NUGROHO SUSANTO

No. Reg. LOG 004 00013 2012

Telah kompeten pada bidang :
Is competent in the area of :

01. LOG.00.02.005.01	04. LOG.00.05.015.01
02. LOG.00.05.012.01	05. LOG.00.05.016.01
03. LOG.00.05.013.01	06. LOG.00.18.001.01

dengan Kualifikasi/Kompetensi :
with Qualification/Competency :

Pabrikasi
Fabrication

Sertifikat ini berlaku untuk: 3 (Tiga) Tahun
This certificate is valid for: 3 (Three) Year

Jakarta, 04 Januari 2012

Atas Nama (On Behalf of)
Badan Nasional Sertifikasi Profesi
Lembaga Sertifikasi Profesi Logam dan Mesin Indonesia
Indonesian Professionals Certification Body Metalworks and Machinery

Bambang Nurcahyono
Ketua Pelaksana (Executive Director)

H. Setiawan Mulyadi
Ketua Pengarah (Chairperson)

Daftar Unit Kompetensi
List of Unit(s) of Competency

NO.	Kode Unit Kompetensi <i>Code of Competency Unit</i>	Judul Unit Kompetensi <i>Title of Competency Unit</i>
1.	LOG.OO.02.005.01	Mengukur dengan menggunakan alat ukur Measure with graduated devices
2.	LOG.OO.05.012.01	Melakukan rutinitas pengelasan menggunakan las busur manual dan / atau las gas (metal) Perform routine manual arc and/or gas metal arc welding
3.	LOG.OO.05.013.01	Melakukan pengelasan secara manual Perform manual production welding
4.	LOG.OO.05.015.01	Mengelas dengan proses las busur metal manual Weld using manual metal arc welding process
5.	LOG.OO.05.016.01	Mengelas tingkat lanjutan dengan proses las busur metal secara manual Perform advanced welding using manual metal arc welding process
6.	LOG.OO.18.001.01	Menggunakan perkakas tangan Use hand tools

Jakarta, 04 Januari 2012

Lembaga Sertifikasi Profesi Logam dan Mesin Indonesia
Indonesian Professionals Certification Body Metalworks and Machinery



DWI NUGROHO SUSANTO

Tanda tangan pemilik
(Signature of holder)

Rony Sudarmawan

Ketua Bidang Sertifikasi
(Head of Certification Department)

Lampiran 6. Sertivikat spesimen Baja K945 EMS45



PT. BHINNEKA BAJANAS

S.I.U.P. No. 1296/97/09 - 02/PB/XII/2000



Jl. Kerang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta - Indonesia P.O.Box.4103/JKT
 Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431, 6925591, 6909308 (hunting) Fax: 6911569, 6924291

TEST CERTIFICATE

Nr./No./No.: 023/ 13.12.2012
 Seite/Page/Page: 01
 27.10.2012

Bestell Nr./Purchaser's Order No./No. de commande

BE/08.12

Unsers Auftrags Nr./Works Order No./No. commande d'usine

FXH20100728-A / RI

Lieferschein/Dispatch note/Avis d'expédition

18.09.2012/ OB

Prüfgegenstand/Subject of test/Object d'examen

STEEL FLAT BARS (AISI 1045)
 / E.M.S 45

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Lista descriptive

01 18 x 2070 x 6096 MM

Gewicht kg
 Weight lbs
 Poids kg

2.340

Schmelze
 Heat No.
 No. de coulée

293531-3

Prüf-Nr
 Test No.
 Epreuves No.

TRUE COPY

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelze Heat No. No. de coulée	C	Si	MN	P	S	CR	NI	Mo	V	Al	Cu
293531-3	0.49	0.28	0.65	0.15	0.08						

SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU
 UNTUK DO NO : *[Signature]*
 PT. BHINNEKA BAJANAS

Chemische Zusammenfassung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Prüf-Nr Test No. Epreuves No.	Heizwert Bismelli	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0,2) N/mm2	Elongation %	Reduction %
01	≤ 190				

DO NO : 03881/12/12/Sag.

Tanggal : 12-12-2012

PT. BHINNEKA BAJANAS
[Signature]

Lampiran 7. Lembar uji komposisi Baja K945 EMS45

LAPORAN HASIL ANALISA
REPORT OF ANALYSIS

No Order : 51813
Customer : HARDIKA

Tanggal : 18/05/2013
Kode sampel : PLAT BAJA 18MM

Analisa : Spectrometer
Hasil / result :

Program : FELOW

Unsur	%
C	0.4708
Si	0.3233
S	0.0005
P	0.0169
Mn	0.5884
Ni	0.0106
Cr	0.0164
Mo	0.0018
Cu	0.0160
w	0.0037
Ti	0.0035
Sn	0.0363
Al	0.0211
Pb	0.0000
Ca	0.0002
Zn	0.0007
Fe	98.48

Catatan: Sampel diuji oleh laboratorium kami

5/18/2013 6:48:42 AM Sample: PLAT BAJA 18 MM
Program: FELOW Task: FELOW

Run	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	W
Avg	0.4708	0.3233	0.0048	0.0169	0.5884	0.0106	0.0164	0.0018	0.0160	0.0037
	Il	Sn	Al	Pb	Ca	Zn	Fe			
Avg	0.0035	0.0363	0.0211	0.0000	0.0016	0.0007	98.48			

Lampiran 8. Hasil pengujian impact

DIMENSI SPESIMEN

Nama Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luasan (mm²)
A1	9,4	8,9	84,6
A2	10	8,9	89
A3	10,2	8,9	90,78
B1	8,9	10,2	90,78
B2	9	10,2	91,8
B3	8,9	10,2	90,78
C1	9	10,3	92,7
C2	9,2	10,3	94,76
C3	9,1	10,3	93,73
D1	9,1	9,9	90,09
D2	8,9	9,9	88,11
D3	8,9	10,1	89

NILAI KETANGGUHAN

Diketahui

$$\alpha = 156^{\circ}$$

$$R = 83 \text{ cm} = 0,83 \text{ mm}$$

$$m = 8,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

1. Spesimen A1 (annealing 500⁰)

$$\beta = 80^{\circ}$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 80 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,17 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,08 \\ &= 76,94 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 76,194 : 84,6 \\ &= 0,9 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Spesimen A2 (annealing 500⁰)

$$\beta = 68^{\circ}$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 68 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,37 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,28 \\ &= 90,304 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 90,304 : 89 \\ &= 1,2 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

3. Spesimen A3 (annealing 500⁰)

$$\beta = 78^0$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 78 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,2 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,11 \\ &= 78,3 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 78,3 : 90,78 \\ &= 0,8 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

4. Spesimen B1 (annealing 600⁰)

$$\beta = 50^0$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 50 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,64 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,55 \\ &= 109,35 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 109,35 : 90,78 \\ &= 1,2 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

5. Spesimen B2 (annealing 600⁰)

$$\beta = 43^0$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 43 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,73 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,64 \\ &= 115,70 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 115,70 : 91,8 \\ &= 1,26 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

6. Spesimen B3 (annealing 600⁰)

$$\beta = 47^0$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 47 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,68 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,59 \\ &= 112,31 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 112,31 : 90,78 \\ &= 1,23 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

7. Spesimen C1 (annealing 700⁰)

$$\beta = 4^0$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 4 - \cos 156) \\ &= 70,55 (0,99 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 1,907 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 134,53 \text{ Joule} \\
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 134,53 : 92,7 \\
 &= 1,45 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

8. Spesimen C2 (annealing 700⁰)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 3^0 \\
 E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 3 - \cos 156) \\
 &= 70,55 (0,99 + 0,91) \\
 &= 70,55 \cdot 1,90 \\
 &= 134,65 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 134,53 : 94,76 \\
 &= 1,42 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

9. Spesimen C3 (annealing 700⁰)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 9^0 \\
 E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 9 - \cos 156) \\
 &= 70,55 (0,98 + 0,91) \\
 &= 70,55 \cdot 1,897 \\
 &= 133,88 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 133,88 : 93,73 \\
 &= 1,42 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

10. Spesimen D1 (tanpa annealing)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 91^0 \\
 E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 91 - \cos 156) \\
 &= 70,55 (-0,017 + 0,91) \\
 &= 70,55 \cdot 0,89 \\
 &= 62,96 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 62,96 : 90,09 \\
 &= 0,69 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

11. Spesimen D2 (tanpa annealing)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 95^0 \\
 E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 95 - \cos 156) \\
 &= 70,55 (-0,087 + 0,91) \\
 &= 70,55 \cdot 0,82 \\
 &= 58,05 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 58,05 : 88,11 \\
 &= 0,65 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

12. Spesimen D3 (tanpa annealing)

$$\beta = 98^{\circ}$$

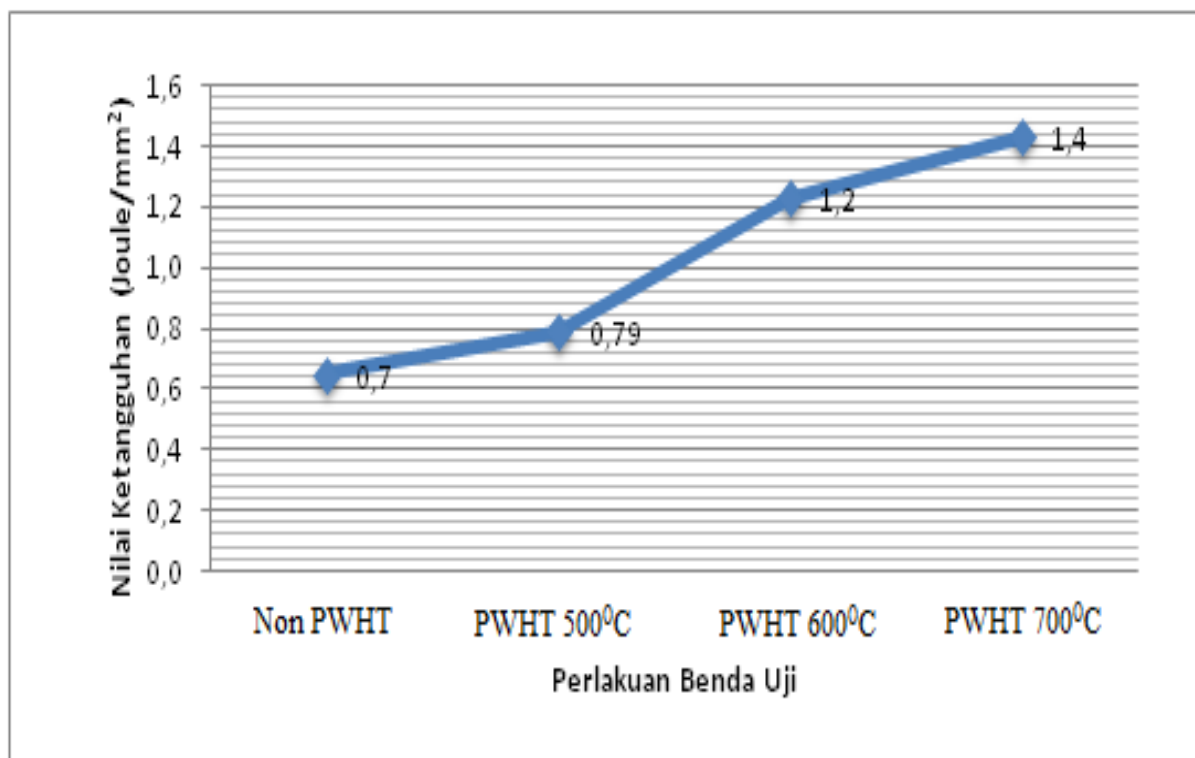
$$\begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 8,5 \cdot 10 \cdot 0,83 (\cos 98 - \cos 156) \\ &= 70,55 (-0,139 + 0,91) \\ &= 70,55 \cdot 0,77 \\ &= 54,38 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 54,38 : 89 \\ &= 0,61 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

DATA HASIL PENGUJIAN

Eksperimen	No spesimen	Energi terserap (Joule)	Luas penampang patah (mm ²)	Ketangguhan <i>impact Charpy</i> (Joule/mm ²)
Non PWHT	1.	62,96	90,09	0,69
	2.	58,05	88,11	0,65
	3.	54,38	89	0,61
PWHT 500 ⁰	1.	76,194	84,6	0,9
	2.	90,94	89	1,2
	3.	78,3	90,78	0,8
PWHT 600 ⁰	1.	109,35	90,78	1,20
	2.	115,70	91,8	1,26
	3.	112,31	90,78	1,23
PWHT 700 ⁰	1.	134,53	92,7	1,45
	2.	134,65	94,76	1,42
	3.	133,88	93,73	1,42

Grafik Hasil uji *impact* ketangguhan Baja K945 EMS45



Lampiran 9. Dokumentasi penelitian



