PENGARUH *HOLDING TIME 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 : Farid Wahyu Wibowo

NIM : 5201408087

Prodi : Pendidikan Teknik Mesin

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2013

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "Pengaruh *Holding Time Annealing* Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45" disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan 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, September 2013

Farid Wahyu Wibowo
5201408087

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:
Nama : Farid Wahyu Wibowo
NIM : 5201408087
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Judul : Pengaruh *Holding Time 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	: Widi Widayat, S.T. M.T. NIP. 197408152000031001	(.....)
Penguji Utama	: Rusiyanto, S.Pd. M.T. NIP. 197403211999031002	(.....)
Penguji Pendamping I	: Heri Yudiono, S.Pd. M. T. NIP. 196707261993031003	(.....)
Penguji Pendamping II	: Widi Widayat, S.T. M.T. NIP. 197408152000031001	(.....)

Ditetapkan di Semarang
Tanggal September 2013

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

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

ABSTRAK

Wibowo, Farid Wahyu. 2013. "Pengaruh *Holding Time 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 *holding time post weld heat treatment annealing* pada pengelasan baja K945 EMS45 terhadap ketangguhan, pengamatan foto mikro dan pengamatan foto makro material tersebut. 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 ialah metode eksperimen. Pengelasan menggunakan jenis las SMAW. Kemudian dilakukan proses PWHT *annealing* pada suhu 690^0C dengan variasi waktu penahanan 30, 60 dan 90 menit yang dipanaskan dalam *furnace* dan didinginkan di dalam *furnace* sampai suhu ruangan.

Hasil penelitian menunjukan bahwa nilai rata-rata ketangguhan spesimen non PWHT sebesar 1,005 Joule/mm^2. Pada spesimen PWHT 30 menit nilai ketangguhannya naik 0,611 Joule/mm^2 yaitu 1,616 Joule/mm^2. Pada spesimen PWHT 60 menit nilai ketangguhannya sedikit mengalami kenaikan sebesar 0,018 Joule/mm^2 yaitu 1,634 Joule/mm^2 dan spesimen PWHT 90 menit juga mengalami sedikit kenaikan sebesar 0,011 Joule/mm^2 yaitu 1,645 Joule/mm^2. Pada proses *annealing* dengan suhu 690^0C perubahan struktur mikronya belum bisa homogen. Pada daerah las masih terlihat struktur martensitnya, pada daerah logam induk tidak terjadi perubahan yang berarti. Penampang patah yang terjadi pada spesimen non PWHT berbentuk *granular*. Penampang patah yang terjadi pada spesimen yang mengalami perlakuan, bentuk perpatahannya ulet berserat. Hal ini menunjukan bahwa dengan PWHT *annealing* dapat meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja K945 EMS45. Untuk *holding time* PWHT *annealing* yang baik dalam penelitian ini adalah menggunakan waktu 90 menit dan yang mempunyai ketangguhan terendah adalah spesimen non PWHT *annealing*.

Kata kunci : SMAW**,** PWHT *Annealing*, *holding time*, Struktur Mikro, Ketangguhan

ABSTRACT

Wibowo, Farid Wahyu. 2013. "Pengaruh *Holding Time Annealing* Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45". Skripsi, *Mechanical Enginering Department, Enginering, Semarang State University.*

The purpose of this study is to know is there any effect of holding time post weld heat treatment annealing to the objective of the research is to determine is there any effect of holding time post weld heat treatment annealing on welding steel K945 EMS45 to toughness, observation of micro photo and macro photo of its material. Research by using K945 EMS45 steel type, containing 0,4708% carbon content, 0,3233% silicon, 0,5884 manganese, and another forming elements.

This research using experimental research. Welding using SMAW welding type then do the PWHT annealing at temperature of 690^0C with a hold time variation of 30, 60 and 90 minutes which is heated in the furnace and cooled in the furnace to room temperature.

The result of this research shows that average value of non PWHT toughness specimen is 1,005 Joule/mm^2. On 30 minutes PWHT specimen toughness value increase 0,611 Joule/mm^2 that is 1,616 Joule/mm^2. On 60 minutes PWHT specimen toughness value slightly increase 0,018 Joule/mm^2 that is 1,634 Joule/mm^2 and On 90 minutes PWHT specimen toughness value also has slightly increase 0,011 Joule/mm^2 that is 1,645 Joule/mm^2. The annealing process with temperature of 690^0C micro structure change not yet homogeny. The weld region visible martensit structure, there is no significant change in the parent metal regions. Sectional fracture that occurs in non PWHT specimen granular form. Cross fractures that occurs in the specimen being treated per fracture form is resilient fibrous. It shows that PWHT annealing can increase steel toughness and tenacity of K945 EMS45. In this research, to apply holding time PWHT annealing should use 90 minutes and which has the lowest toughness is specimen non PWHT annealing.

Keyword: SMAW**,** PWHT Annealing, holding time, 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. Sahabatku kost Coservacy selalu membuatku tersenyum, memberikan banyak pengalaman dan pelajaran yang akan selalu aku ingat.
3. Teman-teman seperjuangan PTM angkatan 2008 yang aku cintai dan banggakan.
4. 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 *Holding Time 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 Widi Widayat, S.T. M.T. selaku pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan pengarahan dengan sabar, serta bapak Rusiyanto, S.Pd. M.T. 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, September 2013

Farid Wahyu Wibowo

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 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

BAB II LANDASAN TEORI 6

2.1 Landasan Teori 5

2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon 5

2.1.2 *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) 6

2.1.3 Diagram TTT 7

2.1.4 *Annealing* 8

2.1.5 Pengelasan 9
2.1.6 Pengelasan Busur Nyala Logam Terlindung 10
2.1.7 Pemilihan Kampuh atau Sambungan Las 14
2.1.8 Prosedur Pengelasan 14
2.1.9 Ketangguhan Daerah Lasan 16
2.1.10 Pengamatan Perpatahan 18
2.1.11 Struktur Mikro 19
2.2 Kerangka Berfikir 22
BAB III METODE PENELITIAN 22
3.1 Metode Eksperimen 23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 23
3.3 Alat dan Bahan 24
3.4 Diagram Alir Penelitian 25
3.5 Pelaksanaan Penelitian 26
3.6 Pengumpulan Data 33
3.7 Analisis Data 34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Komposisi Bahan Baja K945 EMS45 35
4.2 Pengamatan Struktur Mikro 35
4.3 Pengamatan Penampang Patah 50
4.4 Pengujian *Impact* 52
4.5 Pembahasan Hasil Penelitian 55
BAB V PENUTUP 59

5.1 Simpulan 59

5.2 Saran 60

DAFTAR PUSTAKA 61

LAMPIRAN 62

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Spesifikasi elektroda terbungkus dari baja lunak..... 13

2.2 Spesifikasi besar arus..... 14

3.1 Lembar Pengamatan Pengujian *Impact* 33

3.2 Lembar Perbandingan Nilai Uji *Impact*..... 34

4.1 Data Komposisi Kimia Baja K945 EMS45 35

4.2 Data Hasil Pengujian *Impact* 52

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Diagram TTT	7
2.2	Diagram Fasa Fe-C	8
2.3	Las Busur Dengan Elektroda Terbungkus	11
2.4	Kampuh V Tunggal	14
2.5	Setting Untuk Pengelasan	15
2.6	Lapisan Las	15
2.7	Ilustrasi Skematis Pengujian *Impact Charpy*	17
2.8	Spesimen Uji *Impact*	17
2.9	Perpatahan Benda Uji	19
2.10	Daerah Las	20
2.11	Struktur Mikro Perlit	21
2.12	Struktur Mikro Ferit+Perlit Baja 0,25%C	21
2.13	Struktur Martensit	22
3.1	Diagram Alir Penelitian	25
3.2	Material Kampuh V	26
3.3	Proses Pengelasan	27
3.4	Material Spesimen Uji *Impact* ASTM E23	28
3.5	Material Spesimen Uji Struktur Mikro	28
3.6	*Furnace*	29
3.7	Mesin Amplas/Poles	30

3.8 Hasil Pemolesan 30

3.9 Mikroskop optik 31

3.10 Alat Uji *Impact* 32

4.1 Struktur Mikro Spesimen Non PWHT *Annealing* Daerah Lasan 36

4.2 Struktur Mikro Spesimen Non PWHT *Annealing* Daerah HAZ 36

4.3 Struktur Mikro Spesimen Non PWHT *Annealing* Logam Induk 37

4.4 Struktur Mikro Spesimen Non PWHT *Annealing* Daerah Batas Las Dengan HAZ 38

4.5 Struktur Mikro Spesimen Non PWHT *Annealing* Daerah HAZ Dengan Logam Induk 38

4.6 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 30 Menit Daerah Lasan 39

4.7 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 30 Menit Daerah HAZ 40

4.8 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 30 Menit Logam Induk 40

4.9 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 30 Menit Daerah Batas Las Dengan HAZ 41

4.10 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 30 Menit Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ 42

4.11 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 60 Menit Daerah Lasan 42

4.12 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 60 Menit Daerah HAZ 43
4.13 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 60 Menit Daerah Logam Induk 43
4.14 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Las Dengan HAZ 44
4.15 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 60 Menit Pada Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ 45
4.16 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 90 Menit Pada Daerah Lasan 45
4.17 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 90 Menit Pada Daerah HAZ 46
4.18 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 90 Menit Pada Daerah Logam Induk 47
4.19 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 90 Menit Pada Daerah Batas Las Dengan HAZ 47
4.20 Struktur Mikro Spesimen PWHT *Annealing* 690^0C Dan Waktu 90 Menit Pada Daerah Batas Logam Induk Dengan HAZ 48
4.21 Penampang Patah Spesimen 50
4.22 Diagram Perbandingan Nilai Ketangguhan Hasil Pengujian *Impact* ... 53
4.23 Hasil Pengujian *Impact* 54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Surat Tugas Dosen Pembimbing Skripsi 63
2. Surat Ijin Penelitian 64
3. Sertifikat Kompetensi *Welder* 68
4. Sertifikat Baja K945 EMS45..... 70
5. Surat Keterangan Selesai Penelitian di UGM..... 71
6. Data Hasi Uji Komposisi Baja K945 EMS45 72
7. Perhitungan Nilai Ketangguhan 73
8. Dokumentasi kegiatan 79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengelasan adalah suatu pekerjaan yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi dan industri sekarang ini. Pengelasan sering digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan dari semua alat-alat yang terbuat dari logam, baik sebagai proses penambalan retak-retak, penyambungan sementara, maupun pemotongan bagian-bagian logam.

Secara umum pengelasan dapat diartikan sebagai suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan pada saat logam dalam keadaan cair. Sekarang ini pengelasan merupakan pekerjaan yang sangat penting dalam teknologi produksi dengan bahan baku logam. Pada sambungan–sambungan konstruksi mesin banyak menggunakan teknik pengelasan karena dengan penggunaan teknik ini sambungan menjadi lebih ringan dan lebih sederhana sehingga biaya produksi dapat lebih murah.

Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia kontruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan logam mengalami

ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang tinggi pada daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ).

Tegangan sisa bersifat menetap, dan terjadi akibat siklus termal yang tidak merata dengan diikuti oleh siklus pendinginan yang tidak merata pula. Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2004: 144) terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilaksanakan adalah cara termal dengan proses PWHT *annealing.* Pada proses *annealing*, waktu penahanan (*holding time*), suhu pemanasan, dan laju pendinginan merupakan faktor yang sangat penting. *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.

Penerapan prosedur PWHT pada dunia industri dan konstruksi sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas suatu produk, terutama pada pipa-pipa gas dan tangki gas. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi perambatan retak pada hasil pengelasan dan meningkatkan ketangguhan suatu material. Tetapi pada umumnya dalam pembuatan suatu konstruksi yang menggunakan proses pengelasan mengabaikan PWHT. Hal ini disebabkan karena proses PWHT memerlukan waktu cukup lama. Selain itu jika memproduksi konstruksi yang besar memerlukan

furnace yang besar. Suatu industri harus berfikir dua kali untuk melakukan proses PWHT, karena akan menghabiskan waktu dan menambah biaya produksi. Padahal sebuah industri dituntut untuk memproduksi barang secepat mungkin sesuai permintaan. Tetapi jika suatu industri lebih mengutamakan kualitas, sebaiknya hal ini perlu dipertimbangkan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa, perubahan struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan yang berbeda-beda pada tiap-tiap daerah konstruksi, maka dilakukukan PWHT *annealing*. Pemilihan suhu dan *holding time annealing* harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Berdasarkan uraian di atas maka timbul permasalahan, yaitu: bagaimanakah pengaruh *holding time* PWHT *annealing* terhadap ketangguhan dan pengamatan struktur mikro baja K945 EMS45?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *holding time* PWHT *annealing* terhadap ketangguhan dan pengamatan struktur mikro baja K945 EMS45.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Memberikan tambahan ilmu pengetahuan bagi pengembangan ilmu dan teknologi, khususnya pengembangan ilmu tentang pengelasan logam pada dunia pendidikan.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber informasi yang sangat penting dalam rangka peningkatan kualitas hasil pengelasan.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia pengelasan logam dan memberi manfaat untuk kemajuan pada dunia industri dan teknologi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon

Secara umum baja karbon adalah baja dengan unsur utamanya besi dan unsur karbon. Kadar karbon untuk baja karbon adalah 0,008 sampai 1,7% dengan diikuti unsur-unsur tambahan lain yang tidak bisa dihindari, unsur-unsur tersebut antara lain Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya. Jika dilihat dari kadar karbonnya, baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

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

Kandungan karbon pada baja karbon rendah kurang dari 0,30%. Sifatnya adalah mempunyai kekuatan relatif rendah, lunak, keuletan tinggi, mudah dibentuk, dan dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek. Baja karbon rendah juga sering disebut baja lunak, salah satu contohnya yang sering digunakan dalam dunia industri adalah baja St 37.

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

Baja jenis ini mempunyai kadar karbon 0,30 sampai 0,45%. Sifat yang dimiliki lebih kuat, keras yang dapat dikeraskan lagi. Untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik, baja ini dapat di*hardening*, seperti poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas dan lain-lain yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi.

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

Kandungan karbon pada jenis ini 0,45 sampai 1,70%. Mempunyai sifat yang lebih baik dan lebih keras dibanding dengan *medium carbon steel*, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Contoh dari baja karbon tinggi adalah baja K945 EMS45 karena mempunyai komposisi kimia 0,48 C; 0,30 Si dan 0,70 Mn. K merupakan singkatan dari *koude werken staal* yang artinya baja untuk pengerjaan dingin, 9 merupakan kode untuk baja karbon, 45 menunjukkan kadar karbonnya 0,45%, EMS kepanjangan dari *engineering mild steel* yang artinya baja lunak untuk permesinan. Baja ini digunakan untuk konstruksi yang bertegangan rendah seperti peralatan tangan, peralatan pertanian dan pembuatan cakar ayam. Baja ini juga bisa diberi perlakuan panas *normalizing* pada suhu 850^0C, *annealing* pada suhu 680-710^0C dan *hardening* pada suhu 800-830^0C.

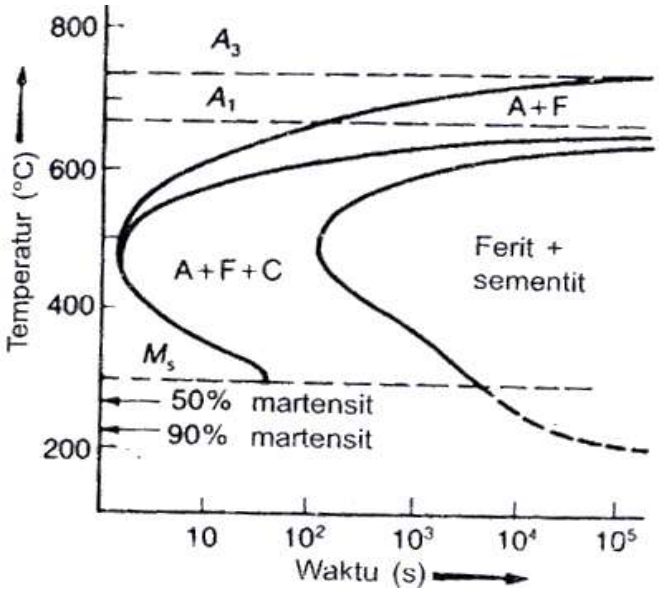
2.1.2 *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

PWHT adalah proses perlakuan panas yang dilakukan setelah proses pengelasan. PWHT bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, kelunakkan, kekerasan, ketangguhan dan memperhalus ukuran butir. Ada beberapa jenis PWHT diantaranya *hardening*, *tempering*, *carburizing*, *annealing* dan *nitriding*.

Menurut Purwaningrum (2006: 235) PWHT mempunyai tiga dasar yaitu *heating, holding, cooling*. *Heating* merupakan pemanasan sampai diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan perubahan struktur mikro. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan yang diinginkan.

2.1.3 Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*)

Diagram TTT terdiri dari grafik waktu yang dibutuhkan pada temperatur tertentu agar berlangsung transformasi dari austenit dengan komposisi eutektoid membentuk salah satu dari tiga struktur yaitu perlit, bainit, atau martensit. Dari diagram TTT dijelaskan bahwa dari dekomposisi austenit dapat diperoleh dari variasi struktur pada baja. Struktur ini mungkin terdiri dari 100% perlit kasar, baja bersifat lunak dan ulet, atau martensit penuh.



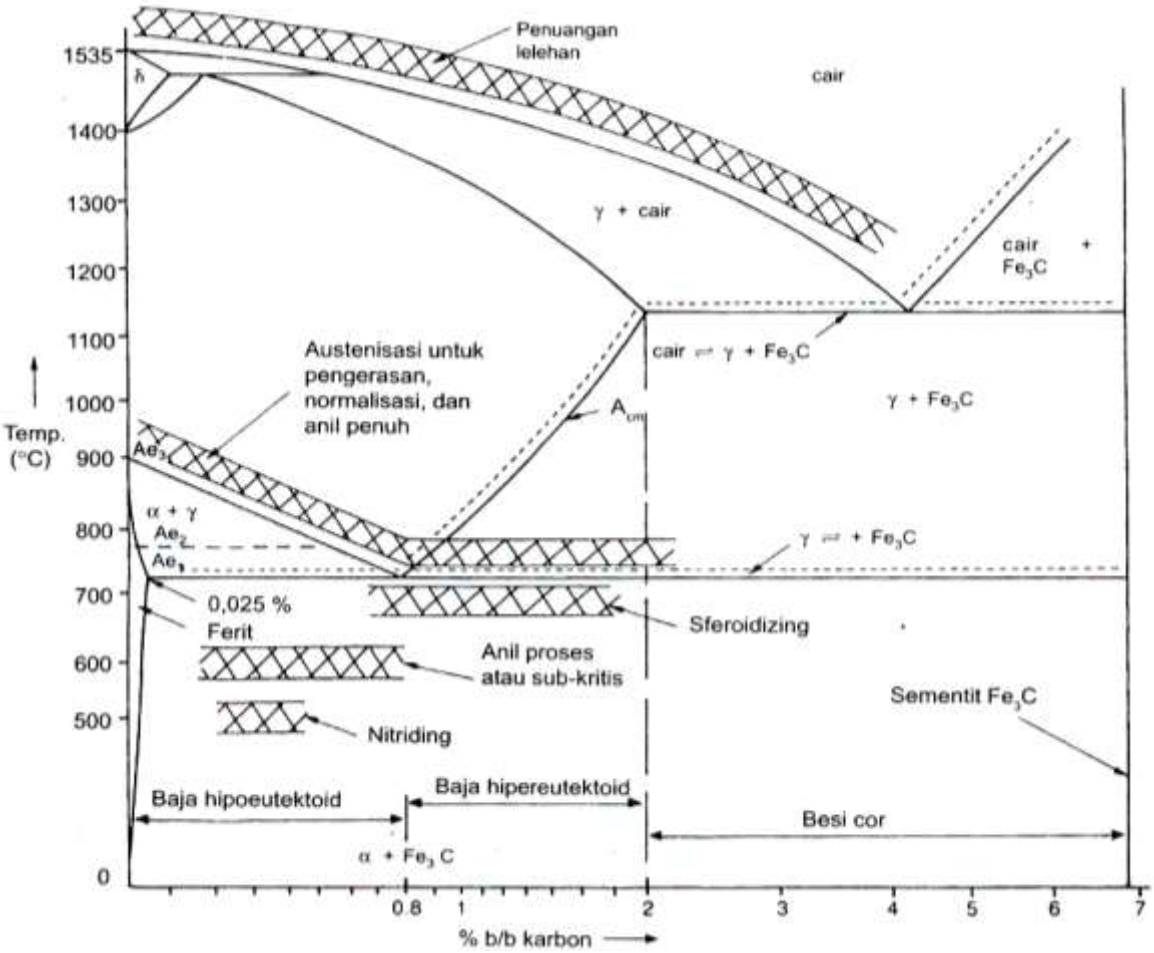
Gambar 2.1 Diagram TTT untuk baja *hipoeutektoid* (Smallman dan Bishop, 2000: 301)

Dari diagram TTT tampak di bawah titik kritis A_1, laju transformasi rendah meskipun perpindahan atom cukup tinggi pada rentang temperatur ini. Sedangkan di bagian tengah kurva TTT sekitar 250-300^0 C ternyata laju transformasi meningkat dan berlangsung sangat cepat meskipun perpindahan atom pada rentang temperatur ini sangat lambat. Oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan bahwa transformasi martensit tidak tergantung pada kecepatan migrasi atom karbon. Austenit mulai bertransformasi menjadi martensit jika temperatur turun dan berada

dibawah temperature kritis, yang disebut M_s. Di bawah M_s jumlah austenit yang bertransformasi menjadi martensit dinyatakan dalam persen digambarkan dengan diagram dengan garis horisontal.

2.1.4 *Annealing*

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.



Gambar 2.2 Diagram fasa Fe-C (Smallman dan Bishop, 2000: 68)

Proses *annealing* dibagi menjadi tiga macam, yaitu *annealing* penuh, *annealing isothermal*, *annealing* pada suhu kritis terendah. A*nnealing* penuh merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar tetapi lunak. Pada proses *annealing* penuh ini biasanya dilakukan dengan memanaskan logam sampai keatas temperatur kritis (untuk baja *hypoeutectoid*, 25^0 C hingga 50^0 C diatas garis A3 sedang untuk baja *hypereutectoid* 25^0 C hingga 50^0 C diatas garis A1). Dilanjutkan dengan pendinginan yang cukup lambat sampai suhu kamar di dalam *furnace* itu sendiri.

Annealing isothermal adalah proses dengan pemanasan antara temperatur kritis bawah (A1) dan temperatur kritis atas (A3) kemudian didinginkan secara lambat di *furnace* dengan mematikan oven pemanas. Pada proses ini semua perlit berubah menjadi austenit.

Dalam proses *annealing* pada suhu kritis terendah, pemanasan dipertahankan pada beberapa suhu di bawah batas transformasi (perubahan). Suhu itu cukup tinggi untuk membuat pengkristalan kembali dan struktur yang seragam. Apabila proses ini digunakan untuk baja karbon tinggi akan menyebabkan baja itu mudah dibentuk dan dikerjakan mesin perkakas. Pada waktu baja dikerjakan dengan proses *annealing* dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi dalam periode yang cukup lama, berlangsung proses oksidasi. Hal tersebut menyebabkan terjadinya pengelupasan pada bagian luar.

2.1.5 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkan melalui pemanasan (Widharto, 2001: 1). Untuk

berhasilnya pengelasan diperlukan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, benda padat tersebut dapat cair atau lebur oleh panas, benda yang dilas tersebut terdapat kesesuaian sifat lasnya, cara-cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungannya. 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.

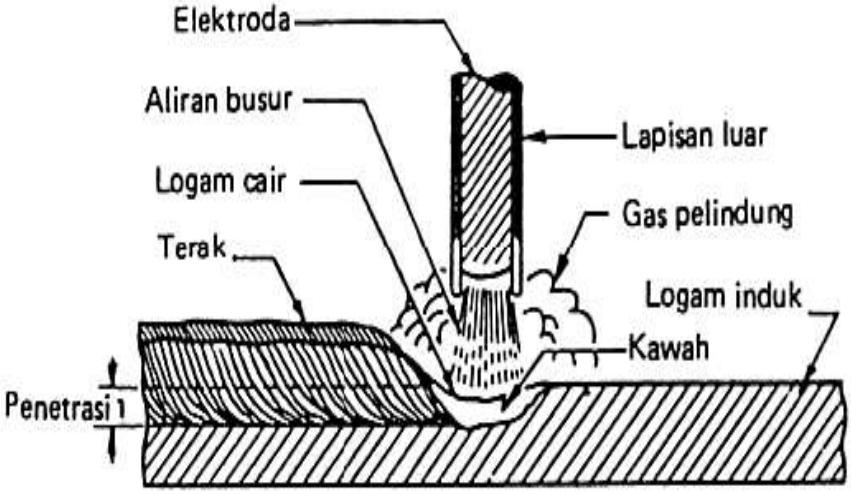
Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2004: 1).

Sedangkan pengelasan menurut Setiawan dan Wardana (2006: 57) adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu diperhatikan prosedur pengelasan yang tepat.

2.1.6 Pengelasan busur nyala logam terlindung

Pengelasan busur nyala logam terlindung (SMAW) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling banyak digunakan pada saat ini. Proses

SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik antara elektroda yang dilapis dan bahan yang akan disambung.



Gambar 2.3 Las busur dengan elektroda terbungkus

Gambar 2.3 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. Perlu ketelitian yang tinggi agar pada waktu pengelasan, tinggi rendahnya elektroda tetap terjaga. Kawat 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.

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 (Wiryosumarto dan Okumura, 2004: 10).

Fluks 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.

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.

Pemilihan elektroda juga harus diperhatikan, pemilihan didasarkan pada jenis *fluks*, posisi pengelasan dan arus las. Misalnya 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 kg/mm^2.

Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS ASTM	Jenis *fluks*	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 dan Okumura (2004: 14)

Setelah pemilihan dilakukan maka perlu dilakukan pemilihan besarnya arus yang akan digunakan. Besarnya arus ditentukan dari diameter elektroda dan jenis elektroda yang digunakan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

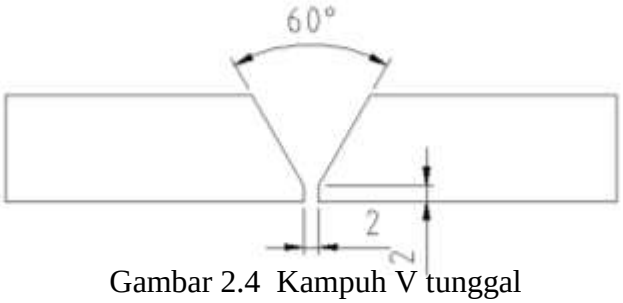
Tabel 2.2 Spesifikasi besaran arus

Diameter Elektroda		Daerah jangkau besaran arus (dalam Ampere)							
in	mm	E6010 dan E6011	E6012	E6013	E6020	E6022	E7014	E7015, E7016, dan E7016-1	E7018 dan E7018-1
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: Widharto (2001: 114)

2.1.7 Pemilihan kampuh atau sambungan las

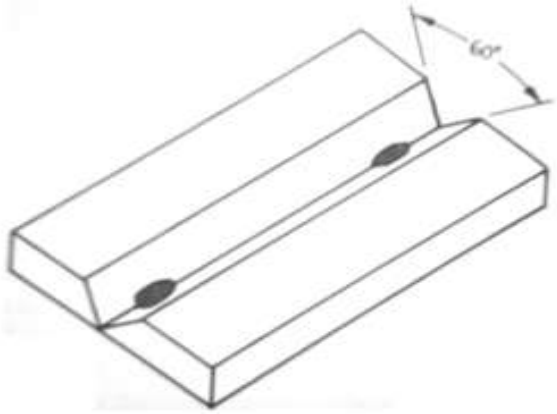
Jenis kampuh atau sambungan dalam pengelasan beraneka ragam, tergantung dari bentuk, posisi dan fungsi dari benda itu sendiri. Untuk spesimen yang tidak membutuhkan keseimbangan yang tinggi cukup menggunakan kampuh V tunggal. Contohnya pada spesimen pengujian kekerasan dan *impact*. Pada kampuh V biasanya menggunakan sudut 30^0-35^0.



Gambar 2.4 Kampuh V tunggal

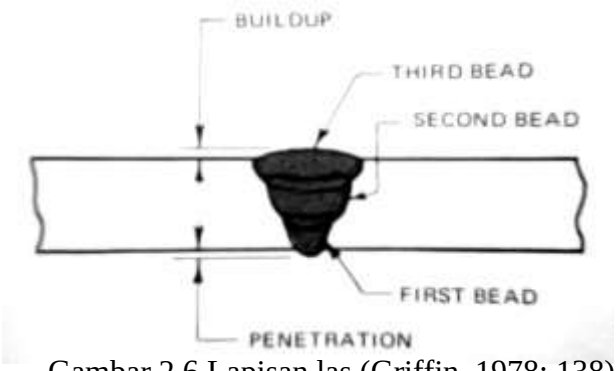
2.1.8 Prosedur pengelasan

Langkah pertama dalam melakukan pengelasan yaitu potong pelat baja sesuai dengan ukuran yang diperlukan, di sisi yang akan dilas diberi kemiringan dengan sisi miring 30^0 atau dengan sudut kampuh 60^0.



Gambar 2.5 *Setting* untuk pengelasan (Griffin, 1978: 137).

Langkah selanjutnya adalah menyalakan mesin las, arus las diatur sesuai keinginan dan disesuaikan dengan bahan yang akan dilas. Selanjutnya plat-plat yang akan dilas tersebut disejajarkan dan diletakkan pada meja las, kemudian dilas 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 dilakukan dengan gerakan perlahan, kemudian ayunkan busur las di atas kampuh untuk memberikan manik las dengan permukaan yang melengkung. Mulai pengelasan ketiga, 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.



Gambar 2.6 Lapisan las (Griffin, 1978: 138)

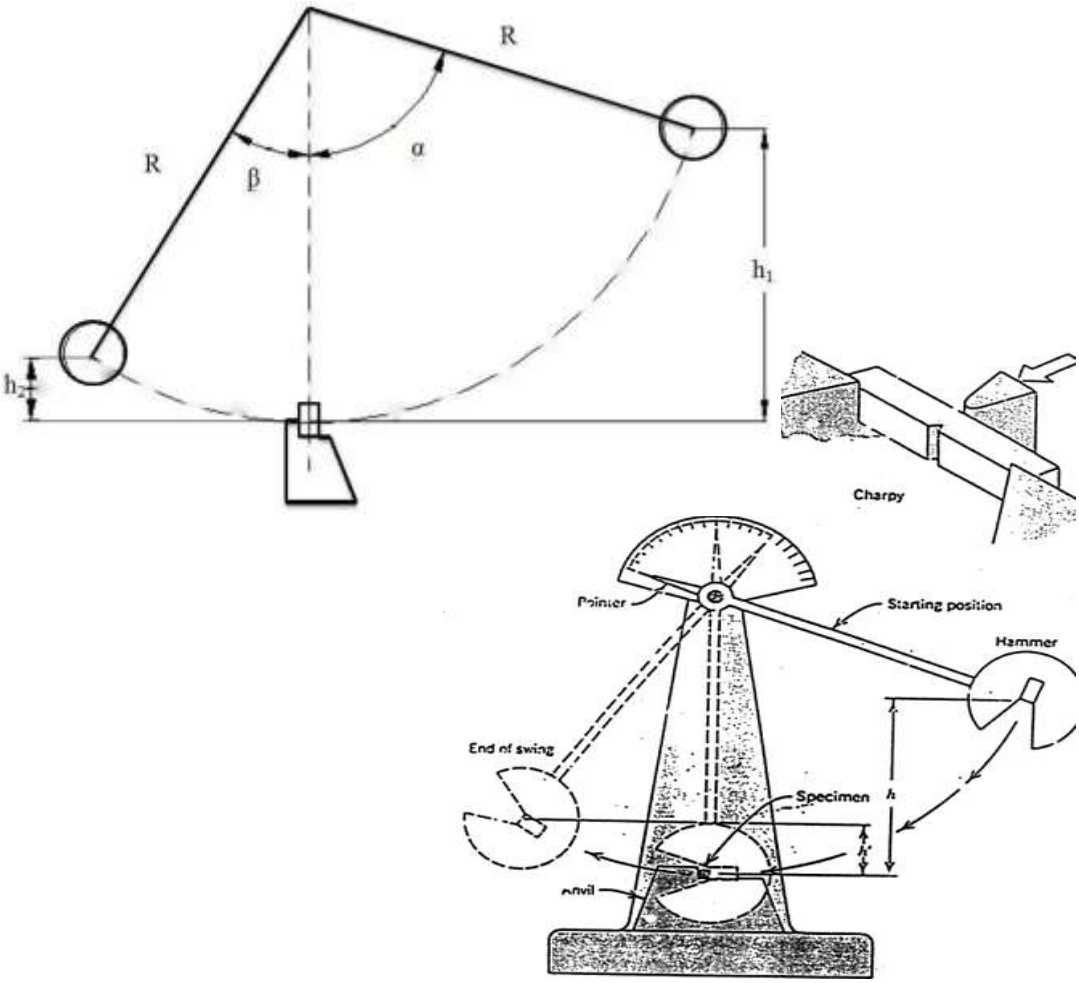
Lapisan akhir las untuk penembusan akar diperiksa dan dibersihkan, kerataan garis peleburan dan atur jaraknya agar sama. Beberapa variasi yang berbeda dari peleburan, penembusan atau reaksi lainnya adalah karena pengelasan yang salah. Hasil yang baik akan diperoleh dengan menggunakan prosedur yang benar.

2.1.9 Ketangguhan daerah lasan

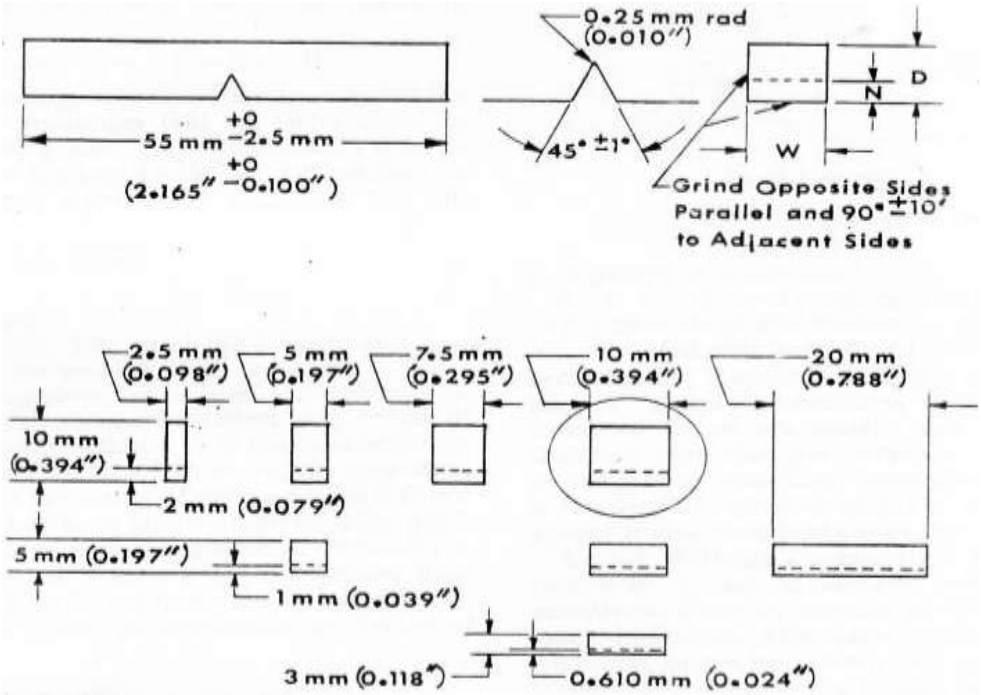
Ketangguhan adalah ketahanan suatu material terhadap beban kejut. Pengujian untuk mengetahui ketangguhan suatu material yang biasa digunakan yaitu uji *impact*. Dasar pengujian *impact* ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.

Secara umum metode pengujian *impact* terdiri dari 2 jenis yaitu metode *Charpy* dan metode *Izod.* Metode *Charpy* itu sendiri adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan, sedangkan metode *Izod* adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan.

Sebelum diuji, pada masing-masing specimen diberi takikan terlebih dahulu dibagian tengahnya. Fungsi takikan pada uji *impact* adalah untuk melokalisir perpatahan, sehingga perpatahan terjadi pada daerah tersebut. Takikan tersebut berbentuk V dengan sudut kemiringan dan kedalaman takikan telah ditentukan sesuai standarisasi ASTM E23 mulai dari dimensi maksimum sampai minimum.



Gambar 2.7 Ilustrasi skematis pengujian *impact Charpy*



Gambar 2.8 Spesimen uji *impact* (ASTM, 1996: 139)

Pada uji *impact*, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Ketika pendulum dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali. Makin besar energi yang terserap, makin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi terserap biasanya dapat dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Energi terserap juga dapat dituliskan dalam bentuk rumus :

$E = m \times g\,(h_1 - h_2) =$ gaya x jarak

dimana :

E = energi terserap = tenaga untuk mematahkan benda uji (Joule)
m = massa palu godam (kg)
g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 10 m/s^2
h_1 = tinggi jatuh palu godam (m) = R+R sin (α - 90)
h_2 = tinggi ayunan palu godam (m) = R+R sin (β - 90)
R = jarak titik putar ke titik berat palu godam (m)
α = sudut jatuh (°)
β = sudut ayun (°)
Sehingga :

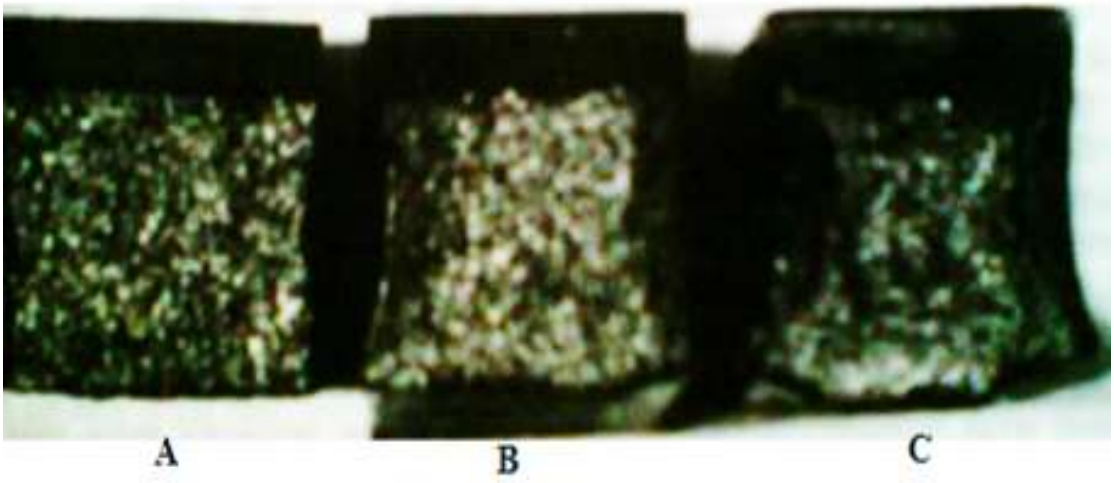
$$\text{Harga ketangguhan} = \frac{\text{Energi terserap (Joule)}}{\text{Luas penampang patahan benda uji } (mm^2)}$$

2.1.10 Pengamatan perpatahan

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.

Permukaan patahan belah yang datar memperlihatkan daya pemantul cahaya yang tinggi serta penampilan yang berkilat yang dapat dilihat pada Gambar 2.9(A). Sementara permukaan patahan yang ulet berserat penampilannya buram

dan kurang beraturan yang dapat dilihat pada Gambar 2.9(C). Sedangkan perpatahan campuran merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas yang dapat dilihat pada Gambar 2.9(B).

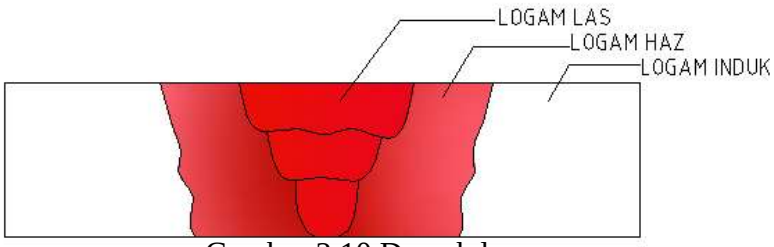


Keterangan:
(A) patahan belah
(B) patahan campuran
(C) patahan berserat

Gambar 2.9 Perpatahan benda uji (Dieter, 1986: 93)

2.1.11 Struktur mikro

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah HAZ 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.

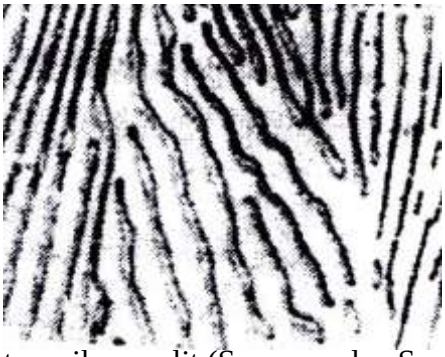


Gambar 2.10 Daerah las

Sebelum melakukan pengujian struktur mikro ada beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahap pertama adalah pemotongan, pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya. Tahap kedua yaitu pengamplasan kasar, tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. Pengamplasan dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar. Tahap ketiga yaitu pemolesan, tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Dalam melakukan pemolesan sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan. Pemolesan ini menggunakan kain yang diolesi autosol dan dalam melakukan pembersihan harus sampai bersih. Apabila terlalu menekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur. Tahap keempat yaitu pengetsaan, hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Tahap kelima yaitu pemotretan, pemotretan dimaksudkan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro dari spesimen setelah difokuskan dengan mikroskop.

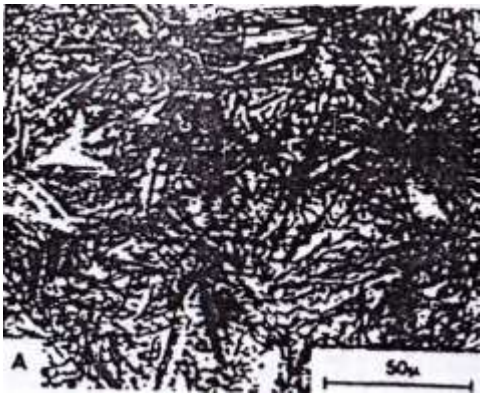
Didalam struktur mikro material ada fasa-fasa yang tersusun didalamnya yaitu austenit, ferit, sementit, perlit dan martensit. Fasa austenit terbentuk pada baja ditemperatur tinggi. Jika fasa austenit didinginkan secara lambat maka akan

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 2.11 Struktur mikro perlit (Sonawan dan Suratman, 2004: 55)

Gambar 2.12 Struktur mikro ferit+perlit baja 0,25% C (Sonawan dan Suratman, 2004: 74)



Gambar 2.13 Struktur martensit (Sonawan dan Suratman, 2004: 58)

2.2 Kerangka Berfikir

Pengelasan saat ini adalah salah satu cara yang paling banyak digunakan untuk menyambung logam. Proses pengelasan mempunyai banyak dampak yang dapat mempengaruhi kekuatan dan keuletan bahan tersebut. Hal ini terjadi karena proses pengelasan meninggalkan tegangan sisa. Oleh karena itu setelah proses pengelasan dilakukan proses perlakuan panas *annealing* agar dapat mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan ketangguhan pada bahan tersebut, sehingga hasil pengelasan dapat maksimal.

Setelah dilakukan proses perlakuan panas *annealing* maka dilakukan pengujian. Pengujian disini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketangguhan hasil lasan tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian fisik dan mekanik. Pengujian tersebut membandingkan apakah variasi waktu PWHT *annealing* berpengaruh pada ketangguhan atau tidak. Dari pengujian ini akan didapat hasil dari pengaruh variasi waktu PWHT *annealing* terhadap ketangguhan baja K945 EMS45.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dipergunakan dalam kegiatan penelitian sehingga hasil penelitian dapat di pertanggungjawabkan. Metode penelitian dalam penelitian ini menggunakan jenis metode eksperimen. Metode eksperimen adalah prosedur penelitian yang dilakukan untuk mengungkapkan hubungan sebab akibat antara variabel bebas dan variabel terikat.

3.1 Metode Eksperimen

Metode eksperimen yang dilakukan adalah meneliti pengaruh variasi waktu penahanan proses PWHT *annealing* pada suhu 690^0 C dengan waktu 30, 60 dan 90 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 Janari 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:

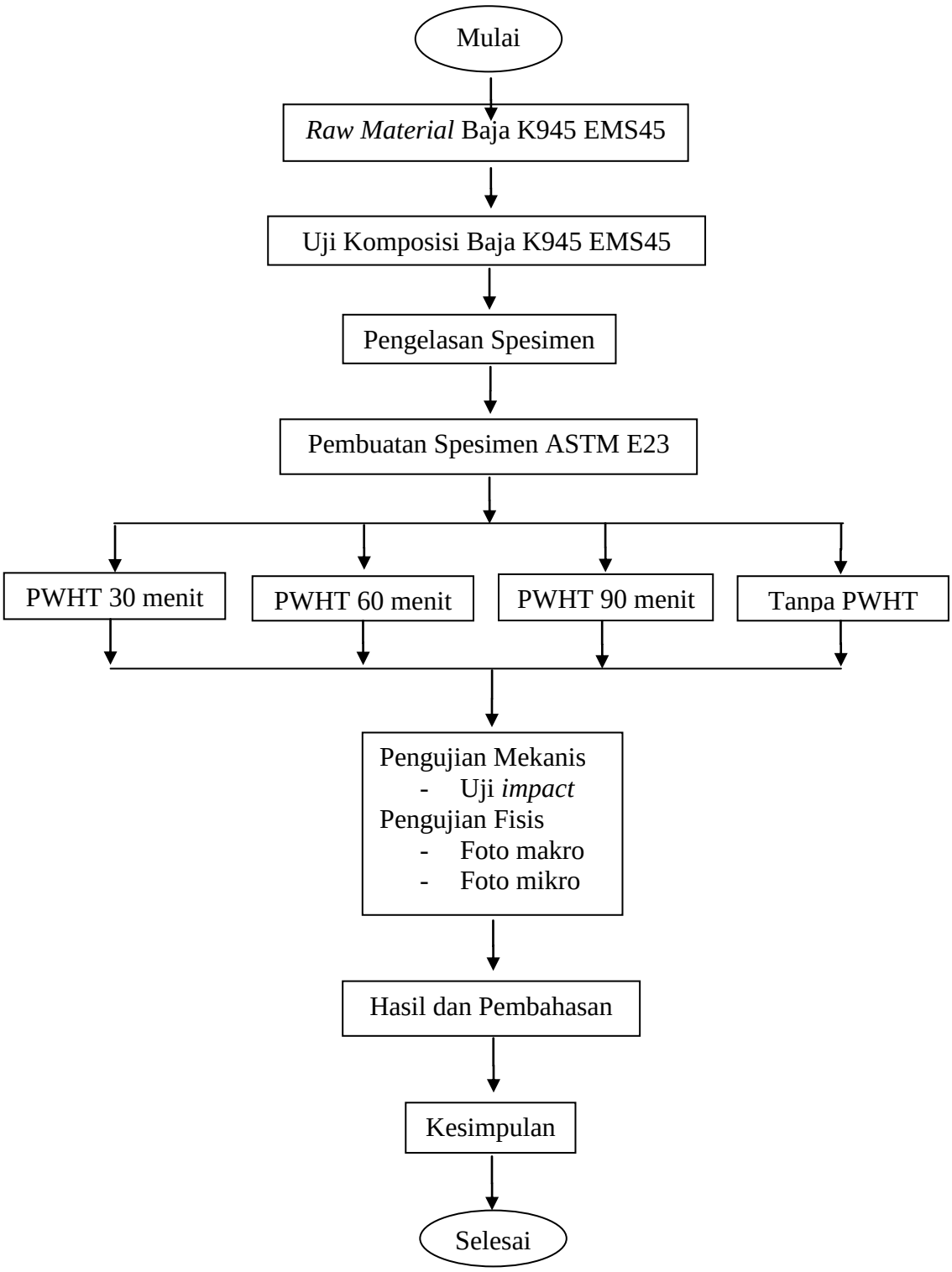
1. Mesin las listrik beserta perlengkapannya
2. Tang dan palu terak
3. Gergaji pita
4. Jangka sorong (alat ukur panjang)
5. *Bevel protector* (alat ukur sudut)
6. Mesin sekrap beserta perlengkapannya
7. Mesin ampelas
8. Mesin poles
9. Alat uji ketangguhan *impact Charpy*
10. Alat pengamatan struktur mikro (mikroskop optik)
11. *Furnace* logam

b. Bahan

Ada beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

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

3.4 Diagram Alir Penelitian

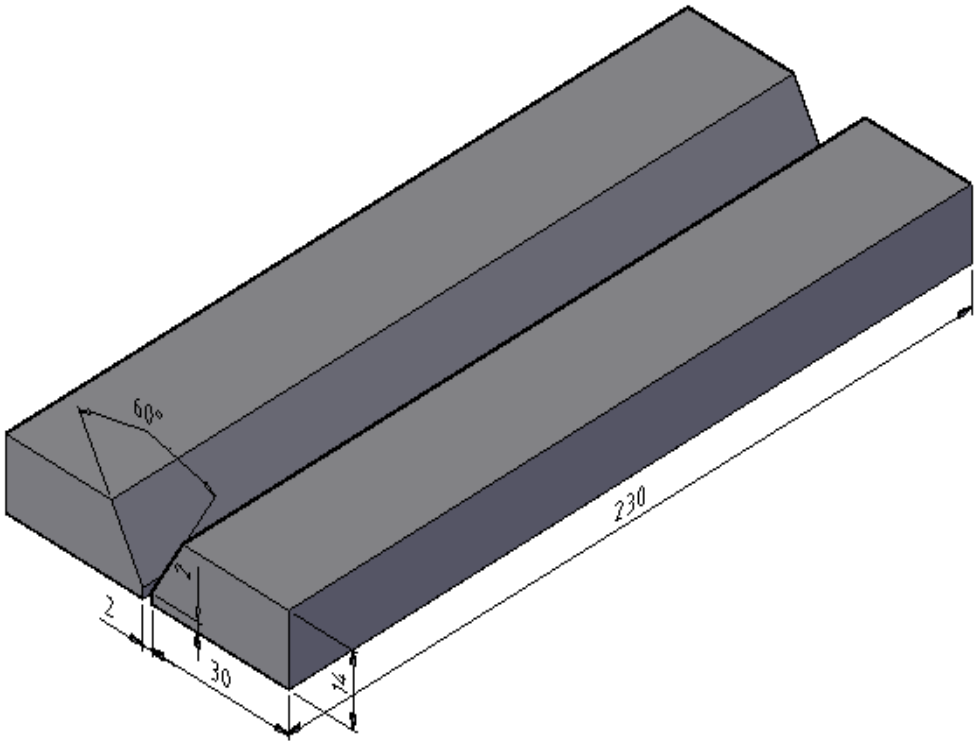


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini mempunyai tahapan-tahapan yang harus dilalui mulai dari pemilihan bahan sampai pengujian. Tahap pertama adalah pemilihan bahan yaitu baja K945 EMS45 dengan komposisi 0,48% C; 0,30% Si; 0,58% Mn.

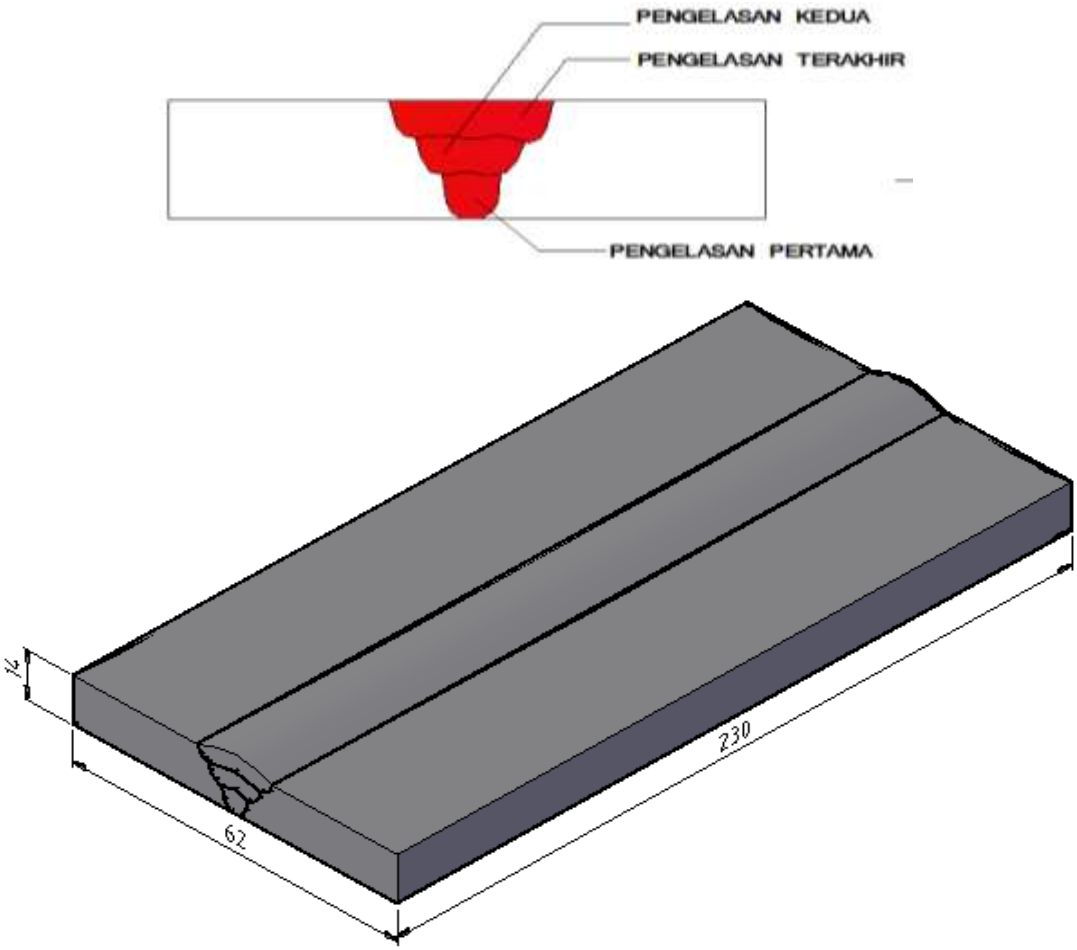
Tahap kedua yang harus dijalani adalah pembuatan kampuh V. Pembuatan kampuh V dilakukan dengan menggunakan mesin frais dengan sudut kampuh yang dibuat adalah 60°.



Gambar 3.2 Material kampuh V

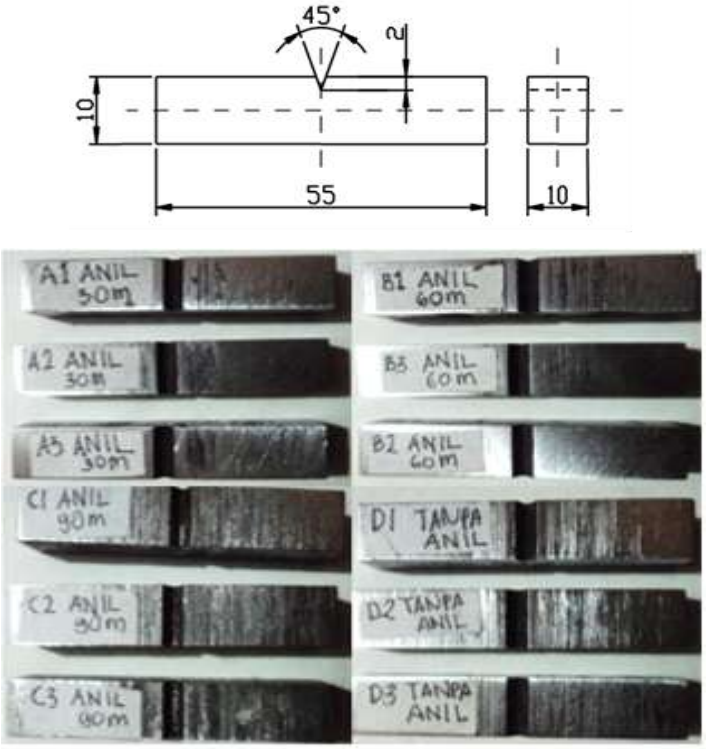
Tahap ketiga adalah melakukan proses pengelasan dimana untuk proses pengelasan itu sendiri menggunakan jenis pengelasan SMAW. Hal pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan proses pengelasan ialah pemilihan arus yang tepat dan sesuai dengan cara mengatur dulu ampermeternya, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda.

Setelah semuanya selesai selanjutnya melakukan proses pengelasan dengan posisi mendatar. Proses pengelasan membutuhkan ketelitian dan ketrampilan seseorang yang tinggi, oleh karena itu proses pengelasan dilakukan oleh juru las yang bersertifikat agar hasil lasan benar-benar baik sesuai standar.

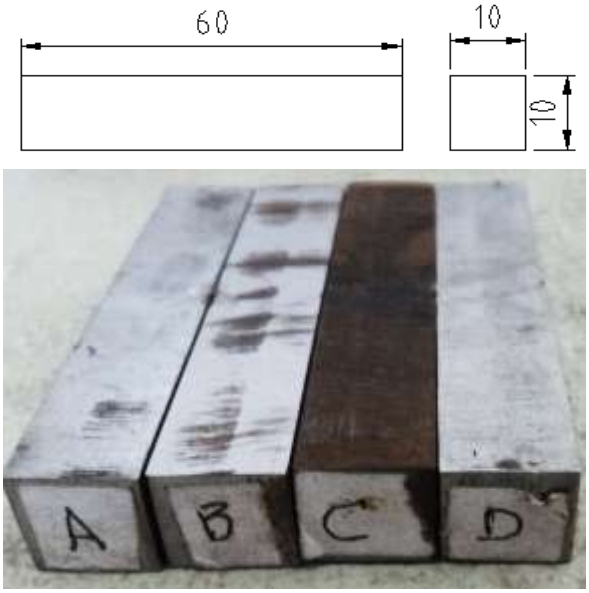


Gambar 3.3 Proses pengelasan

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



Gambar 3.4 Material spesimen uji *impact* ASTM E23



Gambar 3.5 Material spesimen uji struktur mikro

Langkah kelima yaitu melakukan proses *annealing* pada suhu kritis terendah. Sebelum melakukan proses *annealing*, terlebih dahulu oven pemanas

diperiksa. Setelah oven dalam keadaan yang baik langkah selanjutnya adalah sebagai berikut.

a. Menyiapkan spesimen uji sebanyak 20 buah, masing-masing 4 buah untuk setiap perlakuan.

b. Memasukkan spesimen untuk perlakuan yang pertama kedalam oven hingga mencapai suhu 690^0C selama 30 menit. Setelah itu didinginkan sampai suhu kamar didalam oven.

c. Mengulangi langkah b untuk suhu 690^0C selama 60 menit dan 90 menit.

Gambar 3.6 *furnace*

d. Spesimen yang telah melalui proses *annealing* harus dibedakan menurut waktu penahanan proses pemanasan.

Langkah keenam adalah melakukan pengujian, pengujian yang pertama dilakukan yaitu uji fisis atau pengamatan struktur mikro. Sebelum melakukan

pengamatan struktur mikro, spesimen yang sudah melalui tahap pengamplasan dibersihkan menggunakan autosol agar bersih dan mengkilat.

Gambar 3.7 Mesin amplas/ poles

Gambar 3.8 Hasil pemolesan

Setelah dibersihan kemudian dicelupkan dalam larutan alkohol pada permukaan yang akan dietsa. Selanjutnya permukaan tersebut dikeringkan dengan tisu. Setelah itu permukaan tadi dicelupkan kedalam larutan etsa yaitu 2,5% HNO_3, kemudian dikeringkan dengan alat pengering atau tisu dan permukaan tersebut jangan sampai terkena tangan. Langkah tersebut dilakukan sampai terlihat daerah las-lasannya. Setelah semua langkah tersebut selesai, spesimen siap difoto stuktur mikro pada daerah logam las,

daerah batas las dengan HAZ, daerah HAZ, daerah batas HAZ dengan logam induk dan logam induk. Langkah-langkah untuk melakukan proses pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut.

a. Meletakan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 40x dan 160x.

b. Sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah diatur. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop optik bergerak.

Gambar 3.9 mikroskop optik

Setelah melakukan pengamatan struktur mikro, pengujian selanjutnya yaitu melakukan pengujian *impact*. Pengujian *impact* pada penelitian ini dipusatkan pada daerah logam las. Setelah diketahui letak daerah logam las, selanjutnya

daerah tersebut diberi takikan sesuai dengan standart ASTM E23 yaitu sedalam 2 mm. Setelah semua persiapan telah dilakukan, langkah-langkah selanjutnya untuk pengujian *impact* sebagai berikut.

a. Mengukur benda uji (panjang, lebar, tinggi dan kedalaman takikan).

b. Memasang benda uji pada landasan uji dan menyenterkan benda uji dengan penyenter yang ada di alat uji.

c. Menaikan pembentur perlahan-lahan dengan memutar *handle* tepat pada sudut yang ditentukan (sudut α). Pada pengujian ini yang dipakai adalah sudut 156^0, pembenturnya mempunyai jari-jari 83 cm dan massa 8,5 kg.

Gambar 3.10 Alat uji *impact*

d. Pembentur dilepaskan dengan menarik pengunci lengan, maka pembentur akan berayun mematahkan benda uji.

e. Mengamati dan mencatat sudut β yang ditunjukan oleh jarum beban, kemudian menghitung harga ketangguhan sesuai dengan rumus.

3.6 Pengumpulan data

Pengumpulan data menggunakan lembar tabel eksperimen untuk mempermudah dalam pendekatan hasil pengujian. Lembar pengamatan uji *impact* dan uji fisis sebagai berikut :

a. Untuk pembagian lembar pengamatan uji fisis adalah sebagai berikut:

1. Lembar foto makro jenis perpatahan
2. Lembar foto mikro daerah logam induk
3. Lembar foto mikro daerah HAZ
4. Lembar foto mikro daerah las
5. Lembar foto mikro daerah batas las dan HAZ
6. Lembar foto mikro daerah HAZ dan logam induk

b. Lembar pengamatan pengujian *impact*

Tabel 3.1 Lembar pengamatan pengujian *impact*

Eksperimen	No spesimen	Energi terserap (Joule)	Luas penampang patah (mm^2)	Ketangguhan *impact Charpy* (Joule/mm^2)
Non *Annealing*	1. 2. 3.			
Annealing 30 menit	1. 2. 3.			
Annealing 60 menit	1. 2. 3.			
Annealing 90 menit	1. 2. 3.			

Tabel 3.2 Lembar perbandingan nilai uji *impact*

Eksperimen	Nilai Ketangguhan			*Mean*
	1	2	3	
Non PWHT				
PWHT 30 menit				
PWHT 60 menit				
PWHT 90 menit				

3.7 Analisis Data

Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengolah data mentah yang diperoleh dari pengujian, kemudian diolah dalam persamaan statistika yaitu mencari rata-rata *(mean)* sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata } (mean) = \frac{\Sigma n}{N}$$

Dimana :

n = nilai akhir/skor

N = jumlah data tiap variabel

Data yang diperoleh merupakan data yang bersifat kuantitatif berarti data berupa angka-angka yang selanjutnya disajikan dengan diagram batang.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah pengujian *impact Charpy* dan pengamatan struktur mikro pada masing-masing spesimen uji selesai dilakukan, maka didapatlah data-data yang dapat dijadikan sebagai dasar-dasar untuk menarik kesimpulan yang akan dibahas pada bab ini.

4.1 Komposisi Bahan Baja K945 EMS45

Berdasarkan data dari uji komposisi yang dilakukan di laboratorium kimia UGM, baja K945 EMS45 mempunyai komposisi bahan yang dapat dilihat dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data komposisi kimia baja K945 EMS 45

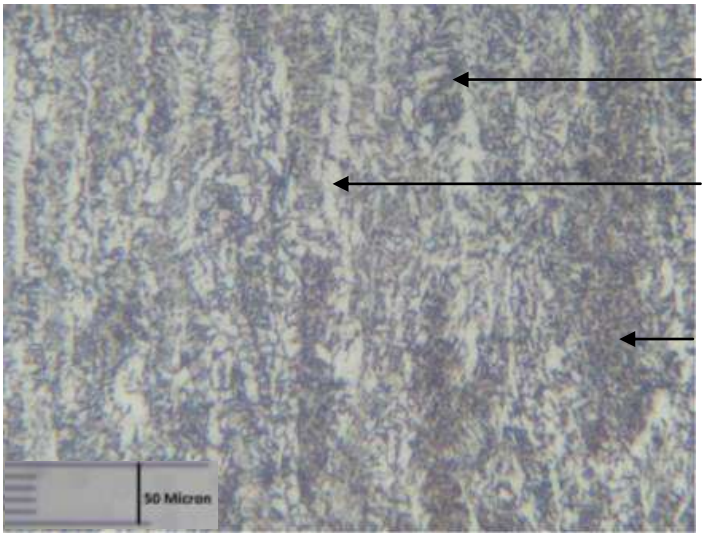
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Fe
0,4708%	0,3233%	0,5884%	0,0164	0,0018	0,0106	0,0211	98,48

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa baja K945 EMS45 yang digunakan dalam penelitian ini termasuk jenis baja karbon tinggi, dimana kandungan karbonnya 0,4708 % yaitu di dalam rentang 0,45 % - 1,70 %.

4.2 Pengamatan Struktur Mikro

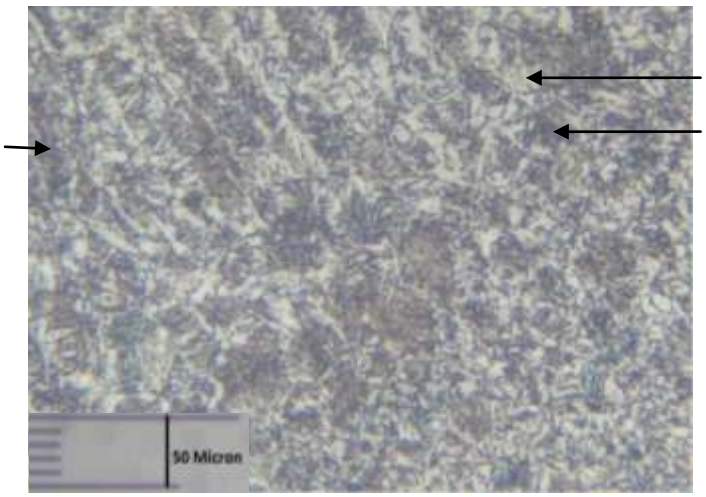
Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mengambil gambar pada daerah lasan, daerah HAZ, daerah logam induk, daerah batas las dengan HAZ dan daerah batas HAZ dengan logam induk pada setiap variasi. Berikut akan ditampilkan gambar struktur mikro dari masing-masing spesimen. Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium bahan UGM dengan menggunakan pembesaran 40x.

4.2.1 Struktur mikro non PWHT *Annealing*



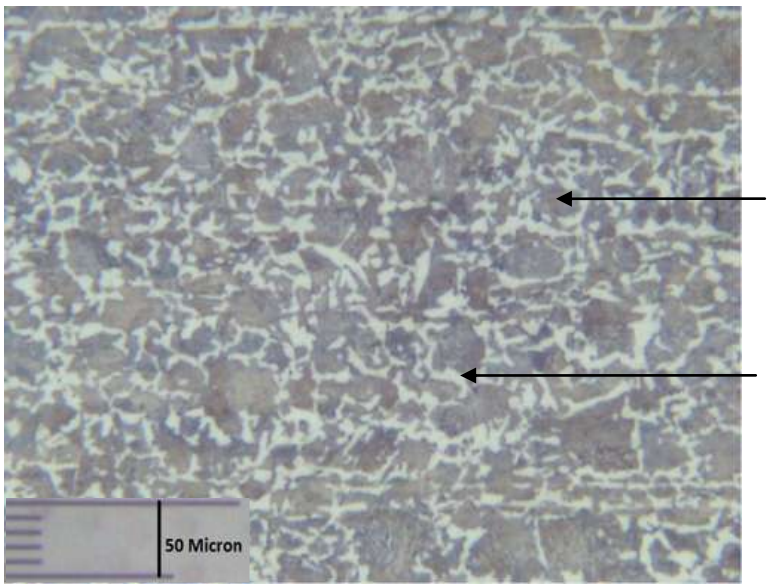
Gambar 4.1 Struktur mikro spesimen non PWHT a*nnealing* daerah lasan pembesaran 40x

Dari Gambar 4.1 memperlihatkan pada daerah lasan memiliki struktur ferit, perlit dan martensit. Munculnya struktur martensit dikarenakan logam las yang mencair sudah mencapai austenit dan didinginkan sangat cepat sehingga struktur austenit berubah menjadi martensit. Struktur martensit berbentuk jarum-jarum halus, struktur perlit yang berwarna hitam dan struktur ferit yang berwarna putih.



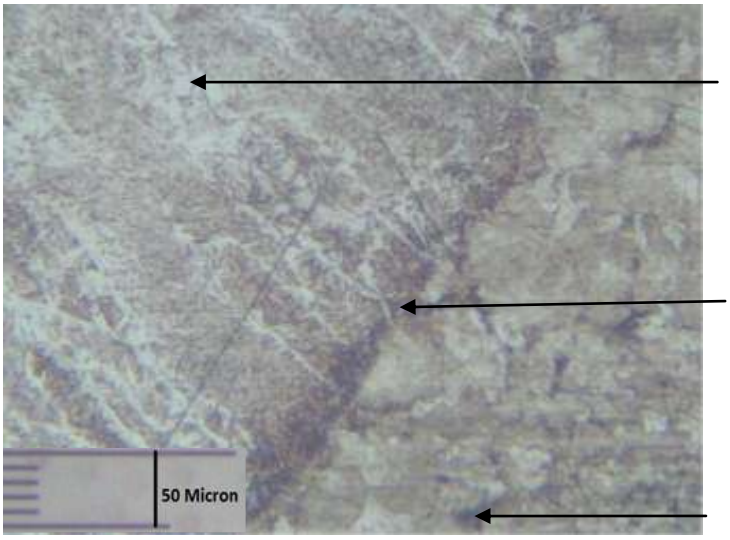
Gambar 4.2 Struktur mikro spesimen non PWHT *annealing* daerah HAZ pembesaran 40x

Pada Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pada daerah ini memiliki struktur perlit dan ferit yang tidak beraturan bentuknya. Adanya struktur martensit pada daerah ini dikarenakan jaraknya dengan logam las cukup dekat sehingga daerah ini sudah mencapai suhu austenit walaupun tidak sampai mencair kemudian didinginkan secara cepat sehingga berubah strukturnya menjadi martensit.



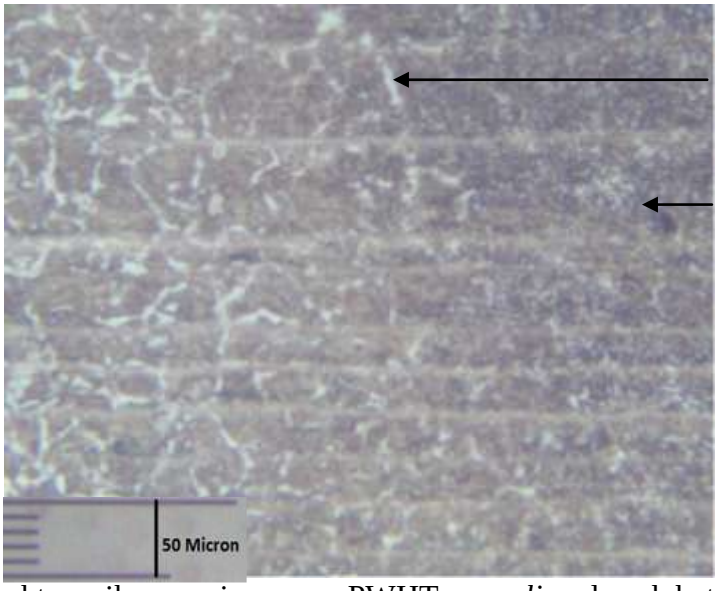
Gambar 4.3 Struktur mikro spesimen non PWHT *annealing* logam induk pembesaran 40x

Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa struktur perlit yang besar dan menyebar di seluruh permukaan, nampak juga struktur ferit yang bentuknya tidak beraturan, cukup besar dan memanjang yang berwarna putih terang. Tidak munculnya struktur martensit pada daerah ini dikarenakan daerah ini jaraknya cukup jauh dari daerah logam las. Pemanasan akibat pengelasan tidak membuat daerah ini mencapai suhu austenit sehingga strukturnya tidak mengalami perubahan.



Gambar 4.4 Struktur mikro spesimen non PWHT *annealing* daerah batas las dengan HAZ pembesaran 40x

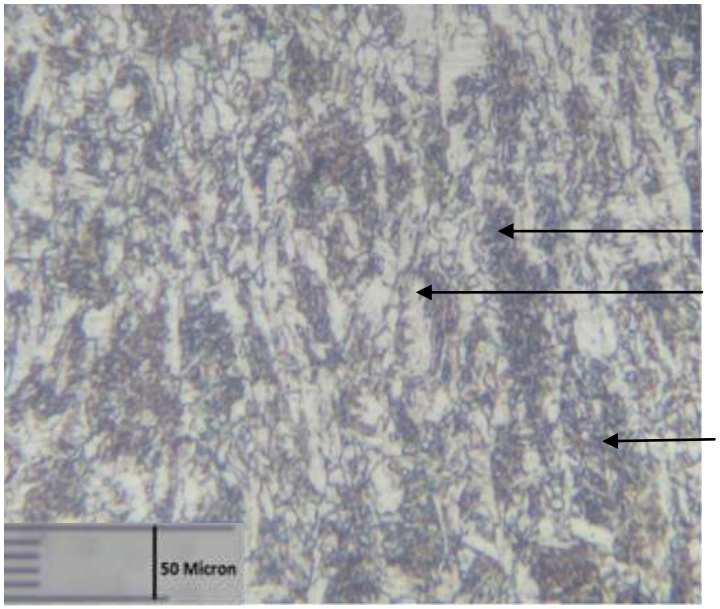
Dari Gambar 4.4 struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah las dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Pada daerah ini muncul struktur martensit yang disebabkan oleh pemanasan yang mencapai suhu austenit dan diiringi dengan pendinginan cepat di udara.Struktur martensit bersifat keras dan getas yang menyebabkan material mudah patah atau mengalami keretakan.



Gambar 4.5 Struktur mikro spesimen non PWHT *annealing* daerah batas HAZ dengan logam induk pembesaran 40x

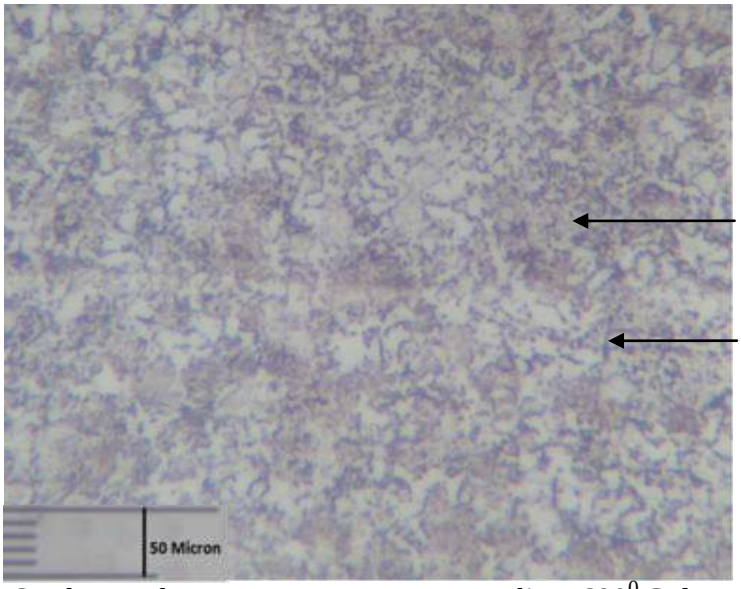
Gambar 4.5 tidak memperlihatkan batas yang jelas antara daerah logam induk dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah logam induk dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Pada daerah HAZ, strukrur perlitnya sangat mendominasi sedangkan pada logam induk masih terlihat struktur ferit tetapi tidak begitu banyak.

4.2.2 Struktur PWHT *annealing* pada suhu 690^0 C dan waktu penahanan 30 menit



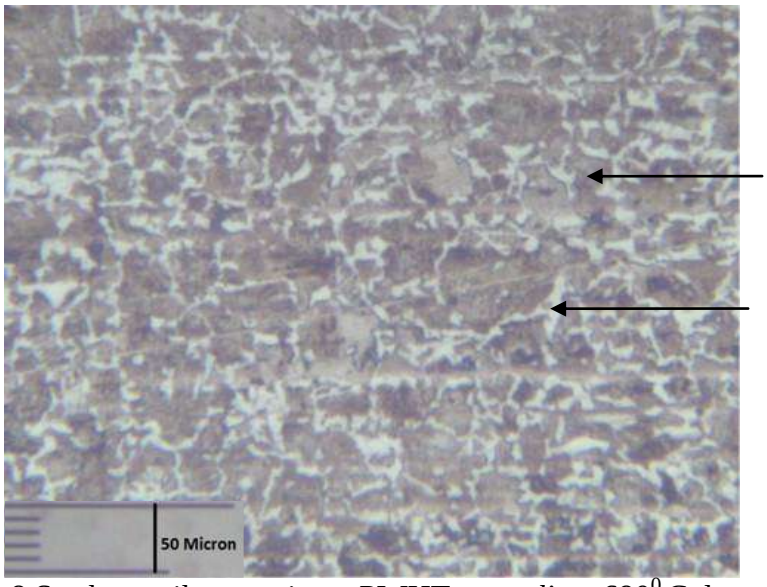
Gambar 4.6 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 30 menit daerah lasan pembesaran 40x

Gambar 4.6 memperlihatkan pada daerah ini memiliki struktur ferit yang halus. Struktur ferit cukup mendominasi dibandingkan dengan struktur perlitnya. Ada sebagian daerah yang terlihat struktur martensitnya yang berbentuk jarum-jarum halus. Hal ini menunjukan PWHT *annealing* suhu 690^0C dengan waktu penahanan 30 menit belum bisa menghomogenkan struktur mikro pada daerah ini. Tetapi bertambahnya struktur ferit menunjukan terjadi perbaikan struktur dibandingkan struktur mikro pada daerah lasan tanpa PWHT.



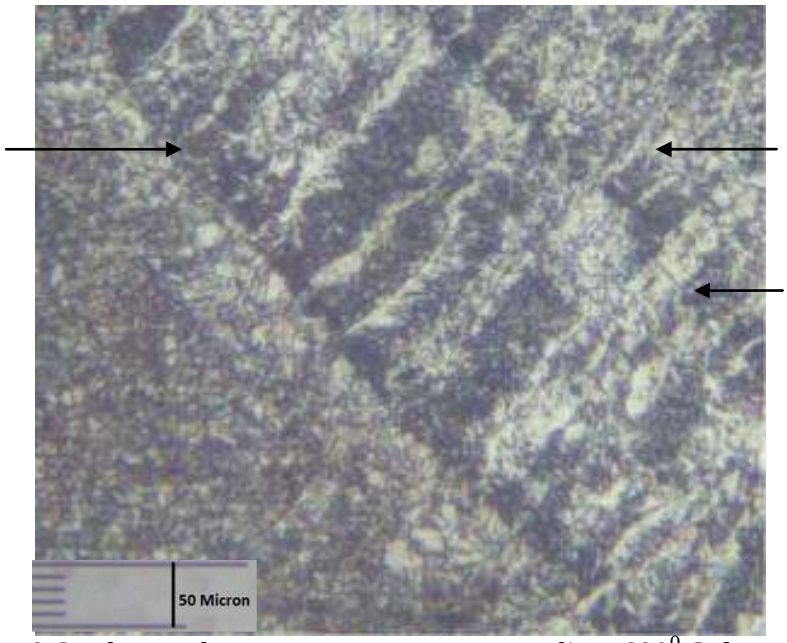
Gambar 4.7 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 30 menit pada daerah HAZ pembesaran 40x

Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa struktur ferit yang bertambah besar, sedikit kasar, warnanya ada sebagian yang terang dan ada yang buram seperti akan berubah ke struktur ferit sangat mendominasi, diikuti dengan struktur perlit yang membesar, sedikit kasar warnanya berubah menjadi buram. Kemungkinan pada permukaan ini strukturnya lunak.



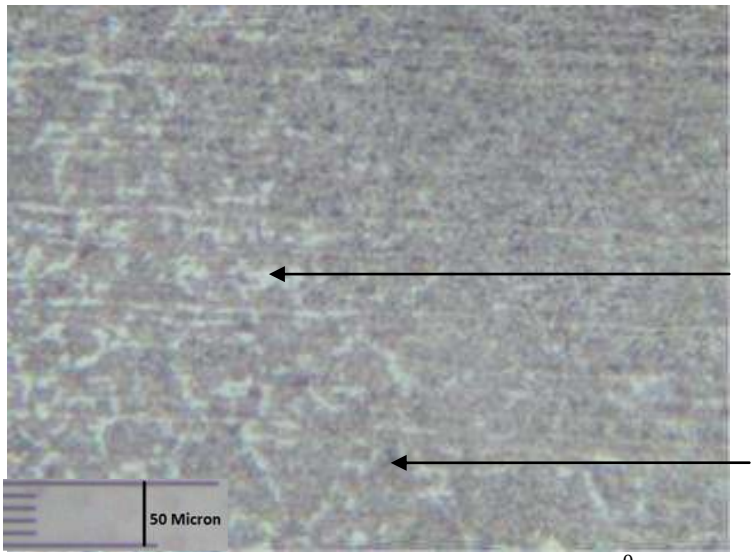
Gambar 4.8 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 30 menit pada daerah logam induk pembesaran 40x

Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa struktur perlit yang besar dan menyebar di seluruh permukaan, nampak juga struktur ferit yang bentuknya tidak beraturan, cukup besar dan memanjang yang berwarna putih terang. Hal ini dapat terjadi karena sifat bawaan dari material asalnya masih tersisa yang ditandai dengan munculnya struktur perlit dan ferit.



Gambar 4.9 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 30 menit pada daerah batas las dengan HAZ pembesaran 40x

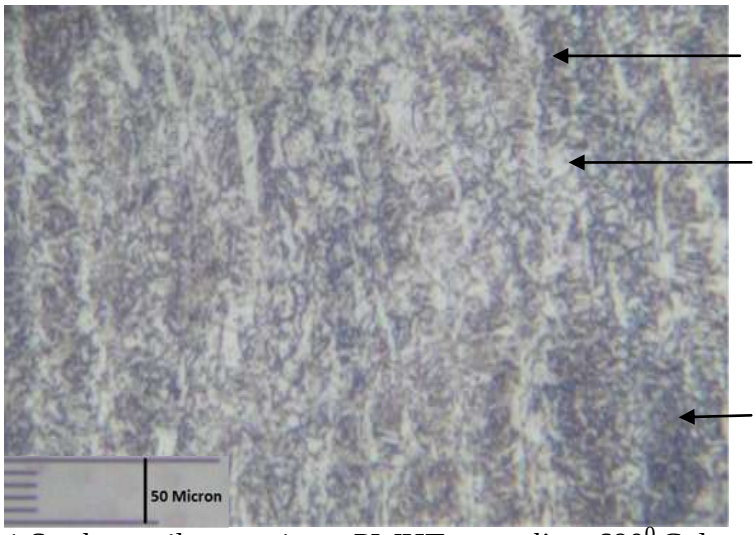
Pada Gambar 4.9 terlihat jelas batas antara daerah logam las dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kanan adalah daerah las,dan sebelah kiri adalah daerah HAZ. Pada daerah las terlihat jumlah struktur ferit dan perlitnya hampir sama sedangkan pada daerah HAZ struktur feritnya lebih sedikit. Struktur martensit pada daerah ini diakibatkan pada saat mencair strukturnya menjadi austenit, karena pendinginan strukturnya berubah menjadi martensit. Struktur martensit berbentuk seperti jarum-jarum halus dan mempunyai kekerasan tinggi.



Gambar 4.10 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 30 menit pada daerah batas logam induk dengan HAZ pembesaran 40x

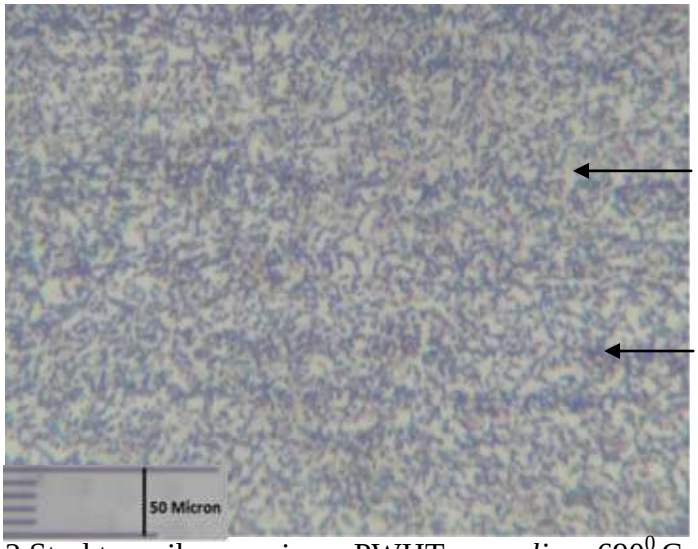
Gambar 4.10 terlihat tidak begitu jelas batas antara daerah logam induk dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah logam induk,dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Pada daerah HAZ strukrur perlitnya sangat mendominasi sedangkan pada logam induk masih terlihat struktur ferit tetapi tidak begitu banyak.

4.2.3 Struktur PWHT annealing pada suhu 690^0 C dan waktu penahanan 60 menit



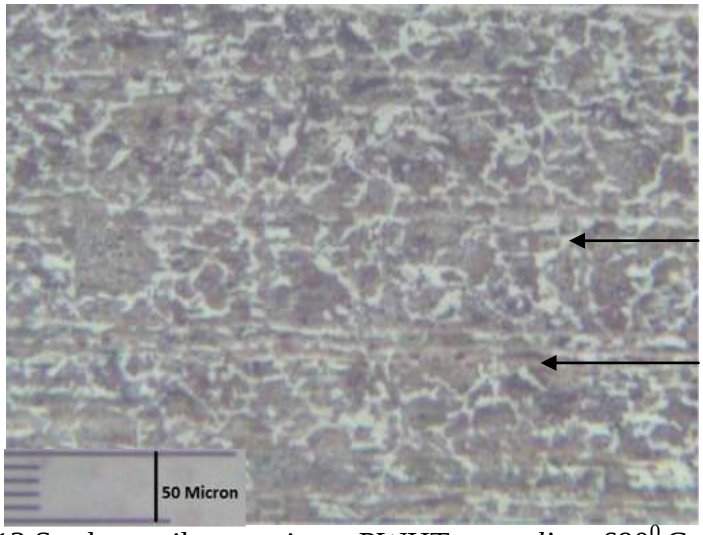
Gambar 4.11 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit pada daerah lasan pembesaran 40x

Gambar 4.11 memperlihatkan bahwa pada daerah lasan memiliki struktur ferit dan perlit yang berbentuk potongan tidak merata. Terlihat juga ada sebagian struktur martensitnya yang berbentuk jarum-jarum halus.



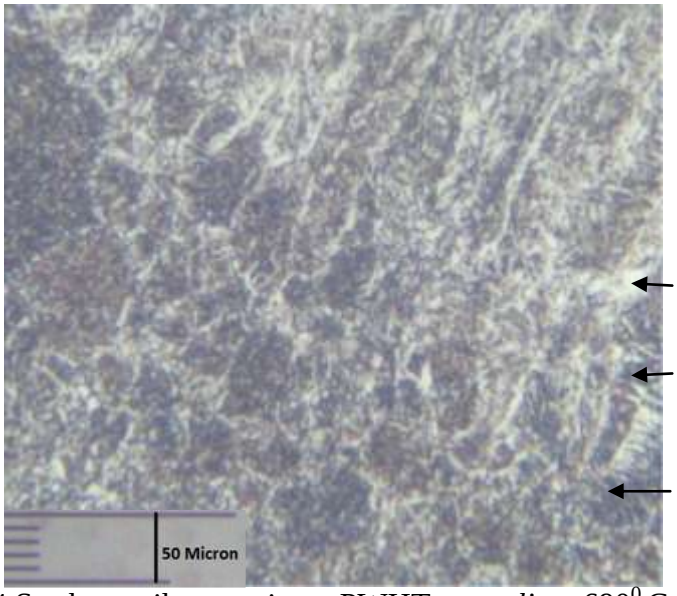
Gambar 4.12 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit pada daerah HAZ pembesaran 40x

Gambar 4.12 memperlihatkan bahwa struktur butiran ferit yang lebih besar daripada struktur butiran perlitnya. Dengan bentuk seperti ini menandakan bahwa daerah ini memiliki keliatan yang cukup baik.



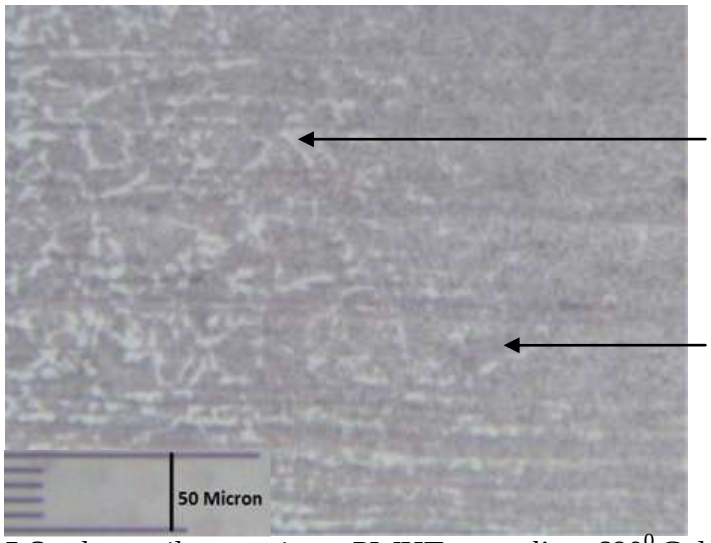
Gambar 4.13 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit pada daerah logam induk pembesaran 40x

Gambar 4.13 memperlihatkan pada daerah logam induk memiliki struktur perlit yang mendominan, kasar membesar dan menyebar. Sedangkan struktur feritnya lebih sedikit dan memanjang. Ini menandakan bahwa daerah ini memiliki kekerasan sedang. Hal ini dapat terjadi karena sifat bawaan dari material asalnya masih tersisa yaitu termasuk golongan baja *hipoeutektoid*, yang ditandai dengan munculnya struktur ferit dan perlit yang rapat.



Gambar 4.14 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit pada daerah batas las dengan HAZ pembesaran 40x

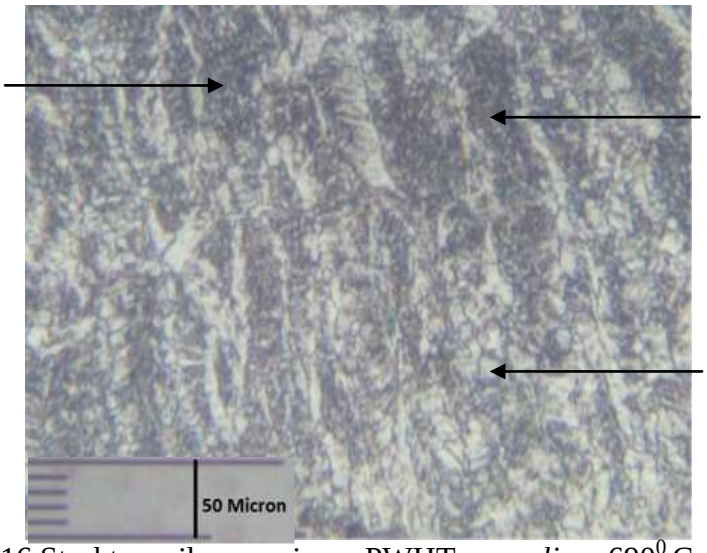
Gambar 4.14 dapat terlihat batas antara daerah logam las dengan HAZ tidak terlihat jelas. Struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah las,dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Terlihat struktur perlit memenuhi permukaan dan sedikit terlihat struktur ferit yang berwarna putih. Pada daerah lasan dipenuhi struktur martensit yang berbentuk seperti jarum-jarum yang halus, dikarenakan pada waktu pengelasan strukturnya berubah jadi austenit dan didinginkan secara cepat sehingga berubah menjadi martensit.



Gambar 4.15 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit pada daerah batas logam induk dengan HAZ pembesaran 40x

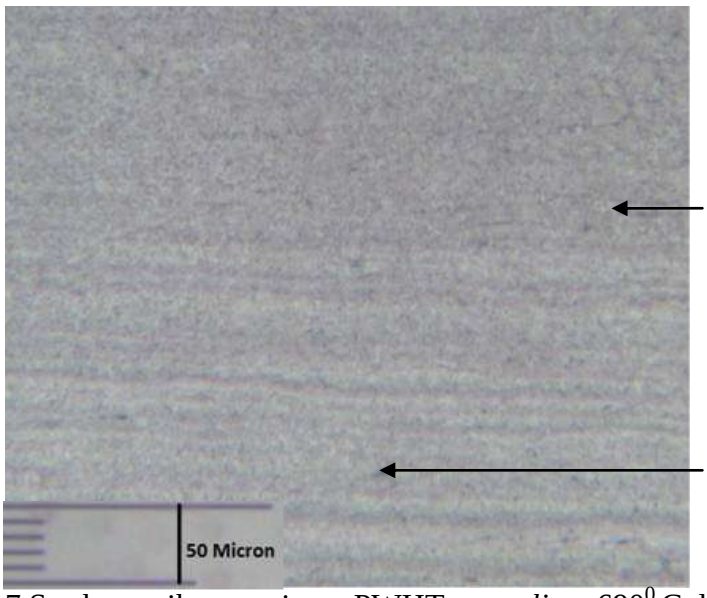
Gambar 4.15 terlihat tidak begitu jelas batas antara daerah logam induk dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah logam induk,dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Pada daerah HAZ strukrur perlitnya sangat mendominasi sedangkan pada logam induk masih terlihat struktur ferit tetapi tidak begitu banyak.

4.2.4 Struktur PWHT *annealing* pada suhu 690^0 C dan waktu penahanan 60 menit



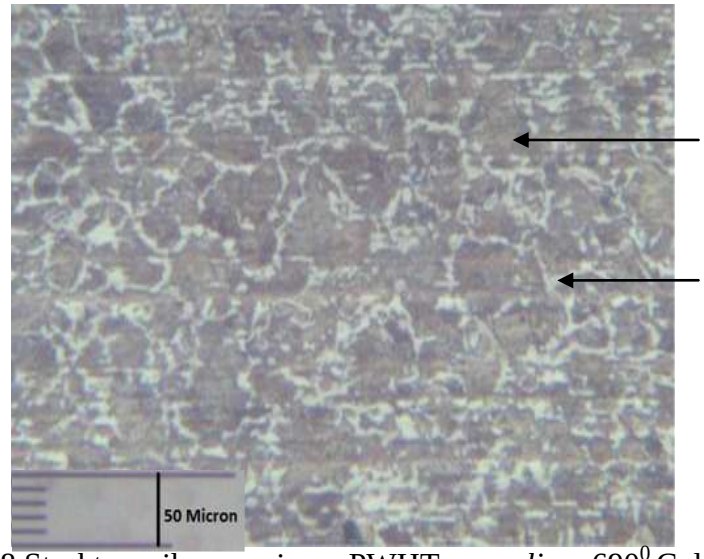
Gambar 4.16 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit pada daerah lasan pembesaran 40x

Pada Gambar 4.16 memperlihatkan bahwa pada daerah lasan memiliki struktur ferit yang halus yang berbentuk besar dan memanjang. Struktur ferit yang berwarna putih dan terang cukup mendominasi dibandingkan dengan struktur perlit yang berbentuk serpih halus yang berwarna hitam dan ada juga beberapa yang bentuknya besar dan memanjang. Ada juga struktur martensitnya yang berbentuk seperti jarum-jarum yang halus.



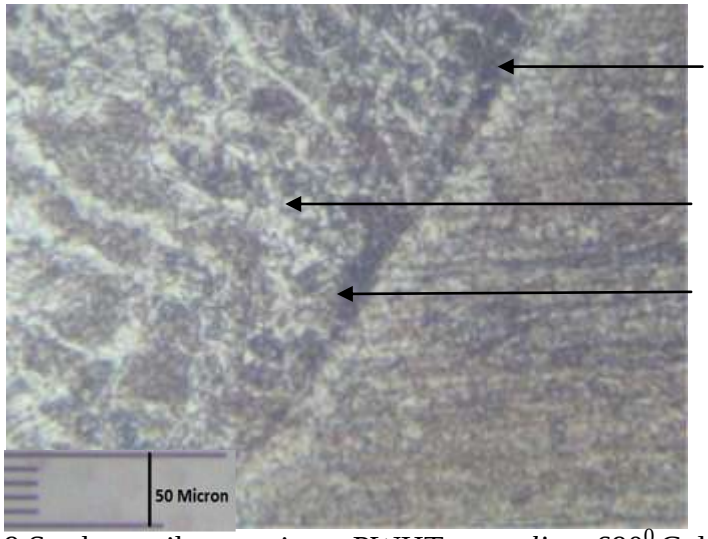
Gambar 4.17 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit pada daerah HAZ pembesaran 40x

Gambar 4.17 memperlihatkan bahwa struktur butiran ferit yang mendominasi pada seluruh permukaan dan sangat halus daripada struktur butiran perlitnya. Struktur butiran feritnya sangat banyak dan menyebar pada seluruh permukaan. Struktur perlitnya terlihat sangat kecil dan cukup banyak. Struktur ferit dan perlitnya sangat halus dan banyak, hampir tidak diketahui struktur ferit dan perlitnya. Bentuk seperti ini menandakan bahwa daerah ini memiliki kekerasan yang sedang.



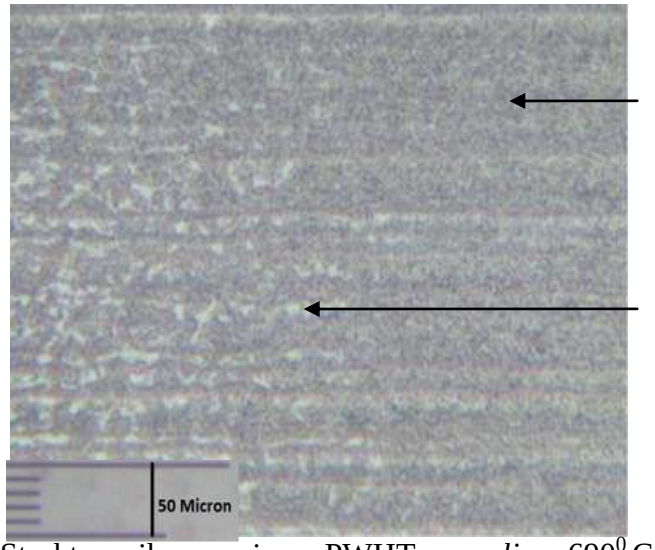
Gambar 4.18 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit pada daerah logam induk pembesaran 40x

Gambar 4.18 memperlihatkan pada daerah logam induk memiliki struktur perlit yang mendominan, kasar membesar dan menyebar. Struktur feritnya lebih sedikit dan memanjang. Ini menandakan bahwa daerah ini memiliki kekerasan sedang. Hal ini dapat terjadi karena sifat bawaan dari material asalnya masih tersisa, yang ditandai dengan munculnya struktur perlit dan ferit yang rapat.



Gambar 4.19 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit pada daerah batas las dan HAZ pembesaran 40x

Gambar 4.19 terlihat jelas batas antara daerah logam las dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kanan adalah daerah las,dan sebelah kiri adalah daerah HAZ. Struktur feritnya terlihat sedikit dan struktur perlitnya terlihat memenuhi permukaan. Ada juga struktur martensitnya yang berbentuk jarum-jarum halus. Adanya struktur martensit pada daerah batas mengakibatkan kekerannya meningkat sehingga mudah terjadi perpatahan pada daerah ini jika dikenai beban.



Gambar 4.20 Struktur mikro spesimen PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit pada daerah batas logam induk dengan HAZ pembesaran 40x

Gambar 4.20 terlihat tidak begitu jelas batas antara daerah logam induk dengan HAZ. Struktur mikro pada daerah sebelah kiri adalah daerah logam induk,dan sebelah kanan adalah daerah HAZ. Pada daerah HAZ strukrur perlitnya sangat mendominasi sedangkan pada logam induk masih terlihat struktur ferit tetapi tidak begitu banyak.

Struktur yang terjadi pada sambungan las sangat ditentukan oleh temperatur pemanasan pada saat pengelasan dan laju pendinginan setelah pengelasan, selain itu juga bergantung pada komposisi kimia, logam induk, logam

pengisi, cara pengelasan dan perlakuan panas yang dilakukan. Struktur mikro yang terjadi dan laju pendinginan akan menentukan sifat mekanis dari bahan tersebut. Adanya panas yang timbul dari proses pengelasan mengakibatkan perbedaan struktur mikro antara daerah las, daerah HAZ dan logam induk.

Struktur mikro pada daerah lasan banyak dipengaruhi oleh komposisi kawat las yang dipakai dan laju pendingannya. Daerah las adalah daerah yang paling banyak mendapat panas dari pengelasan sehingga strukturnya berubah menjadi austenit karena pendinginan yang sangat cepat strukturnya berubah menjadi martensit . Maka sebaiknya pendingannya jangan dicelupkan kedalam air, tetapi dibiarkan di udara terbuka agar tidak semakin keras. Dengan perlakuan PWHT *annealing* butiran struktur feritnya menjadi lebih banyak dibandingkan struktur perlitnya.

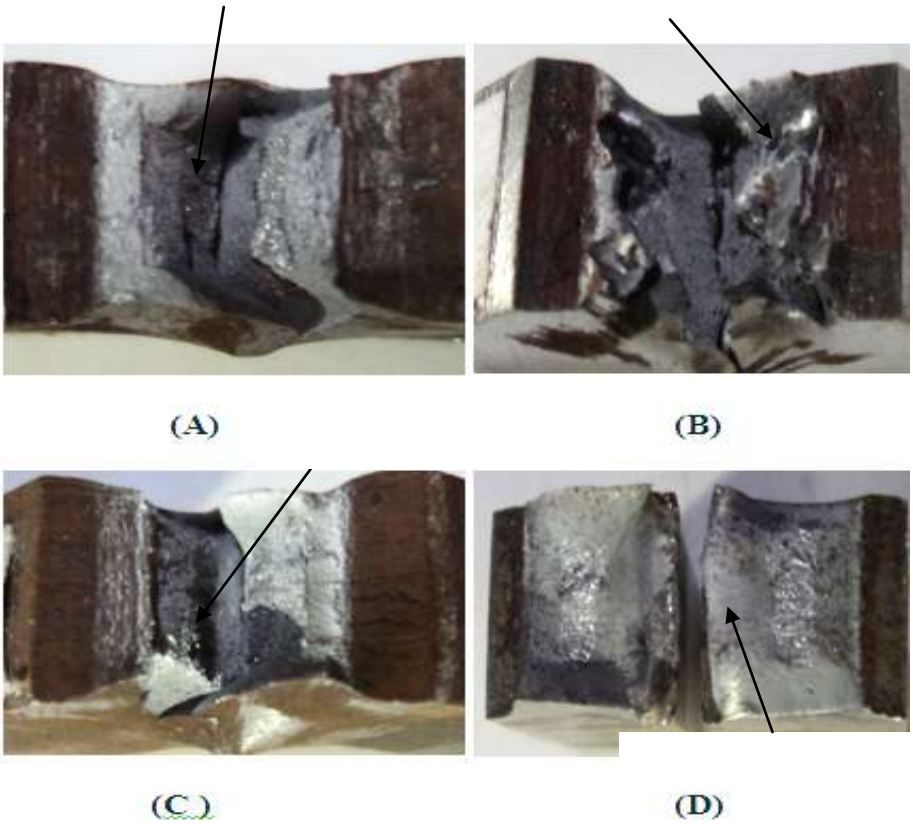
Struktur mikro pada daerah HAZ adalah daerah yang merupakan batas dari logam induk dan daerah las yang masih terpengaruh oleh panas dari busur listrik. Semakin dekat dengan daerah las maka akan mendapat masukan panas yang tinggi, dan semakin jauh akan berkurang. Karena pengaruh panas tersebut daerah ini mencapai austenisasi dan karena pendinginan yang cepat struktur austenitnya berubah menjadi martensit. Bentuk struktur mikro yang terjadi pada daerah ini yaitu ferit, perlit dan martensit. Akibat dari PWHT *annealing* perubahannya struktur ferit akan lebih banyak dan butirannya membesar, struktur perlit dan martensitnya lebih sedikit, sehingga kekerasannya menurun.

Struktur mikro di daerah logam induk, pada daerah ini logam masih memiliki sifat bawaan benda uji. Benda uji pada daerah logam induk yang

mengalami perlakuan PWHT *annealing* dan tanpa PWHT hasilnya hampir sama, tidak ada perubahan yang berarti pada struktur mikronya.

Proses PWHT *annealing* menyebabkan terbentuknya struktur ferit yang lebih banyak, dimana untuk perlit berwarna hitam dan ferit berwarna putih. Struktur ferit cenderung mempunyai sifat yang ulet dan struktur perlit mempunyai sifat yang lebih keras. Namun disamping terbentuk struktur perlit dan ferit dampak lain dari pemanasan setelah pengelasan dan pendinginan yang sangat cepat adalah terbentuknya struktur martensit yang mempunyai kekerasan yang tinggi.

4.3 Pengamatan Penampang Patah



Gambar 4.21 Penampang patah spesimen (A) PWHT 30 menit (B) PWHT 60 menit (C) PWHT 90 menit (D) tanpa PWHT

Gambar 4.21 (A) menunjukan gambar penampang patah pada spesimen dengan PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 30 menit. Pada gambar ini terlihat bentuk perpatahan yang ulet berserat karena bentuk perpatahannya tidak rata dan tidak beraturan. Dilihat dari perpatahannya benda ini bersifat ulet dengan ketangguhan yang baik.

Gambar 4.21 (B) menunjukan gambar penampang patah pada spesimen dengan PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 60 menit. Pada gambar ini juga terlihat bentuk perpatahan yang ulet berserat tetapi kedalaman patahannya lebih pendek dibanding dengan perpatahan benda sebelumnya, bisa diartikan benda ini mempunyai ketangguhan yang lebih baik dibanding spesimen sebelumnya.

Gambar 4.21 (C) menunjukan gambar penampang patah pada spesimen dengan PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit. Pada gambar ini juga terlihat perpatahan yang ulet berserat tetapi kedalaman paling rendah dibanding dua variasi sebelumnya. Hal ini menunjukan bahwa spesimen ini mempunyai ketangguhan yang paling baik dibanding dua variasi sebelumnya.

Gambar 4.21 (D) menunjukan gambar penampang patah pada spesimen tanpa PWHT. Pada gambar ini terlihat benda hasil uji *impact* terbelah menjadi dua dan perpatahannya adalah patah belah atau *granular*, terlihat jelas patahannya hamper rata dan tidak berserat. Hal ini menunjukan bahwa spesimen ini ketangguhannya rendah atau bisa dikatakan getas.

Dari keempat gambar perpatahan yang didapat dari pengujian *impact* yang mempunyai ketangguhan tertinggi pada spesimen dengan PWHT *annealing* 690^0 C dan waktu 90 menit, yang paling terendah adalah pada spesimen tanpa PWHT.

Penampang patah yang terjadi dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan material. Pengamatan penampang patah dilakukan dengan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan, sebab bentuk patahan cenderung identik dari sifat bahan atau merupakan identitas dari bahan itu sendiri. Semakin dalam perpatahannya semakin rendah ketangguhannya sedangkan semakin rendah perpatahannya maka semakin tinggi ketangguhannya.

4.4 Pengujian *impact*

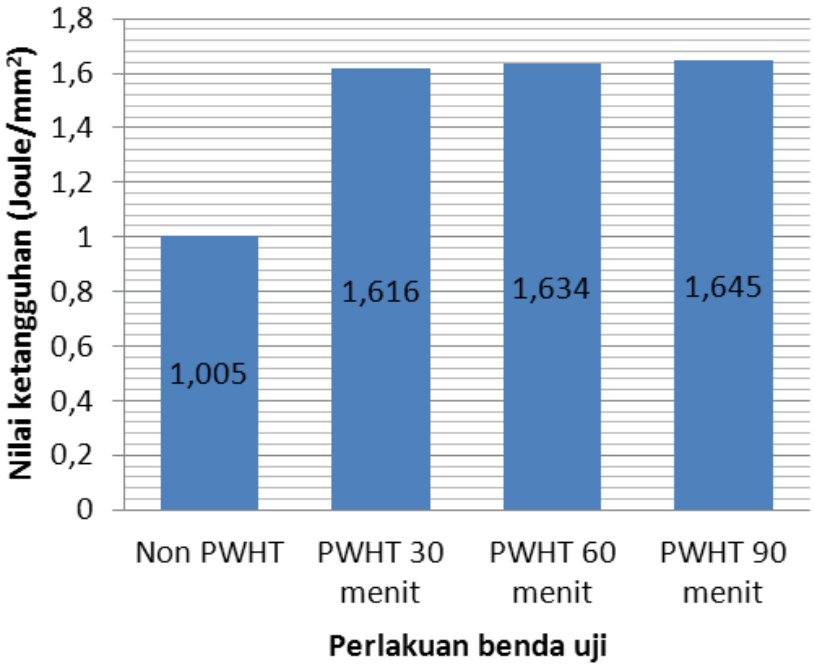
Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material spesimen yaitu untuk mengetahui nilai ketangguhan suatu material. Data hasil pengujian *impact* dari 4 variasi perlakuan yaitu 1 variasi tanpa perlakuan panas, 3 variasi dengan perlakuan panas annealing 690^0 C dengan variasi waktu penahanan 30, 60, 90 menit. Data tersebut ditunjukan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian *impact*

Eksperimen	Nilai Ketangguhan (Joule/mm^2)			*Mean* (Joule/mm^2)
	1	2	3	
Non PWHT	1,030	1,010	0,976	1,005
PWHT 30 menit	1,643	1,616	1,590	1,616
PWHT 60 menit	1,634	1,647	1,622	1,634
PWHT 90 menit	1,648	1,642	1,645	1,645

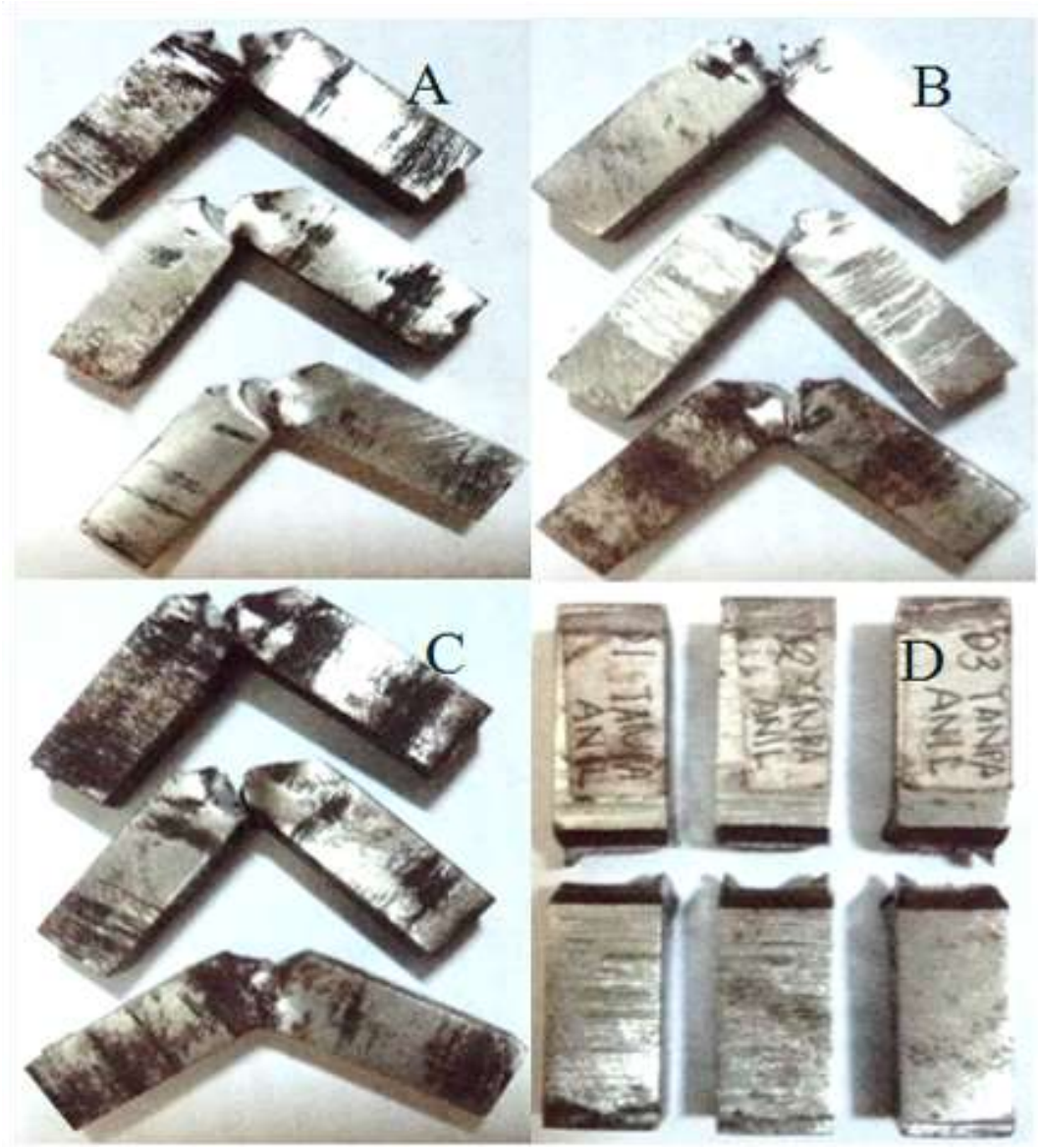
Pada Tabel 4.2 adalah data perbandingan nilai ketangguhan dari uji *impact*. Data yang telah didapat dikelompokan menurut variasi pengujian yang digunakan yaitu PWHT *annealing* 30, 60 dan 90 menit, kemudian diambil nilai tengahnya. Tabel tersebut memperlihatkan nilai ketangguhan spesimen non PWHT paling rendah dan spesimen yang mendapat perlakuan PWHT 90 menit mempunyai nilai ketangguhan yang paling tinggi. Nilai ketangguhan didapat dari nilai energi terserap dibagi dengan luas penampang patah. Energi terserap adalah

energi yang digunakan untuk mematahkan benda kerja dengan cara mengalikan gaya dan jarak. Penampang patah didapat dari daerah terjadi perpatahan, pada pengujian ini perpatahan terjadi pada daerah yang diberi takikan.



Gambar 4.22 Diagram perbandingan nilai ketangguhan hasil pengujian *impact*

Gambar 4.22 adalah gambar diagram batang perbandingan nilai ketangguhan *impact*. Pada gambar tersebut dapat dilihat benda uji yang tidak dilakukan proses PWHT *annealing* mempunyai nilai ketangguhan yang paling rendah yaitu rata-rata 1,005 Joule/mm^2. Pada spesimen yang dikenai perlakuan mempunyai nilai ketangguhan yang hampir sama dengan perincian yaitu PWHT *annealing* dengan waktu penahanan 30 menit nilai ketangguhan rata-ratanya 1,616 Joule/mm^2, PWHT *annealing* dengan waktu penahanan 60 menit nilai ketangguhan rata-ratanya meningkat yaitu 1,634 Joule/mm^2, PWHT *annealing* dengan waktu penahanan 90 menit nilai ketangguhan rata-ratanya meningkat yaitu 1,645 Joule/mm^2.



Gambar 4.23 Hasil pengujian *impact* (A) PWHT 30 menit, (B) PWHT 60 menit, (C) PWHT 90 menit, (D) tanpa PWHT

Pada Gambar 4.23 merupakan hasil pengujian *impact*. Pada gambar A, B, dan C menunjukan hasil perpatahan dari spesimen yang dikenai perlakuan yaitu PWHT *annealing* dengan suhu 690^0 C, dan waktu penahanan masing-masing 30, 60, dan 90 menit. Pada spesimen ini keuletannya cukup baik terlihat pada bentuk spesimen yang tidak sampai putus. Pada gambar D yang tidak dikenai perlakuan,

terlihat tiap spesimen patah menjadi dua. Hal ini menunjukan bahwa spesimen tersebut getas dan mudah patah.

Setelah dilakukan pengujian *impact* maka dapat diketahui bahwa spesimen yang dikenai perlakuan PWHT *annealing* ketangguhannya meningkat, sedangkan yang tidak dikenai perlakuan mempunyai ketangguhan yang rendah sehingga mudah patah. Dari hasil pengujian tersebut dapat dibuktikan bahwa PWHT *annealing* sangat baik dilakukan untuk meningkatkan ketangguhan suatu material setelah pengelasan.

4.5 Pembahasan hasil penelitian

Nilai ketangguhan rata-rata pada spesimen tanpa perlakuan PWHT *annealing* mempunyai ketangguhan rata-rata 1,005 Joule/mm^2. Nilai ketangguhan rata-rata pada spesimen ini adalah yang paling rendah dibandingkan dengan spesimen yang mendapat perlakuan. Bentuk perpatahan pada spesimen ini berbentuk *granular* atau perpatahan belah. Pada perpatahan memperlihatkan bentuk yang hampir rata atau datar. Pada waktu pengujian *impact*, spesimen ini terbelah menjadi dua pada waktu terkena tumbukan. Hal ini menunjukan bahwa spesimen tanpa perlakuan PWHT *annealing* keuletannya buruk atau getas. Struktur mikronya terdiri dari ferit dan perlit karena spesimen ini mempunyai kandungan karbon 0,48%. Pada daerah las dan HAZ terdiri dari struktur ferit, perlit dan juga terlihat struktur martensitnya.

Pada spesimen dengan perlakuan PWHT *annealing* dengan suhu 690^{0}C dan waktu penahanan 30 menit mempunyai nilai ketangguhan rata-rata 1,616 Joule/mm^2. Terjadi kenaikan yang tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa

perlakuan yaitu 0,611 Joule/mm^2. Bentuk perpatahan pada spesimen ini adalah perpatahan ulet berserat. Bentuk perpatahan memperlihatkan bentuk yang tidak rata dan berserabut. Pada waktu pengujian *impact,* spesimen ini tidak terbelah menjadi dua pada waktu terkena tumbukan dan kedalaman perpatahan rata-rata cukup dalam. Hal ini menunjukan spesimen dengan perlakuan ini mempunyai ketangguhan yang cukup baik. Struktur mikro pada spesimen ini terdiri dari ferit dan perlit. Pada daerah las struktur feritnya mendominasi seluruh permukaan dibandingkan struktur perlitnya, tetapi masih terlihat struktur martensitnya.

Pada spesimen dengan perlakuan pada suhu 690^{0}C dan waktu penahanan 60 menit mempunyai nilai ketangguhan rata-rata sebesar 1,634 Joule/mm^2. Terjadi sedikit kenaikan dibandingkan dengan nilai ketangguhan spesimen sebelumnya yaitu sebesar 0,018 Joule/mm^2. Bentuk perpatahan pada spesimen ini adalah perpatahan ulet berserat. Bentuk perpatahan memperlihatkan bentuk yang tidak rata dan berserabut. Pada waktu pengujian *impact,* spesimen ini tidak terbelah menjadi dua pada waktu terkena tumbukan dan kedalaman perpatahan rata-rata tidak terlalu dalam. Hal ini menunjukan spesimen dengan perlakuan ini mempunyai ketangguhan yang baik. Struktur mikro pada spesimen ini terdiri dari ferit dan perlit. Pada daerah las struktur feritnya mendominasi seluruh permukaan dibandingkan struktur perlitnya tetapi ada sebagian struktur perlit yang cukup besar dan masih terlihat struktur martensitnya.

Pada spesimen dengan perlakuan pada suhu 690^{0}C dan waktu penahanan 90 menit mempunyai nilai ketangguhan rata-rata sebesar 1,645 Joule/mm^2. Terjadi sedikit kenaikan dibandingkan dengan nilai ketangguhan spesimen sebelumnya

yaitu sebesar 0,011 Joule/mm^2. Bentuk perpatahan pada spesimen ini adalah perpatahan ulet berserat. Bentuk perpatahan memperlihatkan bentuk yang tidak rata dan berserabut. Pada waktu pengujian *impact,* spesimen ini tidak terbelah menjadi dua pada waktu terkena tumbukan dan kedalaman perpatahan rata-rata tidak dalam. Hal ini menunjukan spesimen dengan perlakuan ini mempunyai ketangguhan yang baik. Struktur mikro pada spesimen ini terdiri dari ferit dan perlit. Pada daerah las struktur feritnya mendominasi seluruh permukaan dibandingkan struktur perlitnya tetapi ada sebagian struktur martensitnya yang berbentuk seperti jarum-jarum halus.

Dari hasil yang didapatkan, pada spesimen yang tidak mendapat perlakuan mempunyai nilai ketangguhan yang buruk dan bisa dikatakan getas. Untuk spesimen yang mendapat perlakuan dengan waktu penahanan yang berbeda-beda menunjukan selisih nilai ketangguhan yang sangat kecil. Pada spesimen dengan waktu penahanan 90 menit mempunyai nilai ketangguhan yang paling baik diantara spesimen yang lain. Tetapi tidak bisa diartikan kalau pada waktu penahanan 90 menit adalah yang paling baik digunakan, perlu adanya penelitian dengan waktu penahanan diatas 90 menit. Dengan demikian dapat diketahui waktu penahanan yang paling baik untuk digunakan.

Dari melihat analisis yang telah didapatkan menunjukan bahwa proses PWHT *annealing* sangat baik untuk menurunkan kekerasan dan meningkatkan keuletan suatu material sehingga ketangguhannya meningkat. Untuk perancangan suatu mesin tidak hanya membutuhkan kekuatan saja. Tetapi bagaimana dapat menghasilkan suatu perancangan yang kuat tapi tidak getas. Terutama pada

perancangan yang menggunakan proses pengelasan. Pada proses pengelasan terjadi pemanasan yang sangat cepat dan pendinginan yang sangat cepat. Disitulah proses PWHT *annealing* dibutuhkan. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Vlack (2004: 277).

> Kekuatan yang lebih tinggi umumnya mempunyai ketangguhan perpatahan yang rendah, dan sebaliknya. Maka, kondisi-kondisi perpatahan mungkin saja terjadi sebelum tegangan luluh dicapai, jadi kekuatan yang tinggi tidak sepenuhnya bisa dimanfaatkan. Pertimbangan seperti itu mengharuskan kita untuk selalu berhati-hati ketika mendesain.

Pada penelitian terdahulu oleh Sari dan Sutrisna (2013: 13), penampang patah spesimen uji impak menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur anil terjadi transisi dari getas ke ulet. Pada *raw* material penampang patah cenderung lebih getas.

Hubungan penelitian terdahulu ini dengan penelitian yang baru dilaksanakan adalah nilai ketangguhan *raw* material baja K945 EMS45 dan paduan Fe-Al-Mn-Si sama-sama mempunyai harga yang paling rendah dibanding dengan material yang dikenai perlakuan *annealing.* Oleh karena itu perlu dilakukan lagi beberapa penelitian dengan material yang berbeda dan memperbanyak variasinya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dalam penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa PWHT *annealing* sangat mempengaruhi ketangguhan suatu material. Spesimen yang dikenai PWHT *annealing* ketangguhannya meningkat, sedangkan yang tidak dikenai perlakuan mempunyai ketangguhan yang rendah sehingga mudah patah. Proses *annealing* dengan suhu 690^0C perubahan struktur mikro baja K945 EMS45 akibat pengaruh proses pengelasan SMAW belum bisa homogen . Pada daerah logam las dan batas las terlihat struktur martensitnya, hal ini terjadi karena pendinginan yang sangat cepat ketika pangelasan sehingga austenit berubah menjadi martensit . Pada daerah logam induk tidak terjadi perubahan struktur mikro yang berarti. Adanya proses PWHT *annealing* menyebabkan naiknya keuletan benda, ditandai dengan bentuk patahan yang terjadi di daerah las, pada spesimen PWHT *annealing* yang berbentuk tidak beraturan dan berserat. Sementara itu spesimen tanpa PWHT *annealing* patah yang terjadi berjenis patah belah atau *granular*.

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang perlu disampaikan agar penelilian yang hampir serupa tidak mengalami kesalahan-kesalahan. Saran yang akan disampaikan yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi waktu penahanan diatas 90 menit dan suhu *annealing* diatas 690^0 C agar dapat diketahui harga ketangguhan yang paling tinggi.
2. Perlu dilakukan pengujian lainnya yaitu dengan pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian lengkung.

DAFTAR PUSTAKA

Amanto, Hary 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*. Jakarta: Erlangga.

Griffin, Ivan H. 1979. *Welding Processes*. New York: Litton Educational Publishing.

Purwaningrum, Yustiasih. 2006. *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Sambungan Las SMAW Baja A-287 Sebelum dan Sesudah PWHT*. Jurnal TEKNOIN. Volume 11, Nomor 3. Hlm. 233-242. Yogyakarta.

Sari, Ratna Kartika dan Sutrisna. 2013. *Pengaruh Temperatur Anil terhadap Ketangguhan dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si*. Jurnal ROTASI. Volume 15, Nomor 1. Hlm. 11-15. Yogyakarta.

Setiawan, Anang dan Yusa Asra Yuli Wardana. 2006. *Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 8, Nomor 2. Hlm. 57-63. Yogyakarta.

Smallman, R. E. dan R. J. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.

Sonawan, Hery dan Rochim Suratman. 2004. *Pengelasan Logam*. Bandung. CV ALFABETA.

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

Widharto, Sri. 2001. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

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

LAMPIRAN

Lampiran 1

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor : 210/FT-UNNES/2012

Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER GASAL/GENAP TAHUN AKADEMIK 2011/2012

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/C/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 Maret 2012

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada :

1. Nama : Heri Yudiono, S.Pd., M.T.
   NIP : 196707261993031003
   Pangkat/Golongan : IV/a - Pembina
   Jabatan Akademik : Lektor Kepala
   Sebagai Pembimbing I

2. Nama : Widi Widayat, S.T., M.T.
   NIP : 197408152000031001
   Pangkat/Golongan : III/c - Penata
   Jabatan Akademik : Lektor
   Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
Nama : FARID WAHYUWIBOWO
NIM : 5201408087
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pendidikan Teknik Mesin
Topik : PENGARUH VARIASI HOLDING TIME PROSES ANNEALING PADA SAMBUNGAN LAS SHIELDED METAL ARC WELDING TERHADAP KEKUATAN IMPAK BAJA ST 37

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 14 MARET 2012
DEKAN

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

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

5201408087
FM-03-AKD-24/Rev. 00

Lampiran 2

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

No. : 1690 / UN37.1.5 / PP / 2013
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	: FARID WAHYUWIBOWO
NIM	: 5201408087
Prodi	: Pendidikan Teknik Mesin
Topik	: PENGARUH HOLDING TIME ANNEALING PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA BOHLER K945 EMS45

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Semarang, 21 Maret 2013
Dekan,

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

5201408087

FM-05-AKD-24/Rev. 00

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

No. : 1622 / UN 37.1.5 / PP / 2013
Lamp : .....
Hal : Ijin Penelitian

Kepada
Yth. Ketua Jurusan Teknik Mesin S1 Universitas Gajah Mada
di Jurusan 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	: FARID WAHYUWIBOWO
NIM	: 5201408087
Prodi	: Pendidikan Teknik Mesin
Topik	: PENGARUH HOLDING TIME ANNEALING PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA BOHLER K945 EMS45

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Semarang, 21 Maret 2013
Dekan,

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

5201408087

FM-05-AKD-24/Rev. 00

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

No. : 1639 / UN37.1.5 / PK / 2013
Lamp : .....
Hal : Ijin Penelitian

Kepada
Yth. Ketua Jurusan Teknik Mesin FT Unnes
di Jurusan Teknik Mesin FT Unnes

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

Nama	: FARID WAHYUWIBOWO
NIM	: 5201408087
Prodi	: Pendidikan Teknik Mesin
Topik	: PENGARUH HOLDING TIME ANNEALING PADA SAMBUNGAN SMAW TERHADAP KETANGGUHAN LAS BAJA BOHLER K945 EMS45

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Semarang, 21 Maret 2013
Dekan,

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

5201408087

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Gedung E5 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
Telp. (024) 8508103, Fax. (024)8508103

Hal: **Permohonan Peminjaman Lab Produksi dan Konstruksi** 13 Desember 2012

Yth. Kalab. Teknik Mesin Unnes
Di Semarang

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Sehubungan dengan kegiatan penelitian skripsi kami:

No.	Nama	NIM	Prodi
1.	Farid Wahyu W.	5201408087	PTM S1
2.	Hardika Mustika A.	5201408112	PTM S1
3.	Dedy Hernawan	5201408081	PTM S1

Berkaitan dengan hal tersebut maka kami berniat meminjam Lab Produksi dan Konstruksi guna untuk menunjang proses pelaksanaan penelitian.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian dan ijinnya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Mahasiswa 1	Mahasiswa 2	Mahasiswa 3
Farid Wahyu W.	Hardika Mustika A.	Dedy Hernawan
5201408087	5201408112	5201408081

Kalab. Teknik Mesin Unnes

Rusiyanto, S.Pd. MT
NIP. 19740321199903 1002

Lampiran 3

[redacted]

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.OO.02.005.01 **04. LOG.OO.05.015.01**
02. LOG.OO.05.012.01 **05. LOG.OO.05.016.01**
03. LOG.OO.05.013.01 **06. LOG.OO.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

LSPLMI

Bambang Nurcahyono
Ketua Pelaksana (Executive Director)

Ir. Setiawan Mulyadi
Ketua Pengarah (Chairperson)

Daftar Unit Kompetensi
List of Unit(s) of Competency

NO.	Kode Unit Kompetensi *Code of Competency Unit*	Judul Unit Kompetensi *Title of Competency Unit*
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

LSPLMI

DWI NUGROHO SUSANTO
Tanda tangan pemilik
(Signature of holder)

Rony Sudarmawan
Ketua Bidang Sertifikasi
(Head of Certification Department)

Lampiran 4

P.T. BHINNEKA BAJANAS

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

Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta – Indonesia P.O.Box.4103/JKT
Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431,6925591, 6909308 (hunting) Fax.: 6911589, 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

BB/08.12

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

FXH20100728-A / RI

Lieferschein/Dispatch note/Avis d'expedition

18.09.2012/ OB

Prueflgegenstand/Object of test/Objet d'examen

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

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive

		Gewicht kg Weight kgs Poids kg	Schmelze Heat No. No. de coulée	Pruef-Nr Test No. Eprouvette
01	16 x 2070 x 6096 MM	2.340	293531-3	

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 :
PT. BHINNEKA BAJANAS

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Pruef-Nr Test No. Eprouvette	Hardness Brinell	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0,2) N/mm2	Elongation %	Reduction %
01	≤ 190				

DO NO : 03881/12/12/Smg.
Tanggal : 12-12-2012

P.T. BHINNEKA BAJANAS

Lampiran 5

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. : 301 /Lab Bahan Teknik/JTMI/UGM/2013.
Lamp. :
Hal : SURAT KETERANGAN.

SURAT KETERANGAN

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

Nama : **FARID WAHYU WIBOWO**
NIM : **5201408087**
Alamat Mahasiswa : **UNNES SEMARANG**

Telah bebas dari segala tanggungan di Laboraturium Kami, dan telah selesai melakukan penelitian pada tanggal 4 Juni 2013 dalam rangka penyusunan skripsi dengan judul :

"Pengaruh Holding Time Aneling Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguan Las BajaBohler K-945 EMS 45"

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

Yogyakarta, 4 Juni 2013
Teknisi Laboraturium
Bahan Teknik UGM

Sunhaji
NIP:196506041986121001

Lampiran 6

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

	Ti	Sn	Al	Pb	Ca	Zn	Fe
Avg	0.0035	0.0363	0.0211	!0.0000	0.0016	0.0007	98.48

A. DIMENSI SPESIMEN

Nama Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luasan (mm^2)
A1	10	8,1	81
A2	10	8,06	80,6
A3	10	8,1	81
B1	10	8,1	81
B2	10	8,04	80,4
B3	10,12	8,12	82,17
C1	10,1	8,1	81,81
C2	10,2	8,04	82,008
C3	10,2	8,02	81,804
D1	10,3	8,1	83,43
D2	10,3	8,1	83,43
D3	10,3	8,1	83,43

B. NILAI KETANGGUHAN

Diketahui

$\alpha = 156^0$

R = 83 cm

m = 8,5 kg

g = 10 m/s^2

1. Spesimen A1 (*annealing* 30 menit)

$\beta = 19^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-71)

= 0,83+0,83.(-0,945)

= 0,045 m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,045)

= 8,5. 10 (1,543)

= 131,155 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 131,155 : 81

= 1,643 Joule/mm^2

2. Spesimen A2 (*annealing* 30 menit)

$\beta = 21^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)
= 0,83+0,83 sin (-69)
= 0,83+0,83.(-0,933)
= 0,055 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,055)
= 8,5. 10 (1,533)
= 130,3 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 130,3 : 80,6
= 1,616 Joule/mm^2

3. Spesimen A3 (*annealing* 30 menit)

β = 25^0
hi = R+R sin (α-90^0)
= 0,83+0,83 sin 66^0
= 0,83+0,83. 0,913
= 1,588 m
h2 = R+R sin (β-90^0)
= 0,83+0,83 sin (-65)
= 0,83+0,83.(-0,906)
= 0,08 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,08)
= 8,5. 10 (1,508)
= 128,18 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 128,18 : 81
= 1,582 Joule/mm^2

4. Spesimen B1 (*annealing* 60 menit)

β = 13^0
hi = R+R sin (α-90^0)
= 0,83+0,83 sin 66^0
= 0,83+0,83. 0,913
= 1,588 m
h2 = R+R sin (β-90^0)
= 0,83+0,83 sin (-77)
= 0,83+0,83.(-0,974)
= 0,03 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,03)
= 8,5. 10 (1,558)
= 132,43 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 132,43 : 81
= 1,634 Joule/mm^2

5. Spesimen B2 (*annealing* 60 menit)

$\beta = 15^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-75)

= 0,83+0,83.(-0,965)

= 0,029 m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,029)

= 8,5. 10 (1,559)

= 132,51 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 132,51 : 80,4

= 1,647 Joule/mm^2

6. Spesimen B3 (*annealing* 60 menit)

$\beta = 12^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-78)

= 0,83+0,83.(-0,978)

= 0,02m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,02)

= 8,5. 10 (1,568)

= 133,28 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 133,28 : 82,17

= 1,622 Joule/mm^2

7. Spesimen C1 (*annealing* 90 menit)

$\beta = 3^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-87)

= 0,83+0,83.(-0,998)

= 0,002 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,002)
= 8,5. 10 (1,586)
= 134,81 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 134,81 : 81,81
= 1,648 Joule/mm^2

8. Spesimen C2 (*annealing* 90 menit)
$\beta = 5^0$
hi = R+R sin (α-90^0)
= 0,83+0,83 sin 66^0
= 0,83+0,83. 0,913
= 1,588 m
h2 = R+R sin (β-90^0)
= 0,83+0,83 sin (-85)
= 0,83+0,83.(-0,996)
= 0,004 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,004)
= 8,5. 10 (1,584)
= 134,64 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 134,64 : 82,008
= 1,642 Joule/mm^2

9. Spesimen C3 (*annealing* 90 menit)
$\beta = 6^0$
hi = R+R sin (α-90^0)
= 0,83+0,83 sin 66^0
= 0,83+0,83. 0,913
= 1,588 m
h2 = R+R sin (β-90^0)
= 0,83+0,83 sin (-84)
= 0,83+0,83.(-0,994)
= 0,005 m
E = m.g (hi-h2)
= 8,5. 10 (1,588-0,005)
= 8,5. 10 (1,583)
= 134,555 Joule
Nilai ketangguhan = E : L
= 134,555 : 81,804
= 1,645 Joule/mm^2

10. Spesimen D1 (tanpa *annealing*)

$\beta = 72^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-18)

= 0,83+0,83.(-0,309)

= 0,574 m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,574)

= 8,5. 10 (1,014)

= 86,19 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 86,19 : 83,43

= 1,03 Joule/mm^2

11. Spesimen D2 (tanpa *annealing*)

$\beta = 73^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-17)

= 0,83+0,83.(-0,292)

= 0,588 m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,588)

= 8,5. 10 (1)

= 85 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 85 : 83,43

= 1,01 Joule/mm^2

12. Spesimen D3 (tanpa *annealing*)

$\beta = 76^0$

hi = R+R sin (α-90^0)

= 0,83+0,83 sin 66^0

= 0,83+0,83. 0,913

= 1,588 m

h2 = R+R sin (β-90^0)

= 0,83+0,83 sin (-14)

= 0,83+0,83.(-0,241)

= 0,629 m

E = m.g (hi-h2)

= 8,5. 10 (1,588-0,629)

= 8,5. 10 (0,959)

= 81,43 Joule

Nilai ketangguhan = E : L

= 81,43 : 83,43

= 0,976 Joule/mm^2

C. DATA HASIL PENGUJIAN

Eksperimen	No spesimen	Energi terserap (Joule)	Luas penampang patah (mm^2)	Ketangguhan *impact Charpy* (Joule/mm^2)
Non PWHT	1.	86,19	83,43	1,030
	2.	85,00	83,43	1,010
	3.	81,43	83,43	0,976
PWHT 30 menit	1.	131,16	81	1,643
	2.	130,30	80,6	1,616
	3.	128,80	81	1,590
PWHT 60 menit	1.	132,43	81	1,634
	2.	132,43	80,4	1,647
	3.	133,28	82,17	1,622
PWHT 90 menit	1.	134,81	81,81	1,648
	2.	134,64	82,008	1,642
	3.	134,55	81,804	1,645

Lampiran 8