



**PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA
SAMBUNGAN LAS BAJA ASTM SA 516 *GRADE 70***

SKRIPSI

Oleh

Maulana Fahmi Choirudin

NIM 141910101014

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA
SAMBUNGAN LAS BAJA ASTM SA 516 *GRADE 70***

SKRIPSI

Oleh

Maulana Fahmi Choirudin

NIM 141910101014

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT atas semua hidayah dan nikmat yang telah diberikan dengan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah R. Muhammad Rusdi dan ibu Nur Azizah yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material dari awal studi sampai berakhirnya masa studi ini.
2. Kakak-adik yang telah memberikan dukungan dan doanya, Muhammad Royan, Salas Zainul Abdurrohman, Abdullah Syihabudin Al-Achyar, Brillianita Ayu Solichah, Deana Kusuma Alifah dan Dini Maulida Hasanah.
3. Seluruh staf dan dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah membagi ilmunya. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikirannya untuk membantu terselesainya skripsi ini. Bapak Dr. Salahuddin Junus S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Ir. Digdo Listyadi S. M.sc., selaku dosen penguji utama yang telah memberikan saran dan masukan sehingga skripsi ini diselesaikan dengan baik.
4. Saudaraku Iqbal Varian, Fawas Bayhaqi, Nofal Kharis, Purnama, Ghozian, Dyah Yulia dan seluruh mahasiswa teknik mesin 2014 atas semua dukungan dan bantuannya dalam menempuh masa studi.
5. Rekan-rekan kerja praktek, kuliah kerja nyata, keluarga besaar Kampung Kebon dan keluarga besar PPM Syafi'urrohman khususnya angkatan 2014.
6. Almamater Universitas Jember.
7. Semua pihak yang turut andil dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

MOTTO

“Barang siapa yang minta kesabaran, maka Allah akan memberinya, dan tidak ada seseorang yang yang diberi pada sesuatu yang lebih baik dan lebih luas daripada kesabaran”

(Nabi Muhammad SAW :HR.Tirmidzi)

“Keinginan harus selalu ada, tapi tetap utamakan sabar-syukur.”

(R.M. Noto Sutagno)

“Dan Kami Allah telah menciptakan besi yang di dalamnya terdapat bahaya dan manfaat yang besar bagi manusia.”

(QS. Al-Hadiid)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maulana Fahmi Chorudin

NIM : 141910101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS BAJA ASTM SA 516 *GRADE 70*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika pernyataan ini di kemudian hari tidak benar.

Jember, 16 juli 2018

Yang menyatakan,

(Maulana Fahmi Choirudin)

NIM 141910101014

PRAKATA

Segala puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat, hidayah dan anugerahnya sehingga skripsi yang berjudul “PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS BAJA ASTM SA 516 *GRADE 70*” dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember.

1. Dalam penulisan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan dan dukungan baik berupa dukungan moral maupun material dari berbagai pihak. Oleh ayah R. Muhammad Rusdi, S.Pd. dan ibu Nur Azizah yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material dari awal studi sampai berakhirnya masa studi ini.
2. Kakak-adik yang telah memberikan dukungan dan doanya, Muhammad Royan, Salas Zainul Abdurrohman, Abdullah Syihabudin Al-Achyar, Brillianita Ayu Solichah, Deana Kusuma Alifah dan Dini Maulida Hasanah.
3. Seluruh staf dan dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah membagi ilmunya. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikirannya untuk membantu terselesainya skripsi ini. Bapak Dr. Salahuddin Junus S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Ir. Digdo Listyadi S. M.sc., selaku dosen penguji utama yang telah memberikan saran dan masukan sehingga skripsi ini diselesaikan dengan baik.
4. Saudaraku Iqbal Varian, Fawas Bayhaqi, Nofal Kharis, Purnama, Ghozian, Dyah Yulia dan seluruh mahasiswa teknik mesin 2014 atas semua dukungan dan bantuannya dalam menempuh masa studi.
5. Rekan-rekan kerja praktek, kuliah kerja nyata, keluarga besar Kampung Kebon dan keluarga besar PPM Syafi'urrohman khususnya angkatan 2014.
6. Almamater Universitas Jember.

7. Semua pihak yang turut andil dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

untuk itu penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

Jember, 16 Juli 2018

Penulis



SKRIPSI

**PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS BAJA
ASTM SA 516 GRADE 70**

Oleh

Maulana Fahmi Choirudin

NIM 141910101014

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Sumarji., S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Baja ASTM SA 516 *Grade 70*” karya Maulana Fahmi Choirudin telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Senin, 16 Juli 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Sumarji, S.T., M.T.

NIP.196802021997021001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

NIP. 196701231997021001

Tim Penguji:

Penguji 1,

Penguji 2,

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

NIP.197510062002121002

Ir. Digdo Listyadi Setyawan., M.Sc

NIP.196806171995011001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP. 1966121599503 2 0001

RINGKASAN

Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Baja ASTM SA 516 Grade 70; Maulana Fahmi Choirudin, 141910101014; 2018: 70 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Industri di Indonesia memiliki tingkat pertumbuhan yang cukup tinggi. Banyak peralatan produksi yang menggunakan baja seperti *pressure vessel*, *boiler*, dan *heat exchanger*. Hal ini dikarenakan sifat material baja yang kuat dan tahan lama. Plat baja ASTM SA 516 Grade 70 adalah jenis plat yang biasa digunakan untuk bahan pembuatan *boiler*, karena memiliki sifat yang sesuai untuk pembuatan *boiler*, salah satunya adalah kekuatan tahan panas. Dari berbagai macam proses produksinya, pengelasan merupakan salah satu proses yang banyak digunakan dikarenakan pelaksanaannya yang mudah dan *portable*.

Namun proses pengelasan juga menyebabkan beberapa macam masalah, salah satu masalah dari pengelasan adalah terbentuknya bermacam-macam cacat las dan tegangan sisa. Untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, dapat dilakukan perlakuan panas atau sering disebut *Post weld heat treatment* (PWHT). Pada perlakuan panas, waktu penahanan (*holding time*), temperatur pemanasan, dan laju pendinginan merupakan faktor yang sangat penting. PWHT dimaksudkan juga untuk pelepasan tegangan sisa (*stress relieving*). Selain itu PWHT dapat meningkatkan keuletan di HAZ dan memperbaiki sifat mampu lasnya. Dalam penelitian ini akan menginvestigasi pengaruh PWHT dengan temperatur pemanasan sebesar 630°C dengan variasi *holding time* 0,5, 1, 1,5 dan 2 jam pada bahan baja ASTM SA 516 Gr. 70 yang disambung menggunakan *shielded metal arc welding* (SMAW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

Penelitian dilaksanakan dengan 3 tahap utama. Tahap pertama adalah proses pengelasan SMAW yang dilakukan dengan membuat spesimen sesuai kondisi lapangan dengan parameter yang sudah ditentukan, yaitu dengan jenis elektroda LB 52 E7016 diameter 3,2 mm, jenis sambungan *single V groove* 60° dan

parameter pengelasan lainnya. Tahap kedua yaitu Pemotongan spesimen dan proses PWHT, pemotongan dilakukan menggunakan mesin gergaji dengan cairan pendingin, dan proses PWHT dilakukan menggunakan *electric furnace* dengan laju pemanasan yang terkontrol. Tahap ketiga yaitu proses pengujian yang meliputi uji kekerasan, uji tarik dan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik metalurgi.

Hasil penelitian menunjukkan PWHT sedikit menurunkan kekuatan tarik dan kekerasan, terutama pada daerah *HAZ* dan *weld zone*. Waktu penahanan (*holding time*) 1 jam merupakan yang terbaik karena menunjukkan penurunan yang paling besar. Struktur mikro pada daerah *base metal* tidak mengalami perubahan dikarenakan ukuran butir struktur *ferrite* dan *pearlite* yang besar dan stabil, pada *HAZ* menghasilkan *ferrite* dan *martensite* yang halus juga tidak terjadi perubahan struktur mikro yang signifikan dikarenakan temperatur PWHT hanya pada temperatur 630⁰C yang masih di bawah temperatur rekristalisasi. Pada daerah logam las struktur mikro mengalami sedikit perubahan dengan adanya efek *tempering* yang membuat struktur mikro terlihat lebih halus, namun tidak merubah fasa pada daerah tersebut. Adapun penurunan Kekerasan dan kekuatan tarik yang terjadi lebih banyak disebabkan karena pelepasan tegangan sisa (*stress relieving*).

SUMMARY

Effect of Post Weld Heat Treatment on Mechanical Properties And Microstructures On ASTM SA 516 Grade 70 Steel Welded joints; Maulana Fahmi Choirudin, 141910101014; 2018: 70 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Jember University.

Industry in Indonesia has a high growth rate. Many steel production equipment such as preessure vessel, boiler, and heat exchanger. This is because the properties of steel material is strong and durable. ASTM SA 516 Grade 70 steel plate is a type of plate commonly used for boiler making materials, because it has properties suitable for boiler manufacturing, one of which is heat resistant strength. From a variety of production processes, welding is one process that is widely used due to its easy and portable implementation.

But the welding process also causes some kinds of problems, one of the problems of welding is the formation of various weld defects and residual stresses. To reduce the adverse effects, heat treatment can be done or often called Post weld heat treatment (PWHT). In heat treatment, holding time, heating temperature, and cooling rate are very important factors. PWHT is also intended for the release of residual stress (stress relieving). In addition PWHT can increase the ductility in HAZ and improve the properties of weldability. In this study will investigate the effect of PWHT with heating temperature of 630 ° C with a holding time variation of 0.5, 1, 1.5 and 2 hours on ASTM SA 516 Gr steel materials. 70 coupled using shielded metal arc welding (SMAW) against its mechanical properties and microstructure.

The study was conducted in 3 main stages. The first stage is the SMAW welding process which is done by making the specimen according to field condition with the specified parameters, that is with LB 52 E7016 diameter type 3.2 mm, single V groove 60 ° and other welding parameters. The second stage is the cutting of specimen and PWHT process, cutting is done by sawing machine

with coolant, and PWHT process is done by electric furnace with controlled heating rate. The third stage is the test process which includes hardness test, tensile test and microstructure observation using optical metallurgical microscope.

The results show that PWHT slightly decreases tensile strength and hardness, especially in HAZ and weld zone areas. Holding time of 1 hour is the best because it shows the biggest influence. The microstructure in the base metal region did not change due to the large and stable grain size of the ferrite and pearlite structures, the HAZ produced a fine ferrite and martensite as well as no significant microstructure change due to PWHT temperature only at 630 ° C which is still below recrystallization temperature . In the weld metal region the microstructure has little change with the tempering effect that makes the micro structure look smoother, but does not change the phase in the area. The decline Hardness and tensile strength that occurs more due to the release of residual stress (stress relieving).

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	I
MOTTO	II
PERNYATAAN.....	III
PRAKATA.....	IV
SKRIPSI.....	VI
PENGESAHAN	VII
SUMMARY	X
DAFTAR ISI.....	XII
DAFTAR GAMBAR	XV
DAFTAR TABEL.....	XVII
BAB 1 . PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	4
1.5 Hipotesa.....	4
BAB 2 . TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Pengelasan	5
2.2 Las Busur Listrik	6
2.3 <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	7
2.4 Elektroda	11
2.5 Arus Listrik dalam Pengelasan.....	12
2.6 Daerah Pengelasan	13
2.7 Macam-macam Sambungan Las	13
2.8 Tegangan Sisa Pada Komponen Pengelasan	14
2.8.1 Retak pada komponen pengelasan	15

2.9	<i>Post Weld Heat Treatment</i>	16
2.9.2	<i>Tempering</i>	19
2.10	Baja ASTM SA 516 <i>Grade 70</i>	20
2.11	Metalurgi Pengelasan	21
2.11.1	Diagram Fasa Fe-C	21
2.12	Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)	23
2.13	Uji Tarik	27
2.14	Pengujian Kekerasan	30
2.14.1	<i>Brinell Hardness Test</i>	30
2.15	Pengamatan Struktur Mikro	31
2.15.1	Pemotongan (<i>Cutting</i>)	31
2.15.2	<i>Mounting</i>	32
2.15.3	Pengamplasan	32
2.15.4	Pemolesan	33
2.15.5	Etsa	33
2.16	Tinjauan Beberapa Penelitian Sebelumnya	33
BAB 3	. METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1	Metode Penelitian	37
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	37
3.3.1	Alat	37
3.3.2	Bahan	38
3.4	Variabel Penelitian	39
3.4.1	Variabel Bebas	39
3.4.2	Variabel Terikat	39
3.4.3	Variabel Kontrol	39
3.5	Proses Pengelasan	39
3.6	Proses <i>Post Weld Heat Treatment</i> (PWHT)	42
3.7	Proses Pengujian	42
3.7.1	Pengujian Tarik	43
3.7.2	Pengujian Kekerasan	43

3.7.3	Pengamatan Struktur Mikro	44
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB 4	. PEMBAHASAN	47
4.1	Komposisi Bahan	47
4.2	Pengujian Kekerasan	47
4.2.1	Hasil Data Pengujian Kekerasan.....	48
4.3	Uji Tarik	50
4.3.1	Hasil Data Uji Tarik.....	50
4.4	Pengamatan Stuktur Mikro.....	54
4.4.1	Struktur Mikro Logam Induk (<i>Base Metal</i>)	55
4.4.2	Struktur Mikro Logam Las (<i>Weld Zone</i>).....	56
4.4.3	Struktur Mikro HAZ	59
BAB 5	. PENUTUP	62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pengelasan busur listrik	7
Gambar 2.2 Proses SMAW	7
Gambar 2.3 Diagram rangkaian SMAW	9
Gambar 2.4 pemegang elektroda.....	9
Gambar 2.5 Bagian-bagian elektroda.....	12
Gambar 2.6 Sifat kimia dan mekanik elektroda LB 52.....	12
Gambar 2.7 Daerah pengelasan.....	13
Gambar 2.8 Macam-macam sambungan las	14
Gambar 2.9 Hubungan antara waktu-temperatur pada proses penghilangan tegangn sisa pada baja	17
Gambar 2.11 Variasi kekuatan luluh dengan temperatur pada tiga kelas generik baja	18
Gambar 2.12 Skema produk transformasi austenit pada pendinginan dan transformasi Martensite pada pemanasan	19
Gambar 2.13 Diagram fasa besi karbon	21
Gambar 2.14 Transformasi fasa logam pengelasan.	23
Gambar 2.15 Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ 55	24
Gambar 2.16 Struktur mikro pearlite	26
Gambar 2.17 Struktur mikro martensite	26
Gambar 2.18 Kurva tegangan regangan teknik	29
Gambar 2.19 Batas elastis dan tegangan luluh.....	29
Gambar 2.20 Ferrite accicular dengan pearlite dan batas butir bainite 1000x.....	34
Gambar 3.1 Dimensi spesimen utama yang akan dipotong	39
Gambar 3.2 Sudut kampuh V pada spesimen yang akan dilas	40
Gambar 3.3 Dimensi dudukan penyangga spesimen	40
Gambar 3.4 Dimensi penyangga sisi lasan	40
Gambar 3.5 <i>Assembly</i> (Penggabungan) spesimen dengan penyangga.....	41
Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji tarik.....	43
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 4.1 Titik pengujian kekerasan	48
Gambar 4.2 Grafik perbandingan nilai kekerasan dan variasi PWHT pada beberapa daerah las.	48
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh setelah proses PWHT	50
Gambar 4.4 Deformasi plastis setelah uji tarik	51
Gambar 4.5 (a) Patahan pada spesimen tanpa perlakuan, (b) Patahan pada spesimen denngan PWHT 630 ⁰ C <i>holding time</i> 0,5 jam.....	52

Gambar 4.6 (a) Patahan pada spesimen dengan <i>holding time</i> 1,5 jam, (b) Patahan pada spesimen dengan <i>holding time</i> 2 jam.....	53
Gambar 4.7 Pengambilan gambar pada masing-masing daerah pengelasan.....	54
Gambar 4.8 Struktur mikro <i>base metal</i> baja ASTM SA 516 Grade 70, (a) tanpa perlakuan panas, (b) PWHT 630°C <i>holding time</i> 0,5 jam, (c) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1 jam, (d) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1,5 jam, (e) PWHT 630°C <i>holding time</i> 2 jam.....	55
Gambar 4.9 Struktur mikro <i>weld zone</i> baja ASTM SA 516 Grade 70. (a) tanpa perlakuan panas, (b) PWHT 630°C <i>holding time</i> 0,5 jam, (c) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1 jam, (d) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1,5 jam, (e) PWHT 630°C <i>holding time</i> 2 jam.....	57
Gambar 4.10 Struktur mikro <i>weld zone</i> plat baja SA 516 Gr. 70 (Mthobisi Z. 2012)	58
Gambar 4.11 Struktur mikro HAZ baja ASTM SA 516 Grade 70 (a) tanpa perlakuan panas, (b) PWHT 630°C <i>holding time</i> 0,5 jam, (c) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1 jam, (d) PWHT 630°C <i>holding time</i> 1,5 jam, (e) PWHT 630°C <i>holding time</i> 2 jam.....	59
Gambar 4.12 struktur mikro HAZ sambungan las baja SA 516 Gr. 70 (Mthobisi Z. 2012).....	60
Gambar 4.13 Struktur mikro HAZ baja ASTM 517 Grade B Setelah PWHT (Sepehrzad, 2015)	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja ASTM SA 516 <i>Grade</i> 70	20
Tabel 2.2 Penjelasan simbol pada diagram fasa.....	22
Tabel 3.1 Jumlah Spesimen yang akan digunakan dalam pengujian.	42
Tabel 4.1 Komposisi kimia baja ASTM SA 516 <i>Grade</i> 70	47



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri di Indonesia memiliki tingkat pertumbuhan yang cukup tinggi. Banyak peralatan produksi yang menggunakan baja seperti *pressure vessel*, *boiler*, dan *heat exchanger*. Hal ini dikarenakan sifat material baja yang kuat dan tahan lama. Plat baja ASTM SA 516 Grade 70 adalah jenis plat yang biasa digunakan untuk bahan pembuatan *boiler*, karena memiliki sifat yang sesuai untuk pembuatan *boiler*, salah satunya adalah kekuatan tahan panas.

Dari berbagai macam proses produksinya, pengelasan merupakan salah satu proses yang banyak digunakan dikarenakan pelaksanaannya yang mudah dan *portable*. Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan *termal*. Namun proses pengelasan juga menyebabkan beberapa macam masalah, salah satu masalah dari pengelasan adalah terbentuknya bermacam-macam cacat las dan tegangan sisa. Untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat, atau dicari kecepatan arus, pengelasan dan panas masukan yang optimal. Sambungan las yang akan digunakan pada sambungan konstruksi baja seperti jembatan dan bejana tekan, harus memenuhi persyaratan yang sesuai.

Pada berbagai proses perlakuan panas, waktu penahanan (*holding time*), temperatur pemanasan, dan laju pendinginan merupakan faktor yang sangat penting. *Post weld heat treatment* (PWHT) dimaksudkan juga untuk pelepasan tegangan sisa (*stress relieving*). Selain itu PWHT dapat meningkatkan keuletan di HAZ dan memperbaiki sifat mampu lasnya (Sonawan dan Suratman; 2004)

A. G. Olabi (1995) melakukan penelitian efek PWHT dengan temperatur 560 °C dan waktu penahanan 2 jam terhadap sifat mekanik dan nilai tegangan sisa pada sambungan las I *beam* baja struktural menggunakan uji tarik, uji impact, uji kekerasan dan *hole drilling method* untuk mengukur tegangan sisa dan

memberikan hasil bahwa PWHT meningkatkan keuletan sekitar 15%, tanpa memberikan perubahan kekuatan tarik dan kekerasan yang signifikan dan tegangan sisa berkurang sebesar 70%.

Menurut penelitian Ahmed S. Riyaz (2015) menggunakan bahan *HSLA Steel* yaitu ASTM A387 *alloy steel*, kemudian disambung dengan las SMAW dan dilakukan proses PWHT dengan variasi waktu penahanan (0,5, 2, 10 dan 50 jam) pada temperatur 725°C. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ada perubahan yang signifikan pada sifat mekanik dan mikrostruktur dengan PWHT dan waktu perlakuan panas terbaik yang cocok untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dalam struktur untuk aplikasi industri

Hasil penelitian Suparman (2006) menggunakan bahan baja bohler *Grade K-945 EMS 45* yang di PWHT dengan variasi temperatur 750°C, 800°C, 850°C, 900°C didapatkan kekuatan tarik dan tegangan luluh rata-rata sebesar 70,0 kg/mm² dan 54,59 kg/mm², yang bernilai lebih tinggi dibandingkan hasil lasan tanpa proses PWHT. Semakin tinggi temperatur yang digunakan menyebabkan nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasannya semakin menurun.

Pada penelitian Sepehrzad. R *dkk* (2015) melakukan studi mengenai efek PWHT dengan temperatur 480, 560, 620 dan 680 °C terhadap mikrostruktur dan kekuatan mekanik pada sambungan las plat baja ASTM A517 *Grade B* dengan menggunakan SMAW, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa PWHT mengurangi kekuatan impak, dimana kekuatan mekanik terbaik didapatkan pada variasi temperatur *holding time* 560 °C .

Berdasarkan hasil penelitian di atas, penggunaan PWHT menunjukkan pengaruh yang signifikan pada sifat mekanik maupun struktur mikro sambungan las. Oleh karena ASTM SA 516 *Grade 70* adalah material yang sering digunakan sebagai bahan pembuatan *pressure vessel* yang membutuhkan sifat mekanik yang kuat pada sambungan lasnya, maka akan dilakukan penelitian pengaruh PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70*.

Parameter yang digunakan adalah lamanya waktu penahanan untuk mengetahui apakah waktu penahanan berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap nilai kekerasan pada sambungan lasan Baja ASTM SA 516 *Grade 70*?
- b. Bagaimanakah pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap kekuatan tarik pada sambungan lasan Baja ASTM SA 516 *Grade 70*?
- c. Bagaimanakah perubahan struktur mikro pada *base metal*, HAZ dan *weld zone* pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70* setelah di lakukan proses PWHT ?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah penting dilakukan untuk menghindari pembahasan yang menyimpang keluar dari batasan masalah penelitian yang telah ditentukan. Adapun beberapa batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Tidak melakukan pengujian komposisi baja maupun elektroda.
- b. Kecepatan pengelasan yang dikerjakan oleh juru las dianggap konstan.
- c. Tidak melakukan pengukuran nilai tegangan sisa pada sambungan las.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap nilai kekerasan pada sambungan lasan Baja ASTM SA 516 *Grade 70*,

- b. Mengetahui pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap kekuatan tarik pada sambungan lasan Baja ASTM SA 516 *Grade 70*?
- c. Mengetahui perubahan struktur mikro pada *base metal*, HAZ dan *weld zone* sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70* setelah di lakukan proses PWHT.

1.4.2 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini manfaat yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap sifat mekanik berupa nilai kekerasan pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade70*,
- b. Dapat mengetahui pengaruh PWHT dengan variasi *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam terhadap sifat mekanik berupa kekuatan tarik pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade70*,
- c. Dapat mengetahui perubahan struktur mikro pada *base metal*, HAZ dan *weld zone* sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70* setelah dilakukan proses PWHT.

1.5 Hipotesa

Pemberian PWHT yang berbeda berupa variasi *holding time* yang berbeda pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70* akan memberikan pengaruh terhadap kekuatan mekaniknya, yaitu akan menurunkan kekuatan tarik dan kekerasan, dan akan menambah keuletan dengan bertambahnya nilai elongasi. Struktur mikro pada HAZ, *base metal* dan *weld zone* akan lebih seragam setelah dilakukanPWHT

BAB 2 .TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pengelasan

Proses pengelasan sangat diperlukan dalam perkembangan setiap produk-produk manufaktur. Namun, proses ini sering mengkonsumsi biaya produksi yang lebih besar dan menyebabkan lebih banyak kesulitan produksi daripada yang diharapkan. Ada beberapa alasan yang menjelaskan situasi ini. Pertama, pengelasan baik dari segi variasi proses (seperti *fastening*, perekatan ikatan, solder, mematri, pengelasan busur, ikatan difusi, dan pengelasan ketahanan) dan dalam disiplin ruang yang dibutuhkan untuk pemecahan masalah (seperti mekanika, ilmu material, fisika, kimia, dan elektronika). Seorang insinyur dengan pengetahuan luas dan Pelatihan mendalam diperlukan untuk membawa disiplin ini bersama-sama dan menerapkannya secara efektif ke berbagai proses. Kedua, pengelasan biasanya dilaksanakan dalam proses manufaktur, dimana nilai gesekan relatifnya tinggi. Ketiga, persentase kegagalan produk yang sangat besar terjadi pada sambungan karena sambungan mendapatkan tekanan tertinggi pada titik perakitan, sedangkan sambungan tersebut aslinya merupakan bagian terlemah dari perakitan tersebut. Perhatian yang cermat terhadap proses penyambungan bisa menghasilkan penghargaan besar dalam ekonomi manufaktur dan keandalan produk. (Arai *et al.* , 1991)

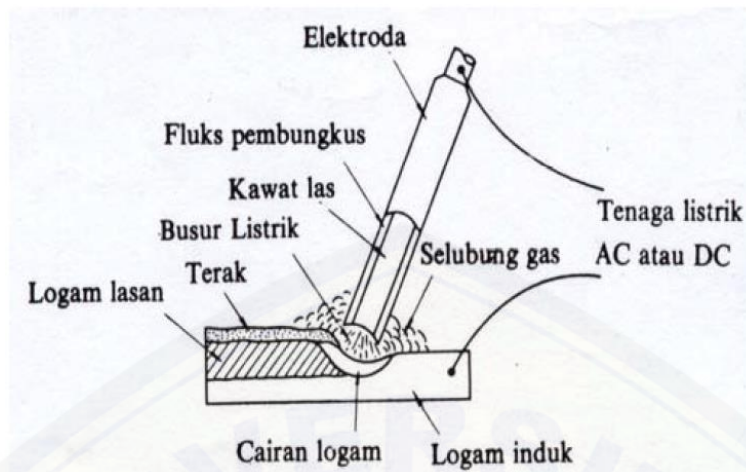
Salah satu jenis pengelasan yang sering digunakan adalah jenis *fusion welding*. Karena ada banyak proses pengelasan fusi, salah satu kesulitan terbesar bagi insinyur manufaktur adalah tentukan proses mana yang akan menghasilkan barang yang dapat diterima dengan biaya terendah. Setiap perubahan pada bagian geometri, material, nilai dari produk akhir, atau ukuran produksi yang dijalankan, serta ketersediaan penggabungan peralatan, dapat mempengaruhi pilihan metode penyambungan (Arai *et al.* , 1991)

Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa

dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya (Alip, 1989).

2.2 Las Busur Listrik

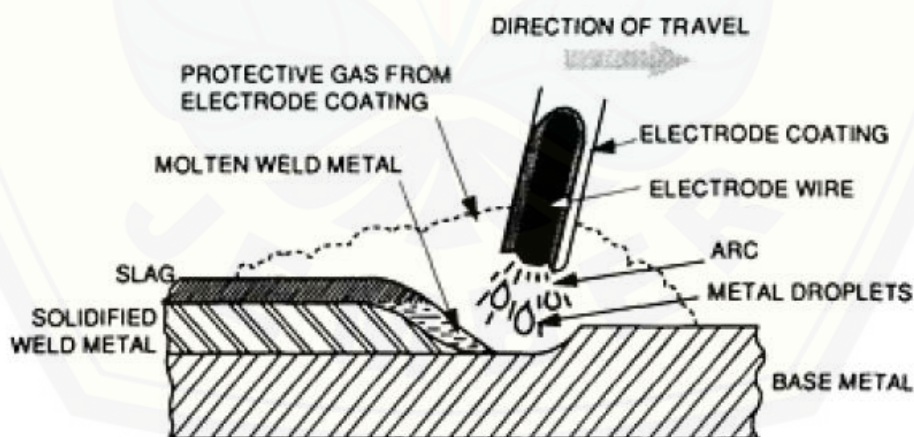
Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus. Prinsip pengelasan las busur listrik adalah sebagai berikut (gambar 2.1) : arus listrik yang cukup padat dan tegangan rendah bila dialirkan pada dua buah logam yang konduktif akan menghasilkan loncatan elektroda yang dapat menimbulkan panas yang sangat tinggi mencapai temperatur 5000°C sehingga dapat mudah mencairkan kedua logam tersebut. Proses pemindahan logam cair seperti dijelaskan diatas sangat mempengaruhi sifat maupun las dari logam, dapat dikatakan bahwa butiran logam cair yang halus mempunyai sifat mampu las yang baik. Sedangkan proses pemindahan cairan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan, fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda sebagai zat pelindung yang sewaktu pengelasan juga ikut mencair. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan logam yang dicairkan, maka cairan fluks tersebut mengapung diatas cairan logam dan membentuk terak sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahan tidak terbakar, tetapi berubah menjadi gas pelindung dari logam cair terhadap oksidasi (Wiryosumarto & Okumura , 2004).



Gambar 2.1 Proses pengelasan busur listrik (Wiryosumarto & Okumura , 2004)

2.3 *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

SMAW yang biasa disebut dengan pengelasan elektroda terbungkus, atau pengelasan *stick* merupakan proses pengelasan manual dimana busur listrik terbentuk diantara benda kerja dan elektroda terbungkus. Pada proses ini dekomposisi fluks membentuk gas pelindung untuk menjaga cairan manik lasan dan kampuh las.



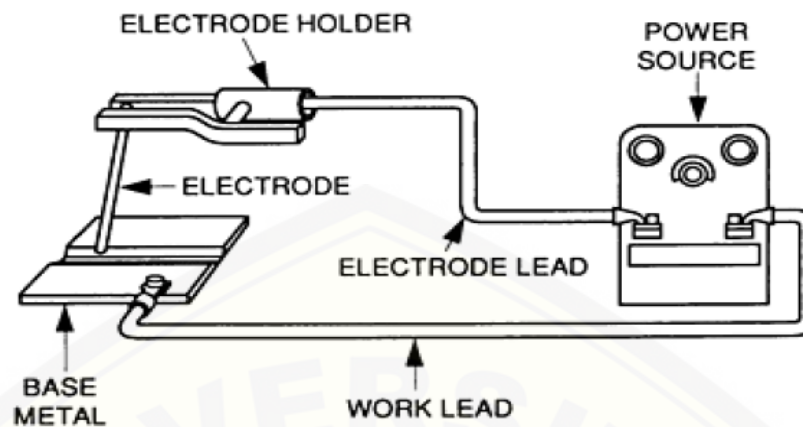
Gambar 2.2 Proses SMAW (Arai *et al .*, 1991)

Proses mendasar SMAW ditunjukkan pada Gambar 2.2. Busur diciptakan oleh sentuhan sesaat atau "menggores" elektroda pada logam induk. Busur yang dihasilkan melelehkan baik logam induk dan ujung pengelasan pada elektroda.

Logam elektroda cair / fluks dipindahkan melintasi busur (dengan gaya busur) ke kampuh logam induk, menjadi deposit las yang ditutupi oleh terak pelindung dari penutup elektroda. Keuntungan dan Keterbatasan pada Proses SMAW adalah proses pengelasan yang paling banyak digunakan. Pengelasan yang paling sederhana, dalam lingkup persyaratan peralatan, tapi mungkin yang paling sulit dalam hal pelatihan juru las dan persyaratan tingkat keterampilan. Investasi peralatannya relatif kecil, dan elektroda pengelasan (kecuali logam yang sangat reaktif, seperti titanium, magnesium, dan lainnya) tersedia untuk hampir semua manufaktur, konstruksi, atau aplikasi perawatan. Pengelasan SMAW memiliki fleksibilitas terbesar dari semua proses pengelasan, karena hal ini dapat digunakan disemua posisi (datar, vertikal, horizontal, dan *overhead*), dengan hampir semua ketebalan logam dasar (1,6 mm, atau 1/16 in, dan lebih besar), dan di area aksesibilitas terbatas, yang merupakan kemampuan yang sangat penting.

Karena proses SMAW pada dasarnya adalah proses manual, tingkat keterampilan juru las sangat penting dalam mendapatkan pengelasan yang dapat diterima. Faktor lain yang juga mengurangi kualitas adalah pembersihan *interbead* yang tidak tepat, lokasi lasan yang buruk, dan berbagai masalah dengan elektroda, termasuk sebagian fluks dan kabel inti yang hilang yang tidak terpusat di dalam penutup fluks. Posisi pengelasan datar (*butt*) dan lasan horizontal umumnya dianggap paling mudah untuk dilas. Pengelasan di luar posisi (vertikal, *overhead*) membutuhkan *skill* yang lebih besar.

Diagram rangkaian untuk proses SMAW ditunjukkan pada Gambar 2.3. Peralatan terdiri dari sebuah daya sumber, pemegang elektroda, dan kabel las yang menghubungkan sumber listrik ke kedudukan elektroda dan benda kerja.



Gambar 2.3 Diagram rangkaian SMAW (Arai *et al.* , 1991)

Arus bolak-balik (AC), atau arus searah, elektroda negatif (DCEN), atau arus searah, elektroda positif (DCEP) dapat digunakan, tergantung pada karakteristik lapisan elektroda. Sumber DCEN juga disebut polaritas lurus DC, sedangkan Sumber DCEP juga disebut *DC reverse polarity*.



Gambar 2.4 pemegang elektroda (Arai *et al.* , 1991)

Mesin las, atau sumber listrik, adalah inti dari proses SMAW. Tujuan utamanya adalah menyediakan daya listrik arus dan voltase yang tepat untuk mempertahankan busur las yang terkendali dan stabil. Elektroda SMAW beroperasi dalam kisaran 25 sampai 500 A. Operasi busur tegangan bervariasi antara 15V dan 35V. Pemegang elektroda, yang dipegang oleh juru las, dengan kuat menjepit elektroda dan mentransmisikan arus pengelasan ke dalamnya. Pemegang elektroda tersedia dalam beberapa desain, seperti jenis *pincher* dan

collet, atau *twist*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Setiap gaya memiliki pendukungnya dan pemilihannya biasanya merupakan pilihan pribadi. Pemegang elektroda ditunjuk oleh faktor seleksi, seperti rating arus, siklus kerja, ukuran elektroda maksimum, dan ukuran kabel (Arai *et al.*,1991). Satu unit las SMAW terdiri dari (Bintoro, 1999) :

a) Mesin pembangkit tenaga listrik/mesin las

Mesin las terdiri dari dua macam yaitu: mesin las arus bolak balik (mesin las AC) dan mesin las arus searah (mesin las DC). Pada mesin las AC terdapat *transformator* atau trafo yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, kebanyakan trafo yang digunakan pada peralatan las adalah jenis trafo *step-down*, yaitu trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Sedangkan pada mesin las DC terdapat *receifer* atau penyearah arus yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC)

b) Kabel las

Kabel las digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke elektroda dan massa. Arus yang besar harus dapat dialirkan melalui kabel tanpa banyak mengalami hambatan, sehingga perlu dipilih kabel yang sesuai dengan arus yang dialirkan.

c) Elektroda

Berdasarkan selaput pelindungnya, elektroda dibedakan menjadi dua macam, yaitu elektroda polos dan elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti yang berfungsi sebagai *filler metal* dan zat pelindung atau *flux* yang berfungsi untuk:

1. Melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja yang dilas dari udara luar. Udara luar mengandung oksigen yang dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas.
2. Memungkinkan dilakukannya posisi pengelasan yang berbeda-beda.
3. Memberikan sifat-sifat khusus pada hasil pengelasan dengan cara menambah zat-zat tertentu pada selaput elektroda dan lain sebagainya.

d) Pemegang elektroda

Pemegang elektroda berfungsi sebagai penjepit/pemegang ujung elektroda yang tidak berselaput, dan juga berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari kabel ke elektroda.

e) Tang penghubung kabel massa

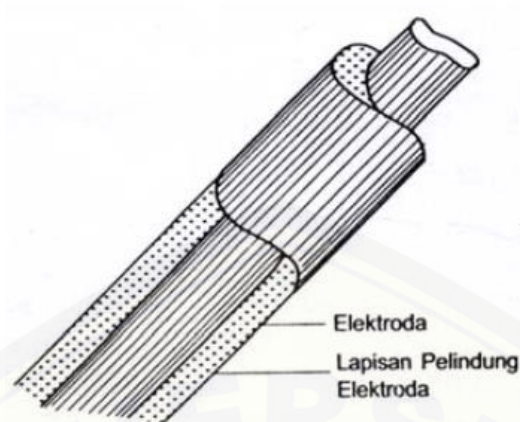
Tang penghubung kabel massa berfungsi untuk menghubungkan kabel massa dengan benda kerja yang akan dilas.

f) Alat bantu

Alat bantu sifatnya tidak mutlak harus ada. Fungsinya adalah sebagai pembantu untuk mempermudah dalam pengelasan. Alat bantu yang umum digunakan contohnya: palu terak, tang untuk memegang benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan sebagainya.

2.4 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan SMAW memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, selain berfungsi sebagai pemantik, elektroda juga sebagai bahan tambah (*filler*). Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berlapis (fluks) dan tidak berlapis yang merupakan ujung untuk memasang pada tang las. Fungsi fluks atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung dan menstabilkan busur. Pada dasarnya jika dilihat dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non *ferro*. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Suharto; 1991). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).



Gambar 2.5 Bagian-bagian elektroda (Bintoro, 2000)

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda dengan tipe LB 52 dengan kode AWS A5.1 E7016, “L” memiliki arti *low hydrogen* dan “B” merupakan simbol elektroda terbungkus yang berterak. “52” menunjukkan tingkat kekuatan tarik pada hasil lasan dengan elektroda ini. AWS A.51 merupakan tabel hasil pengujian sifat kimia dan mekanik *weld metal* oleh AWS (*American Welding Society*) yang dapat dilihat pada gambar 2.6. elektroda ini digunakan untuk penyambungan *low hydrogen high strength steel* dan *mild steel*.

C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.08	0.60	0.94	0.011	0.006
0.2% OS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	IV (J)	PWHT (°C x h)
500	570	32	-29°C:120	As weld
420	520	33	-29°C:150	620 x 1

Gambar 2.6 Sifat kimia dan mekanik elektroda LB 52 (Cobelco)

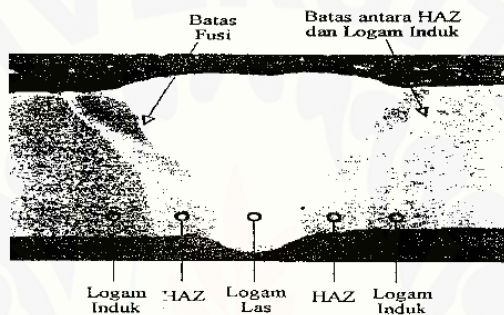
2.5 Arus Listrik dalam Pengelasan

Arus listrik dalam pengelasan merupakan suatu ukuran yang akan mempengaruhi pencairan dan penembusan logam induk. Semakin tinggi arus maka kecepatan pencairan dan penembusan juga akan semakin besar. Bila arus dalam pengelasan terlalu rendah maka perpindahan logam cair dari ujung elektroda akan sulit terjadi dan busur listrik yang terbentuk akan tidak stabil, hal

ini dikarenakan masukan panas yang kecil sehingga tidak mencukupi untuk melelehkan logam dalam elektroda. Hasil dari pengelasannya akan berbentuk kasar, tidak rata dan penembusan yang kurang dalam. Bila arus terlalu besar maka akan menjadikan manik las yang terlalu lebar dan penetrasi terlalu dalam.

2.6 Daerah Pengelasan

Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah berikut ini seperti terlihat pada gambar 2.7 :



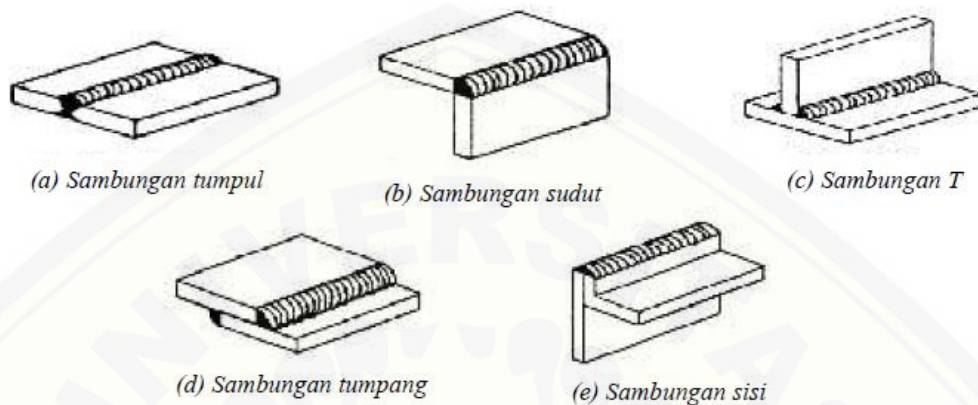
Gambar 2.7 Daerah pengelasan (Sonawan dan Rochim, 2004)

- Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam induk dimana panas akibat pengelasan tidak menjadikan terjadi perubahan struktur mikro dan sifat dari logam.
- Daerah Lasan (*weld zone*), merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mengalami proses mencair dan membeku.
- Heat Affected Zone* (HAZ) Daerah pengaruh panas, merupakan logam dasar yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. (Wiryosumarto & Okumura, 2004)
- Fusion line*, daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas

2.7 Macam-macam Sambungan Las

Hasil penyambungan logam dengan proses pengelasan akan menghasilkan sambungan yang bagus kekuatannya, di mana untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas hendaknya kedua ujung/bidang atau bagian logam yang akan dilas perlu di berikan suatu bentuk kampuh las tertentu (Arifin, 1977)

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang (gambar 2.8). Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



Gambar 2.8 Macam-macam sambungan las (Wiryo Sumarto & Okumura, 2004)

2.8 Tegangan Sisa Pada Komponen Pengelasan

Tegangan sisa berada pada struktur material atau komponen yang merupakan tegangan yang muncul pada suatu objek tanpa adanya pemberian beban dari luar. Proses manufaktur merupakan penyebab paling umum yang menyebabkan terjadinya tegangan sisa, seperti pada proses pengecoran, pengelasan, permesinan, penempaan dll semuanya memberikan tegangan sisa pada objek manufakturnya. Pada pengelasan, tegangan sisa terjadi karena pengaruh panas transien lokal yang jauh berbeda pada logam dasar yang terjadi, saat pengelasan mengalami ekspansi dan penyusutan pada struktur.

Tegangan ini terletak pada sambungan las dan sekitarnya. Umumnya mereka mencapai tingkat yang mendekati kekuatan luluh logam, sebuah kendala eksternal yang tidak tampak selama pengelasan. Dalam kondisi beban multi-aksial, mereka dapat menyebabkan patah rapuh dari sambungan las. Tegangan sisa menyebabkan retak dan ketidakcocokan. Tegangan tarik sisa yang tinggi di daerah dekat las menyebabkan fraktur pada kondisi tertentu. (Ghani, 1994)

2.8.1 Retak pada komponen pengelasan

Tegangan sisa berkontribusi pada retak las. Kontraksi pada struktur las selama pendinginan membentuk tegangan tarik pada sambungan dan dapat menyebabkan salah satu cacat las yang paling serius, yaitu retak. Retak pengelasan akan terjadi selama proses pengelasan atau sesaat setelah pengelasan selesai. *Cracking* dapat terjadi pada deposit las, di HAZ, atau di kedua wilayah ini. Ini adalah tipe besar, yang terlihat oleh mata telanjang dan disebut *macrocracking*, atau hanya terlihat di bawah mikroskop, yang dalam hal ini disebut *microcracking* atau *microfissuring*. *Cracking* yang terjadi selama solidifikasi logam las dikenal sebagai *solidification cracking* atau retak panas. Penggetasan logam induk atau zona yang terkena panas dapat menyebabkan subsolidus atau *cold cracking*. Dalam *solidification cracking* ada dua prasyarat terjadinya retak selama siklus termal las, yaitu logam harus memiliki duktilitas rendah, dan tegangan tarik yang dihasilkan akibat kontraksi harus melebihi tegangan fraktur pada logam. Sifat mekanik dari logam di wilayah solidus sangat penting dalam kaitannya dengan retak solidifikasi. Secara umum, retak dapat terjadi karena berbagai alasan dan mungkin terjadi bertahun-tahun setelah pengelasan selesai. *Restraint* dan tegangan sisa adalah penyebab utama retak las selama fabrikasi pengelasan. *Restraint* pengelasan disebabkan karena beberapa faktor, salah satu yang terpenting adalah kekakuan dan rigiditas pada pengelasan itu sendiri. Faktor lain yang terlibat adalah pendinginan yang cepat dari deposit las, jika logam dasar digabungkan keadaan dingin dan lasan relatif kecil maka akan mendingin dengan sangat cepat. Jadi penyusutan akan terjadi dengan cepat dan retak bisa terjadi. Alasan lain terjadi retak adalah kandungan karbon dan unsur lainnya dalam logam dasar bila lasan dibuat dengan karbon tinggi atau logam paduan tinggi. Selama pengelasan logam dasar dilebur dan dicampur dengan elektroda untuk menghasilkan logam las. Logam las yang dihasilkan memiliki kandungan karbon dan paduan yang lebih tinggi, memberikan kekuatan yang lebih tinggi namun duktilitas rendah dan karena menyusut dan tidak memiliki duktilitas yang cukup menyebabkan deformasi plastis sehingga retak bisa terjadi. Faktor lain adalah adanya hidrogen di logam las. Pada HAZ di logam

dasar, adanya hidrogen di busur atmosfer akan menyebabkannya diserap dalam logam cair. Saat logam mendingin akan menolak hidrogen dan jika ada penahanan yang cukup, retak akan terjadi. (Ghani, 1994)

2.9 Post Weld Heat Treatment

PWHT yang digunakan pada penelitian ini berupa *stress relief heat treating*, digunakan untuk menghilangkan tegangan yang tetap terkunci dalam struktur sebagai konsekuensi dari proses manufaktur. (Arai *et al.*, 1991)

Stress relief heat treating didefinisikan sebagai pemanasan seragam suatu struktur pada temperatur yang sesuai, penahanan pada temperatur tertentu dan jangka waktu yang telah ditentukan, diikuti oleh pendinginan yang seragam. *Stress relief heat treating* biasanya dilakukan di bawah kisaran temperatur kritis (sebelum transformasi ke *austenite*). Temperatur dan waktu untuk penanganan panas pasca las bergantung pada jenis materialnya.

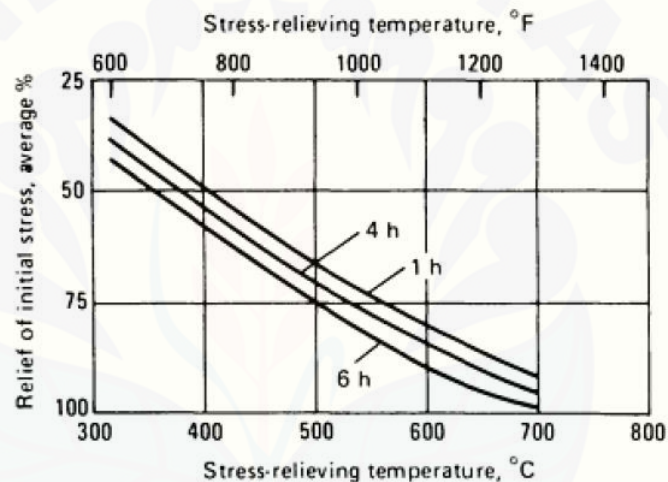
Persentase pelepasan tegangan sisa bergantung pada jenis material, komposisi, atau kekuatan luluh. Secara umum, penerapan PWHT di bawah temperatur kritis Ac_1 (723°C untuk AISI-1020 dan 773°C untuk AISI-410) menghasilkan pelunakan logam dasar. PWHT biasanya diterapkan dengan tujuan untuk mencapai perbaikan berikut:

- Pelepas tegangan sisa.
- Meminimalkan kerentanan terhadap formasi retak terutama pada kondisi yang mana kemungkinan untuk ketangguhan takik tinggi.
- Untuk meningkatkan stabilitas dimensi.
- Untuk mengurangi kekerasan yang terkena dampak panas (HAZ) dengan dekomposisi *martensite* dan struktur jenuh lainnya.
- Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.
- Untuk menghilangkan retak dingin. (Ghani, 1994)

2.9.1 Pengurangan tegangan sisa

Sejumlah faktor mempengaruhi pengurangan tegangan sisa, termasuk tingkat stres, waktu yang diijinkan (atau dapat dipraktekkan) untuk proses *relief*, temperatur, dan stabilitas metalurginya.

- a) Faktor waktu-temperatur, penghilangan tegangan sisa merupakan fenomena mengenai waktu-temperatur

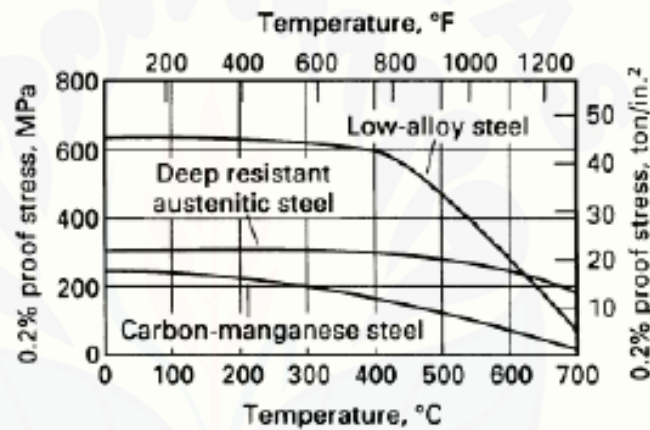


Gambar 2.9 hubungan antara waktu-temperatur pada proses penghilangan tegangan sisa pada baja (Arai *et al.* , 1991)

Hal ini terlihat pada gambar 2.9 dimana pelepasan tegangan sisa dicapai dengan cara yang sama dengan waktu yang lebih lama pada temperatur yang lebih rendah. Misalnya, menahan di 595 ° C (1100 ° F) selama 6 jam memberikan pemnasan tegangan sisa yang sama seperti pemanasan pada temperatur 650 ° C (1200 ° F) selama 1 jam.

- b) Pertimbangan paduan logam, pelepasan tegangan sisa memberikan perilaku relaksasi-tegangan yang khas, di mana material mengalami *creep* mikroskopik (kadang kala makroskopis) pada temperatur yang pelepasan tegangan. Bahan yang memiliki ketahanan

creep, seperti baja paduan rendah kromium dan baja paduan tinggi kromium, biasanya memerlukan temperatur perlakuan panas yang lebih tinggi dari baja paduan rendah konvensional. Temperatur *heat-treating* yang digunakan untuk paduan rendah baja feritik adalah antara 595 dan 675 °C (1100 dan 1250 ° F). Untuk baja paduan tinggi, temperatur ini bisa berkisar dari 900 sampai 1065 ° C (1650 sampai 1950 ° F). Ketahanan material terhadap pengurangan tegangan sisa dengan perlakuan termal dapat diestimasi dengan pengetahuan tentang pengaruh temperatur pada kekuatan luluh. Gambar 2.11 memberikan ringkasan kekuatan luluh



Gambar 2.11 Variasi kekuatan luluh dengan temperatur pada tiga kelas generik baja

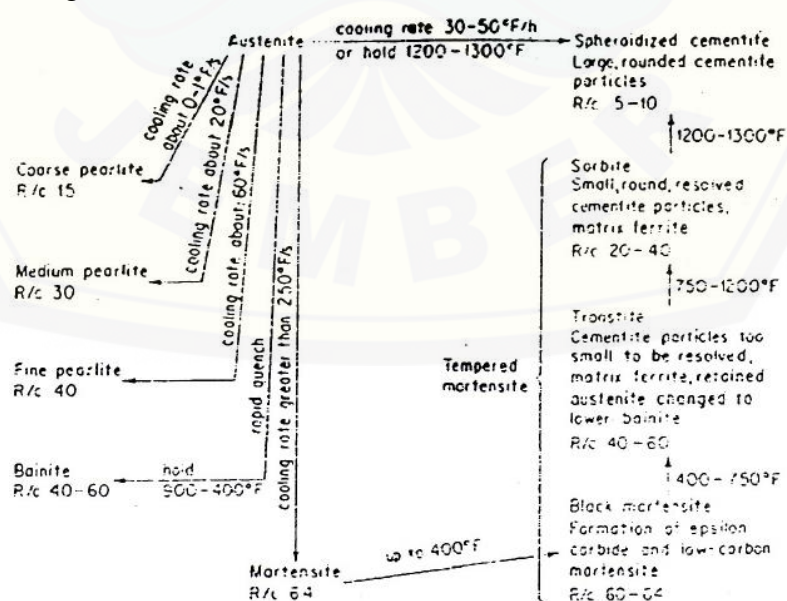
Kekuatan tarik (pada temperatur kamar) bahan ini memberikan perkiraan yang sangat baik tentang tingkat tegangan sisa lokal yang dapat hadir dalam struktur. Untuk meringankan tegangan sisa mengharuskan komponen dipanaskan sampai temperatur dimana kekuatan luluh mendekati nilai yang sesuai dengan tingkat tegangan sisa yang dapat diterima.

Penahanan pada temperatur ini selanjutnya dapat mengurangi tegangan sisa melalui pengurangan regangan akibat *creep*. Pendinginan seragam setelah perlakuan panas wajib dilakukan untuk mengetahui tingkat tegangan sisa yang dihilangkan. (Lamet *et al.* , 1991)

2.9.2 Tempering

Penemperan dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan ke suatu temperatur temper, yaitu di bawah temperatur kritis bawah (A_1), membiarkan beberapa saat dan didinginkan kembali dengan pendinginan lambat. Secara umum dapat dikatakan bila temperatur temper semakin meningkat maka nilai kekerasan akan semakin menurun, sehingga keuletan akan naik, bahkan dalam banyak hal tujuan utama melakukan penemperan adalah mengembalikan sebagian dari nilai keuletan. Dengan penemperan, diharapkan baja akan lebih tangguh (ulet) disamping memiliki kekerasan yang cukup. (Suherman, 2003).

Martensite merupakan suatu struktur yang metastabil, biladipanaskan kembali secara bertahap karbon yang terperangkap dalam struktur BCT pada *martensite* tersebut akan keluar menjadi karbida sehingga akan berubah menjadi BCC, *ferrite*. Proses pemanasan kembali dan pendinginan lambat yang mengikutinya dinamakan *tempering*. Pada temperatur temper yang masih rendah dibawah 205°C , karbon yang keluar masih sangat sedikit, karbida yang terjadi dinamakan karbida epsilon (ϵ *carbide*), masih submikroskopik, *martensite* tampak lebih hitam. Pada tahap ini terjadi penurunan tegangan sisa, kekerasan hampir tidak berkurang.



Gambar 2.12 Skema produk transformasi austenit pada pendinginan dan transformasi Martensite pada pemanasan (Suherman, 2003)

Pada temperatur yang lebih tinggi (205 °C - 400 °C), karbida epsilon mulai berubah menjadi sementit dan austenit sisa bertransformasi menjadi *bainite/martensite*. Struktur yang terjadi dinamakan *troostite*, terdiri dari partikel sementit halus dengan matriks *ferrite* dan austenit yang telah bertransformasi, mulai tampak penurunan kekerasan dan kenaikan keuletan. Dengan temperatur temper yang lebih tinggi lagi, (400°C-650°C), sementit bertumbuh menjadi lebih besar, berbentuk *spheroid* yang halus dan BCT menjadi BCC sempurna. Struktur ini disebut sorbite.

Sebenarnya perubahan struktur selama penemperan sangat gradual, sehingga tidak jelas perbedaan struktur yang satu dengan berikutnya, karenanya ada yang menamakan semua produk dekomposisi *martensite* sebagai *martensite temper*. (Suherman, 2003)

2.10 Baja ASTM SA 516 Grade 70

Baja ASTM SA 516 *Grade 70* merupakan jenis baja *low alloy steel*. Umumnya diaplikasikan untuk lingkungan dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur normal, memiliki ketangguhan takik yang bagus serta cocok digunakan untuk penggunaan baik katup bertekanan dan boiler perindustrian, baja ini memiliki tegangan luluh dan tegangan tarik yang baik.

Pada penelitian ini baja ASTM SA 516 *Grade 70* yang akan digunakan didapatkan dari PT. Bromo *Steel* Indonesia dengan kekuatan tarik 534 N/mm², yield strength 356 N/mm² dengan elongasi 27%. Komposisi baja ASTM SA 516 *Grade 70* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja ASTM SA 516 *Grade 70*

Spesifikasi	C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu
ASTM SA 516	0,20%	0,27%	1,21%	0,014%	0,008%	<0,005%	0,04%
<i>Grade 70</i>	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N
	0,04%	0,03%	<0,005%	<0,005%	0,037%	<0,005%	0,006%

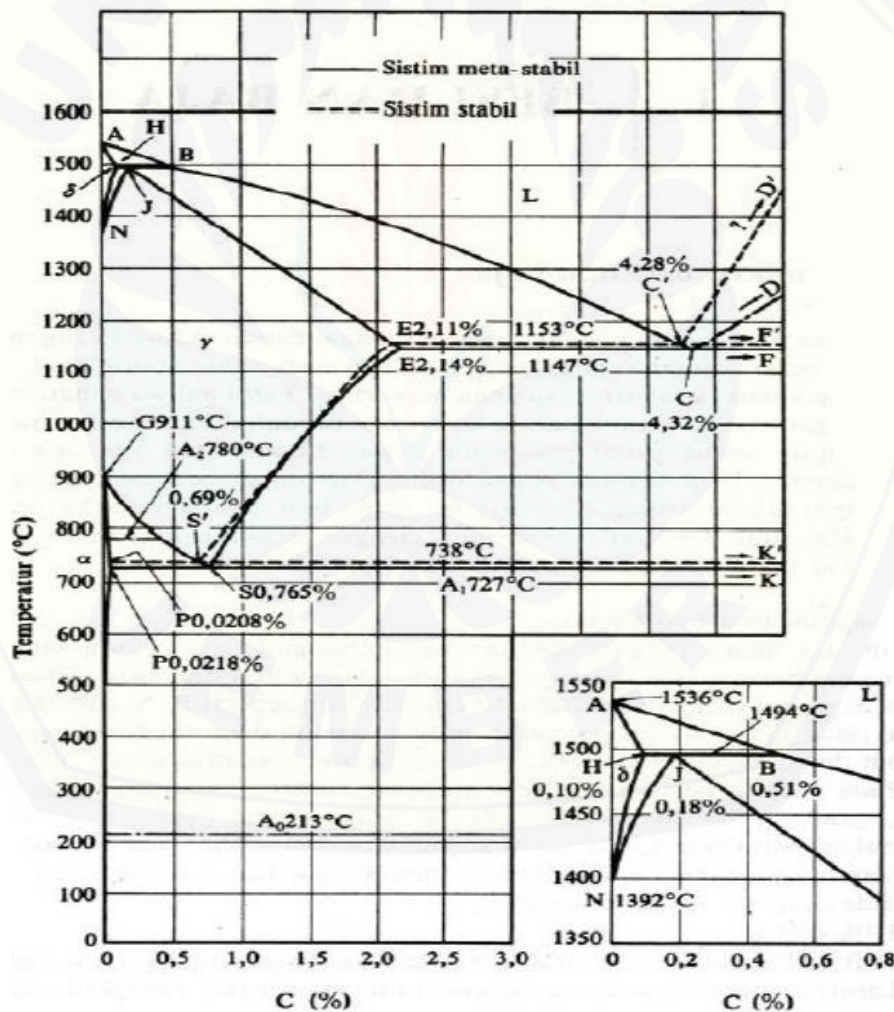
sumber : Mill test certificate

2.11 Metalurgi Pengelasan

Pada saat proses pengelasan berlangsung akan terjadi proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi pada daerah pengelasan. Hal tersebut akan menyebabkan perubahan struktur mikro pada daerah lasan.

2.11.1 Diagram Fasa Fe-C

Gambar 2.13 menunjukkan diagram fasa Fe-C yaitu hubungan antara temperatur dan perubahan fasa selama proses pemanasan dan pendinginan yang lambat (Wiryosumarto & Okumura, 2004).



Gambar 2.13 Diagram fasa besi karbon (Surdia & Saito, 2000)

Penjelasan simbol pada diagram fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Penjelasan simbol pada diagram fasa

No.	Simbol	Keterangan
1.	A	Titik cair besi
2.	B	Titik pada cairan yang berhubungan dengan reaksi <i>peritektik</i>
3.	H	Larutan pada δ yang berhubungan dengan reaksi <i>peritektik</i>
4.	J	Titik <i>peritektik</i> . Selama pendinginan <i>austenit</i> pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan komposisi B
5.	N	Titik transformasi dari besi δ dan ke besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni.
6.	C	Titik transformasi dari besi δ dan ke besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni. pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa eutektik ini disebut ledeburit
7.	P	Titik transformasi besi γ dari dan ke besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi
8.	S	Titik <i>eutectoid</i> . Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi <i>eutectoid</i> ini dinamakan reaksi A_1 dan fasa <i>eutectoid</i> ini disebut <i>pearlite</i>
9.	G	Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari <i>austenit</i> . Garis ini dinamakan garis A_3 .
10.	E	Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk <i>sementit</i> dari <i>austenit</i> . Garis ini dinamakan garis A_{cm}
11.	A_2	Titik transformasi <i>magnetic</i> untuk besi atau ferit
12.	A_0	Titik transformasi <i>magnetic</i> untuk <i>sementit</i>

Fasa yang terjadi pada diagram fasa besi karbon meliputi beberapa macam sebagai berikut :

a. *Ferrite* (α)

Ferrite adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat dari

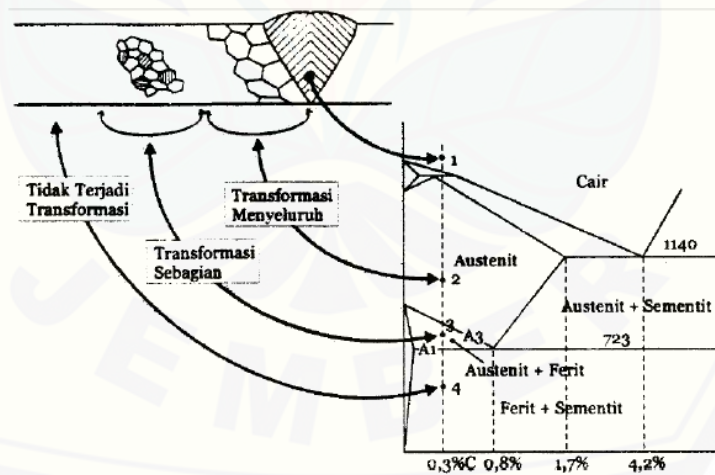
austenite baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas *thermalnya* tinggi.

b. *Austenite* (γ)

Fase *austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*) Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fasa *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *ferrite* (kristal BCC).

c. *Cementite* (Fe_3C)

Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C dengan bentuk sel satuan ortorombik dan bersifat keras (65-68) HRC. Transformasi fasa yang terjadi pada logam pengelasan dijelaskan pada gambar 2.14

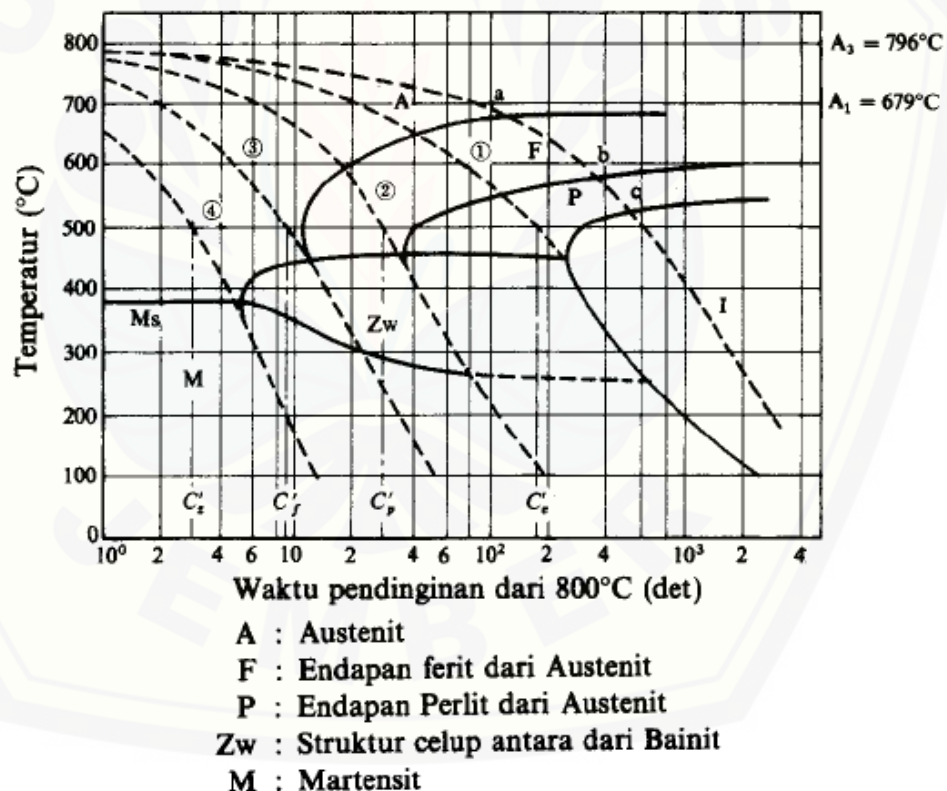


Gambar 2.14 Transformasi fasa logam pengelasan (Sonawan & Rochim 2004).

2.12 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau

diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan. Suatu contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam Gambar 2.15. disini ditunjukkan hubungan antara temperatur mula dan temperatur akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat (55 kg/mm²) yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus menunjukkan beberapa contoh siklus thermal las, yang bila digabung dengan garis tebal dari diagram CCT dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.



Gambar 2.15 Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ 55 (Wiryosumarto & Okumura ,2004)

Sebagai contoh misalnya dalam hal siklus *thermal* las 1, bila baja telah mendingin sampai titik "a" ($\pm 680^{\circ}\text{C}$), maka *ferrite* mulai diendapkan dari austenit, transformasi ini berjalan terus dan akan berakhir bila titik "b" ($\pm 590^{\circ}\text{C}$) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan *pearlite* yang akan berakhir pada titik "c" ($\pm 520^{\circ}\text{C}$). Dari pembahasan diatas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan, struktur yang terbentuk adalah *ferrite* dan *pearlite*(Wiryo Sumarto & Okumura ,2004).

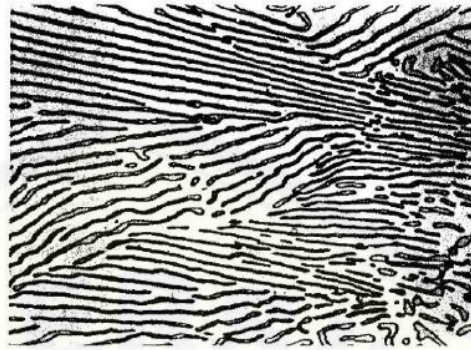
Dengan analisa yang sama dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur seperti berikut ini :

- 1) Dengan siklus *thermal* antara 1 dan 2 akan terbentuk *ferrite*, struktur antara dan *martensite*.
- 2) Dengan siklus *thermal* antara 2 dan 3 akan terbentuk *ferrite*, struktur antara dan *martensite*.
- 3) Dengan siklus *thermal* las antara 3 dan 4 akan terbentuk struktur antara dan *martensite*
- 4) Dengan pendinginan yang lebih cepat dari 4, akan terbentuk fasa *martensite*. (Wiryo Sumarto & Okumura ,2004)

Adapun pengertian dan karakteristik dari beberapa fasa yang terbentuk pada diagram CCT adalah sebagai berikut :

a. *Pearlite* ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

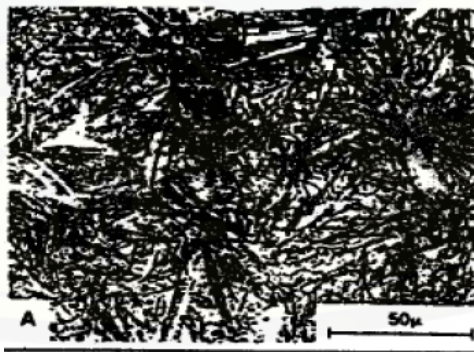
Pearlite adalah campuran *ferrite* dan *cementite* berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur *pearlite* yang kasar, sedangkan struktur mikro *pearlite* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* halus.



Gambar 2.16 Struktur mikro pearlite (Sonawan & Rochim,2004)

b. Martensite

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenite* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensite* berbentuk seperti jarum-jarum halus, namun bersifat kasar (20-67) HRC dan getas.



Gambar 2.17 Struktur mikro martensite (Sonawan & Rochim,2004)

c. Bainite

Merupakan jenis struktur mikro metastabil yang keras, campuran non-lamelar dari *ferrite* dan *cementite* pada skala sangat halus. *Bainite* atas terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki penampakan seperti

berbulu, *bainite* rendah terbentuk pada temperatur yang lebih rendah memiliki penampilan yang khas. Kekerasan *bainite* meningkat seiring dengan menurunnya temperatur formasi.

2.13 Uji Tarik

Sifat mekanik material dideskripsikan sebagai titik deformasi dan karakteristik patahan karena adanya tarikan, tekanan, atau gaya dari beberapa arah yang diterima oleh material tersebut. Penentuan karakteristik material ini dipengaruhi beberapa faktor yang meliputi variabel material/metalurgi, metode pengujian, dan sifat khusus dari gaya yang diberikan. Pengujian tarik ini berfokus pada kondisi tegangan *uniaxial* (Arai *et al.* , 1991). Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui sifat mekanik suatu material, terutama logam yang sering digunakan karena merupakan pengujian mendasar untuk dilakukan studi lanjutan tentang kekuatan material. Hasil yang akan didapatkan setelah pengujian tarik adalah kurva tegangan-regangan, yang dapat digunakan untuk menentukan kekuatan tarik, kekuatan luluh, keuletan, modulus elastis dan ketangguhan dari suatu material. berikut ini beberapa pengertian dari istilah tersebut :

1. Kekuatan Tarik

Merupakan beban maksimum yang diberikan pada material dibagi dengan luas penampang awal arah melintang dari spesimen uji.

2. Kekuatan luluh

Merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah minimal deformasi plastis yang terjadi.

3. Elongasi

Merupakan hasil bagi antara perpanjangan spesimen dengan panjang awal spesimen, dinyatakan dalam persen.

4. Reduksi Penampang

Merupakan perbandingan penyusutan penampang maksimal yang terjadi pada saat pengujian dilakukan dengan penampang awal, dinyatakan dalam persen (%).

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Kemudian dapat dihasilkan kurva tegangan dan regangan. Sifat yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan :

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana F = Beban (Kg)

A_0 = Luas Penampang awal arah melintang spesimen (mm²)

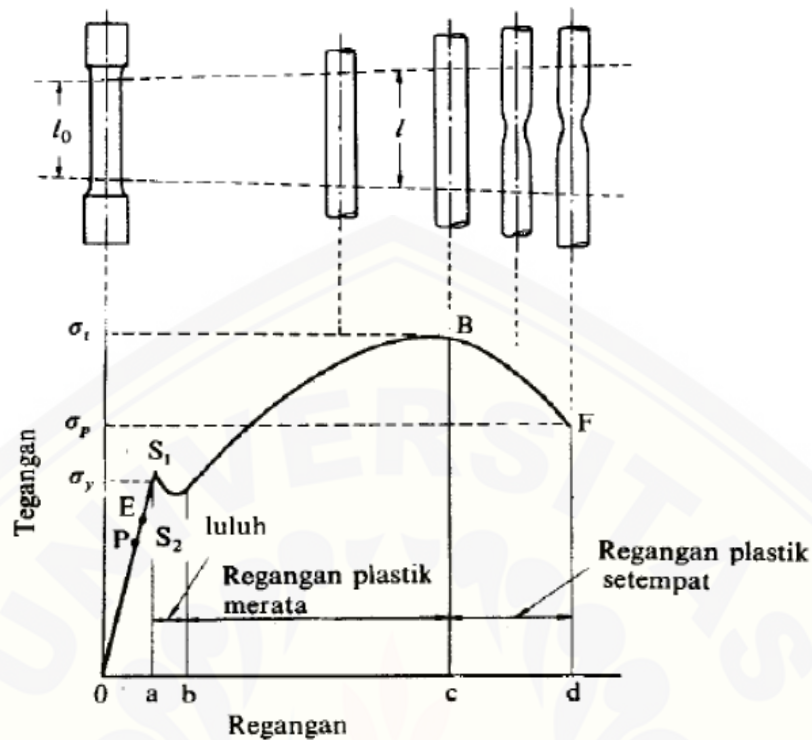
Regangan :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana L = Panjang spesimen setelah menerima beban (mm)

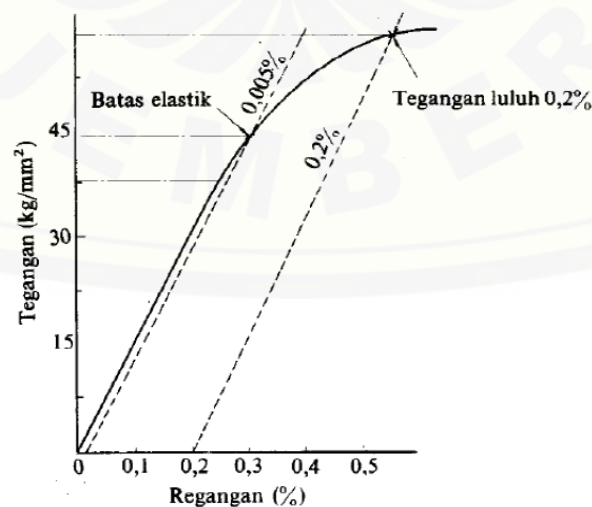
L_0 = Panjang awal spesimen sebelum dilakukan pembebanan (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.18. Titik P menunjukkan batas dimana hukum *hooke* masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji, pada kondisi ini disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan titik S2 titik luluh bawah.



Gambar 2.18 Kurva tegangan regangan teknik (Wirjosumarto & Okumura , 2004)

Pada beberapa logam, batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan – regangan dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2% seperti ditunjukkan pada gambar 2.19 (Wirjosumarto & Okumura , 2004).



Gambar 2.19 Batas elastis dan tegangan luluh (Wirjosumarto & Okumura , 2004)

Uji tarik material dapat dilaksanakan menggunakan *universal testing machine*. Spesimen uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikkan secara kontinyu sampai spesimen deformasi plastis dan mengalami putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas beban (E), ketangguhan dan keuletan material tersebut (Dowling, 1999).

2.14 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan merupakan pengujian yang efektif karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material dengan melakukan uji kekerasan, material dapat dengan mudah digolongkan sebagai material ulet dan getas.

Uji kekerasan juga dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas atau dingin terhadap material. Material yang telah mengalami *cold working*, *hot working* dan *heat treatment* dapat diketahui gambaran perubahannya, dengan mengukur kekerasan permukaan suatu material. Oleh sebab itu, dengan uji kekerasan kita dapat dengan mudah melakukan *quality control* terhadap material yang diuji sehingga dapat digunakan atau dipakai pada benda sesuai dengan kapasitasnya. Pengujian kekerasan yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia & Saito; 2000).

2.14.1 Brinell Hardness Test

Metode ini pertama kali dilakukan oleh *Brinell* pada tahun 1900. Metode ini berupa pengidentasian sejumlah beban terhadap permukaan material dengan penetrator yang digunakan berupa bola baja yang dikeraskan dengan diameter 10 mm dan standar bebanya antara 0.97 s.d 3000 kgf. Pembebanan dilakukan dengan

standar waktu, biasanya 30 detik. Kekerasan yang diberikan merupakan hasil bagi beban penekan dengan luas permukaan lekukan bekas penekan dari bola baja. Dapat dirumuskan dengan :

$$\text{BHN} = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana BHN = nilai kekerasan *brinell*

P = beban yang diterapkan (kg)

D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

2.15 Pengamatan Struktur Mikro

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) ditunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau mikrografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi. Langkah dasar yang harus dilakukan untuk pengamatan ini adalah sebagai berikut :

2.15.1 Pemotongan (*Cutting*)

Pemilihan sampel merupakan hal yang sangat penting dalam pengamatan struktur mikro. Pengambilan sampel harus direncanakan dengan baik sehingga dapat menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan. Pemotongan dilakukan pada daerah yang akan diuji, spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya. Pada proses pemotongan harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu setiap proses pemotongan harus diberikan pendingin yang memadai.

2.15.2 *Mounting*

Spesimen yang memiliki ukuran kecil atau bentuk yang tidak beraturan yang berakibat pada sulitnya penanganan khususnya pada proses pengamatan dan pemolesan, seperti spesimen dengan bentuk seperti kawat, potongan kecil, lembaran tipis dll. Untuk memudahkan pengamatan, spesimen tersebut ditempatkan pada suatu wadah/media (*mounting*). Media *mounting* dapat digunakan apabila memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa (inert).
2. Viskositas rendah
3. Sifat adhesi yang baik
4. Sifat eksotermis rendah
5. Mampu alir yang baik, dapat menembus celah pada spesimen

media *mounting* harus sesuai dengan material dan etsa yang akan dipakai. *Mounting* yang digunakan secara umum adalah dengan material plastik sintesis yang berupa resin yang dicampur dengan *hardener*.

2.15.3 Pengamplasan

Sampel yang sudah terpotong akan memiliki permukaan yang kasar, atau sampel yang akan diamati sudah terkorosi sehingga harus diratakan menggunakan amplas untuk memudahkan pengamatan struktur mikronya. Pengamplasan dilakukan dengan kertas amplas Silicon karbid (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran ukuran butir abrasif (*mesh*), dimulai dari 600,800,1000, 1500 hingga 2000 *mesh*. Pemberian air pada saat proses pengamplasan berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil panas yang timbul dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas.

2.15.4 Pemolesan

Setelah diampelas hingga halus, langkah selanjutnya adalah proses pemolesan. Tujuan dari pemolesan adalah untuk mendapatkan permukaan spesimen yang bebas dari goresan, mengkilap, dan menghilangkan ketidakdataran sampel. Permukaan spesimen yang akan diamati dibawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila masih ada gelombang atau kasar, maka hasil pengamatan akan sukar didapatkan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak karena permukaan yang tidak rata.

2.15.5 Etsa

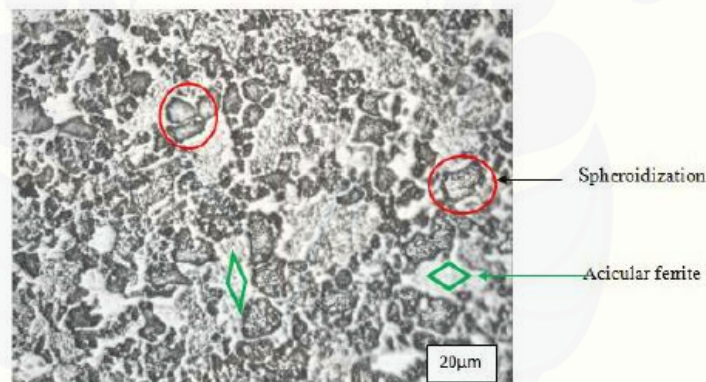
Etsa adalah proses pengikisan batas butir secara selektif dengan terkendali dengan pembasahan dengan larutan pengetsa ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamatai akan menjadi jelas dan tajam. Dalam melakukan pengetsaan jangan terlalu kuat karna akan menyebabkan kegosongan pada spesimen.

2.16 Tinjauan Beberapa Penelitian Sebelumnya

Sudah ada beberapa penelitian yang pengaruh *post weld heat treatment* yang berbeda terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan las dengan berbagai macam jenis baja dan jenis pengelasan yang berkaitan dengan penurunan tegangan sisa pada komponen sambungan las.

S.Riyaz Ahmed dkk (2015) dalam studinya mengenai efek *post weld heat treatment* yang berbeda terhadap sifat mekanik pada sambungan las Cr-Mo baja boiler dengan menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). SMAW digunakan karena merupakan pengelasan yang paling sering dipakai sebab harga yang murah dan alat yang mudah didapatkan. Studi ini difokuskan pada bagian bagian pengelasan yang berbeda seperti pada logam induk, HAZ dan logam lasan untuk membandingkan dan menganalisa hasil yang didapatkan dari sambungan las tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas yang berbeda menggunakan pengujian tarik transversal (standar pengujian ASTM E8) dan pengamatan komposisinya dengan E-DAX (*energy-dipersive analysis*). Baja

paduan HSLA ASTM A387 Gr-22, 2.25% Cr-1% Mo digunakan sebagai logam induk dengan ketebalan plat 20 mm, menggunakan elektroda AWS 5.5 E9018-B3 dengan diameter 4 mm yang biasa digunakan pada pengelasan *pressure vessel* dan *boiler* dan menggunakan sambungan x dengan sudut kampuh 60° . PWHT yang diaplikasikan berupa *full annealing* dengan temperatur penahanan sebesar 725°C . Variabel PWHT yang diberikan yaitu waktu penahanan yang berbeda (0,5, 2, 10, 50 jam) lalu didinginkan didalam *furnace* sampai pada temperatur ruangan. Hasil pengujian tarik menunjukkan PWHT 2 jam memberikan *Ultimate Tensile Strength* (UTS) paling tinggi sebesar 580,72 MPa, dan *yield strength* sebesar 377,14 MPa, patahan pada spesimen terjadi pada ujung, karena kekuatan tinggi dari logam las. Persentase elongasi dan reduksi penampang selalu meningkat hingga PWHT 10 jam, dan menurun pada PWHT 50 jam, hal ini karena terjadi *spheroidization* dari *pearlite* seperti pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Ferrite accicular dengan pearlite dan batas butir bainite 1000x (S.Riyaz,2015)

Maiores Tavares (2014), melakukan studi mengenai efek *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari *dissimilar weld* pada *supermartensitic stainless steel*. Logam induk yang digunakan merupakan pipa dengan diameter 200 mm dengan ketebalan 10 mm dilas menggunakan GTAW dengan jenis filler metal superduplex, spesimen kemudian dipotong untuk dilakukan pengujian *microhardness*, uji tarik dan uji impak. Spesimen dilakukan PWHT hingga temperatur 650°C dan waktu penahanan 15, 30, 45, 60 menit dengan pendinginan cepat dengan air. Hasil menunjukkan bahwa waktu penahanan 30 menit atau lebih akan menurunkan kekerasan (299 HV) pada

HAZ, dimana waktu penahanan 15 menit tidak menunjukkan penurunan yang signifikan. Pada pengukuran elongasi menggunakan uji tarik menunjukkan penurunan dengan penambahan waktu PWHT, karena presipitasi intermetalik.

Pada penelitian Sepehrzad R, *dkk* (2015) melakukan penelitian terhadap struktur mikro dan kekuatan mekanik dengan proses PWHT pada baja *quenched and tempered* ASTM A517 Grade B, dimana penyambungan dilakukan dengan SMAW *double V groove* dengan jenis elektroda E11018-M 3,2 mm dengan *pre heat* 100°C. Temperatur *stress relieving* yang digunakan adalah 480, 560, 620 dan 680 °C dengan *holding time* selama 75 menit. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa *stress relieving heat treatment* tidak memberikan perubahan mikrostruktur yang signifikan pada setiap daerah pengelasan (WM, BM dan HAZ), penambahan temperatur *stress relieving* akan semakin menurunkan nilai kekerasan pada setiap daerah las, serta menurunkan kekuatan tarikya. Pada temperatur 480, 560, dan 620 °C menurunkan energi impak pada daerah HAZ sebesar 8%, 29% dan 32% berturut-turut, menunjukkan temperatur 560°C memberikan hasil paling baik.

Hasil penelitian Suparman (2006) mengenai pengaruh temperatur *annealing* pada *post weld heat treatment* pengelasan baja *bohler Grade K-945 EMS 45* terhadap sifat fisis dan mekanis. Penelitian menggunakan jenis baja K-945 EMS 45 yang mengandung kadar karbon 0,50%. Spesimen dibuat dengan cara memotong plat baja tersebut dan dibuat kampuh V untuk pengelasan, spesimen bentuk uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8. Kemudian dilakukan proses anil dengan variasi temperatur 750°C, 800°C, 850°C, 900°C dipanaskan selama 1 jam dan didinginkan di dalam tungku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tarik *raw material* sebesar 70,01 kg/mm², spesimen dilas tanpa *treatment* 59,71 kg/mm² atau mengalami penurunan sebesar 14,71 %, spesimen anil 750°C sebesar 52,18 kg/mm² atau mengalami penurunan sebesar 12,6 %, spesimen anil 800°C sebesar 51,20 kg/mm² atau mengalami penurunan sebesar 14,28 %, spesimen anil 850°C sebesar 50,95 kg/mm² atau mengalami penurunan sebesar 14,65 %, spesimen anil 900°C sebesar 50,18 kg/mm² atau mengalami penurunan sebesar

15,96 %. Nilai tegangan luluh pada *raw material* sebesar 58,59 kg/mm², untuk spesimen dilas tanpa PWHT nilai tegangan luluhnya sebesar 38,74 kg/mm², untuk specimen dilas dan di PWHT 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, berturut-turut sebesar 30,92 kg/mm², 31,82 kg/mm², 31,36 kg/mm², 30,94 kg/mm². Nilai kekerasan pada *raw material* sebesar 308,47 VHN. Untuk nilai kekerasan pada spesimen dilas tanpa *treatment* pada masing masing daerah untuk logam las sebesar 319,74 VHN, batas las dengan HAZ 314,23 VHN, daerah HAZ 305,60 VHN, batas HAZ dengan induk 305,60 VHN, logam induk 295,85 VHN. Setelah divariasi anil mengalami penurunan. Hasil foto struktur mikro untuk *raw material* berupa *ferite* dan *pearlite*. Sedangkan struktur mikro dilas tanpa *treatment* dan *diannealing* berbentuk *ferite* dan *pearlite* tapi sudah mengalami perubahan setelah mengalami beberapa perlakuan. Untuk hasil foto makro (penampang patah) untuk spesimen *raw material* bentuk penampang patahnya berbentuk granular, sedangkan untuk spesimen dilas tanpa PWHT dan di PWHT bentuk penampang patahnya adalah berbentuk *cup cone*.

BAB 3 . METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan analisa digunakan untuk mengetahui pengaruh *post weld heat treatment* terhadap sifat mekanik sambungan las baja ASTM SA 516 Grade 70. Eksperimental adalah melakukan pengamatan dibawah kondisi buatan yang sengaja diatur dan dibuat oleh peneliti. Penelitian ini dilakukan dengan memanipulasi objek penelitian dengan disertai adanya kontrol.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari 2017 sampai selesai. Penelitian ini meliputi tiga kegiatan utama, yaitu pengelasan, *heat treatment* dan pengujian. Untuk proses pengelasan dilakukan di PT. Bromo Steel Indonesia, dikarenakan bahan yang didapatkan dari sana dan dibutuhkannya juru las yang kompeten. Proses *heat treatment* dan uji kekerasan dilakukan di laboratorium rekayasa material dan laboratorium desain dan uji bahan teknik mesin universitas Jember. Proses pemotongan dingin dilakukan di bengkel las BLKI unit Jember, pembentukan spesimen uji tarik dilakukan di bengkel sekrap Tegal Besar. Pengujian tarik dilakukan di lab. struktur teknik sipil universitas negeri Malang. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan di universitas merdeka Malang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

1. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), digunakan sebagai mesin utama pelaksanaan proses pengelasan.
2. Mesin gergaji besi, digunakan untuk membuat sudut las V dan memotong spesimen sesudah proses pengelasan dan *heat treatment* untuk menghindari panas yang tinggi yang dapat merubah struktur mikro.

3. Penggaris, untuk mengukur dimensi plat baja yang akan dipotong
4. Kapur, untuk penanda hasil pengukuran sebelum dilakukan pemotongan
5. Gerinda, untuk menghaluskan permukaan potongan, membersihkan kotoran atau karat pada baja dan membersihkan terak hasil pengelasan.
6. Pemotong baja *oxy flame cutting* dan skator, digunakan untuk memotong baja struktural penyangga *test piece* yang akan dilas.
7. Jangka sorong, untuk mengukur dimensi spesimen uji.
8. Kertas gosok, untuk menghaluskan spesimen yang akan dilakukan uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.
9. *Electric furnace*, digunakan untuk melaksanakan proses PWHT dan variasinya.
10. Tang pemegang, untuk mengambil spesimen yang akan dikeluarkan dari *furnace*.
11. Kamera digital, untuk dokumentasi seluruh proses penelitian
12. Jam digital, untuk mengukur waktu penahanan (*holding time*) saat proses PWHT dilakukan
13. Alat uji tarik
14. Alat uji kekerasan
15. Mikroskop optik metalurgi

3.3.2 Bahan

1. Baja ASTM SA 516 *Grade 70* dengan tebal 23 mm, panjang 500 mm dan lebar 250 mm.
2. Elektroda LB-52 diameter 3,2 mm.
3. Baja struktural tebal 10 mm, panjang 400 mm dan lebar 300 mm.
4. Baja struktural tebal 23 mm, panjang 150 mm dan lebar 150 mm.
5. Bahan etsa
6. Pasta poles
7. *Resin* dan *hardener*

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah lamanya waktu penahanan (*holding time*) pada saat dilakukan proses PWHT. Variasi *holding time* adalah 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung oleh variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikatnya meliputi kekuatan tarik, nilai kekerasan dan struktur mikro pada sambungan las baja ASTM SA 516 *Grade 70*.

3.4.3 Variabel Kontrol

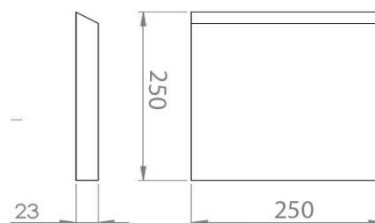
Variabel kontrol adalah semua faktor yang dapat mempengaruhi hasil penelitian. Variabel kontrol tersebut antara lain :

1. Prosedur pengelasan, yaitu cara pengelasan yang baik dan benar sehingga mendapatkan hasil pengelasan yang berkualitas
2. Posisi pengelasan yang digunakan adalah posisi G1 (mendatar)
3. Bahan yang sama untuk semua penelitian yaitu Baja SA 516 *Grade 70*
4. Menggunakan elektroda yang sama, yaitu LB 52 dengan diameter 3,2 mm dengan arus 100-140 A
5. Temperatur *holding time* sebesar 630°C.

3.5 Proses Pengelasan

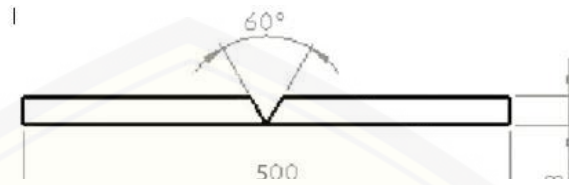
Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pengelasan :

1. Pengukuran plat besar baja ASTM SA 516 *Grade 70* sesuai dengan dimensi yang akan digunakan sebagai spesimen yaitu sebagai berikut :



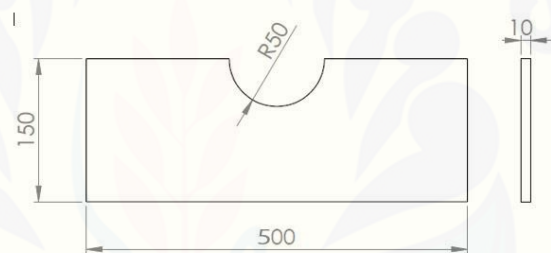
Gambar 3.1 Dimensi spesimen utama yang akan dipotong

2. Penandaan ukuran dengan menggunakan kapur
3. Lakukan pemotongan menggunakan mesin gergaji besi.
4. Pemotongan kampuh dengan sudut 30° pada setiap sisi.



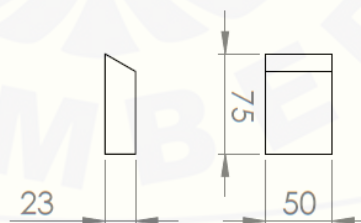
Gambar 3.2 Sudut kampuh V pada spesimen yang akan dilas

5. Membersihkan spesimen dan kampuh yang sudah selesai dipotong menggunakan gerinda
6. Membuat 2 dudukan penyangga spesimen dari baja struktural dengan menggunakan skator dan *oxy flame cutting* dengan dimensi sebagai berikut :



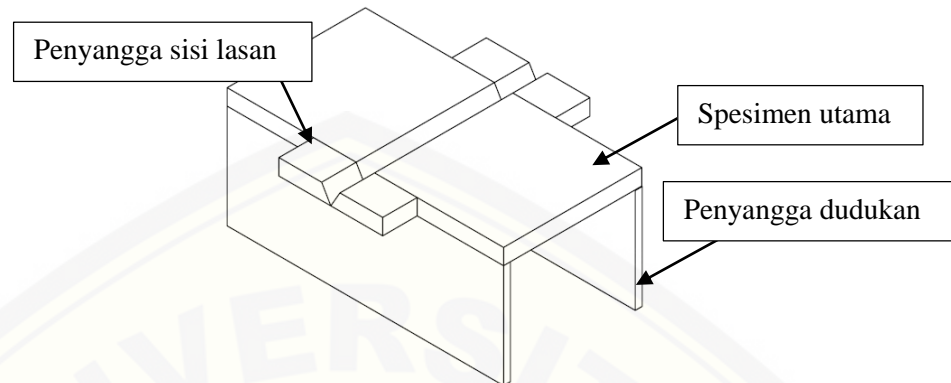
Gambar 3.3 Dimensi dudukan penyangga spesimen

7. Membuat 4 penyangga sisi lasan dengan menggunakan baja struktural sebanyak buah dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.4 Dimensi penyangga sisi lasan

8. Dudukan dilaskan pada bawah kedua spesimen uji, begitu juga penyangga sisi lasan di laskan pada kedua sisi sambungan



Gambar 3.5 *Assembly* (Penggabungan) spesimen dengan penyangga

9. Menyalakan mesin las SMAW, mengatur besarnya ampere yang dibutuhkan. juru las menggunakan seluruh alat pelindung diri (APD) yang dibutuhkan.
10. Melakukan *pre-heat* pada kampuh lasan menggunakan *oxy flame*, untuk menghilangkan zat-zat pengotor.
11. Jepitkan penjepit massa pada spesimen, memasang elektroda, menyalakan busur api dan dilakukan proses pengelasan.
12. Bahan dan parameter yang digunakan pada saat proses pengelasan :
- Elektroda LB52 dengan No. AWS E7016 Diameter 3,2 mm
 - Posisi pengelasan datar (G1)
 - Geometri sambungan menggunakan *single V* 60°
 - Temperatur *pre-heat min.* 100°C *max.* 200°C
 - Jenis arus AC, dengan besar arus 100-130 A
 - Voltase 26-28 V
 - *Travel speed* 5-15 cm/min (dianggap konstan).
13. Membersihkan terak dengan gerinda, palu dan sikat baja pada setiap satu kali pengelasan
14. Melakukan proses pengelasan dan pembersihan terak sampai kampuh penuh.

15. Setelah seluruh proses pengelasan selesai, lepaskan semua penyangga yang sebelumnya sudah dipasangkan.

3.6 Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

Berikut ini adalah langkah langkah proses PWHT :

1. Memotong spesimen sambungan las sesuai menjadi 30 bagian (sesuai dengan variabel bebas yaitu *non treatment*, *holding time* 0,5, 1, 1,5, dan 2 jam) menggunakan mesin gergaji dengan pendingin untuk menghindari panas berlebih yang dapat merubah struktur mikro sambungan las
2. Menyalakan *electric furnace*, memasukkan spesimen yang sudah dipotong kedalam *furnace*
3. Memanaskan *furnace* hingga temperatur 630°C dengan laju pemanasan 222°C/h , menahan temperatur pada furnace sesuai dengan varibel bebas yang telah ditentukan, setelah *holding time* sudah terpenuhi, menurunkan temperatur *furnace* dengan mematikan *heater* pada *furnace*
4. Proses pendinginan dengan laju pendinginan 280°C/h hingga temperatur ruangan dilakukan didalam *furnace*.
5. Keluarkan spesimen dengan tang pemegang
6. Ulangi setiap proses untuk variabel yang berbeda.

3.7 Proses Pengujian

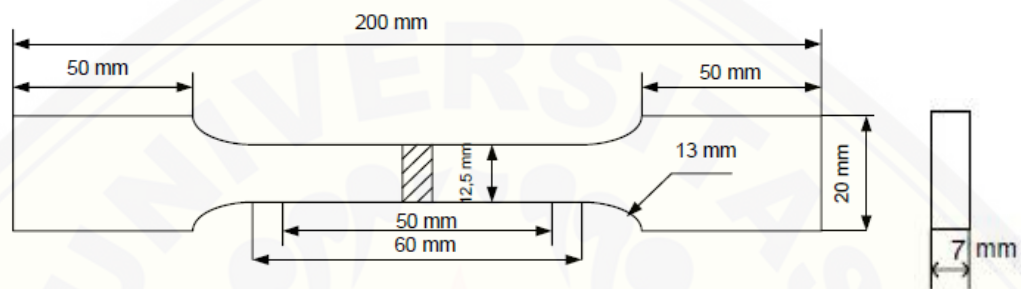
Jumlah spesimen yang akan dilakukan beberapa proses pengujian berdasarkan parameter yang telah ditentukan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Spesimen yang akan digunakan dalam pengujian.

<i>Holding time</i>	Pengujian Tarik	Pengujian kekerasan	Pengamatan struktur mikro
<i>Non Treatment</i>	5 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
0,5 jam	5 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
1 jam	5 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
1,5 jam	5 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
2 jam	5 spesimen	1 spesimen	1 spesimen

3.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada logam induk, sambungan las *non treatment*, dan sambungan las dengan PWHT dengan *holding time* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam. Pembuatan spesimen uji tarik berdasarkan pada standar pengujian tarik ASTM E8 dengan menggunakan dimensi sebagai berikut :



Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji tarik

Adapun langkah langkah dalam pelaksanaan pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dijepit pada ragum alat uji tarik, yang sebelumnya telah diketahui penampang, panjang awal dan ketebalannya.
2. Pasang ekstensometer pada benda uji
3. Atur nilai F dan *displacement* pada alat uji tarik menjadi nol
4. Nyalakan pompa hidrolis untuk mulai memberikan tarikan dengan konstan dan perlahan
5. Lihat grafik yang muncul pada monitor pada saat proses pengujian berlangsung
6. Hitung secara manual dengan persamaan yang tersedia sehingga didapatkan data yang lengkap

3.7.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah jenis pengujian *brinell* dan berpedoman pada standar pengujian *ASTM E 10 standard*

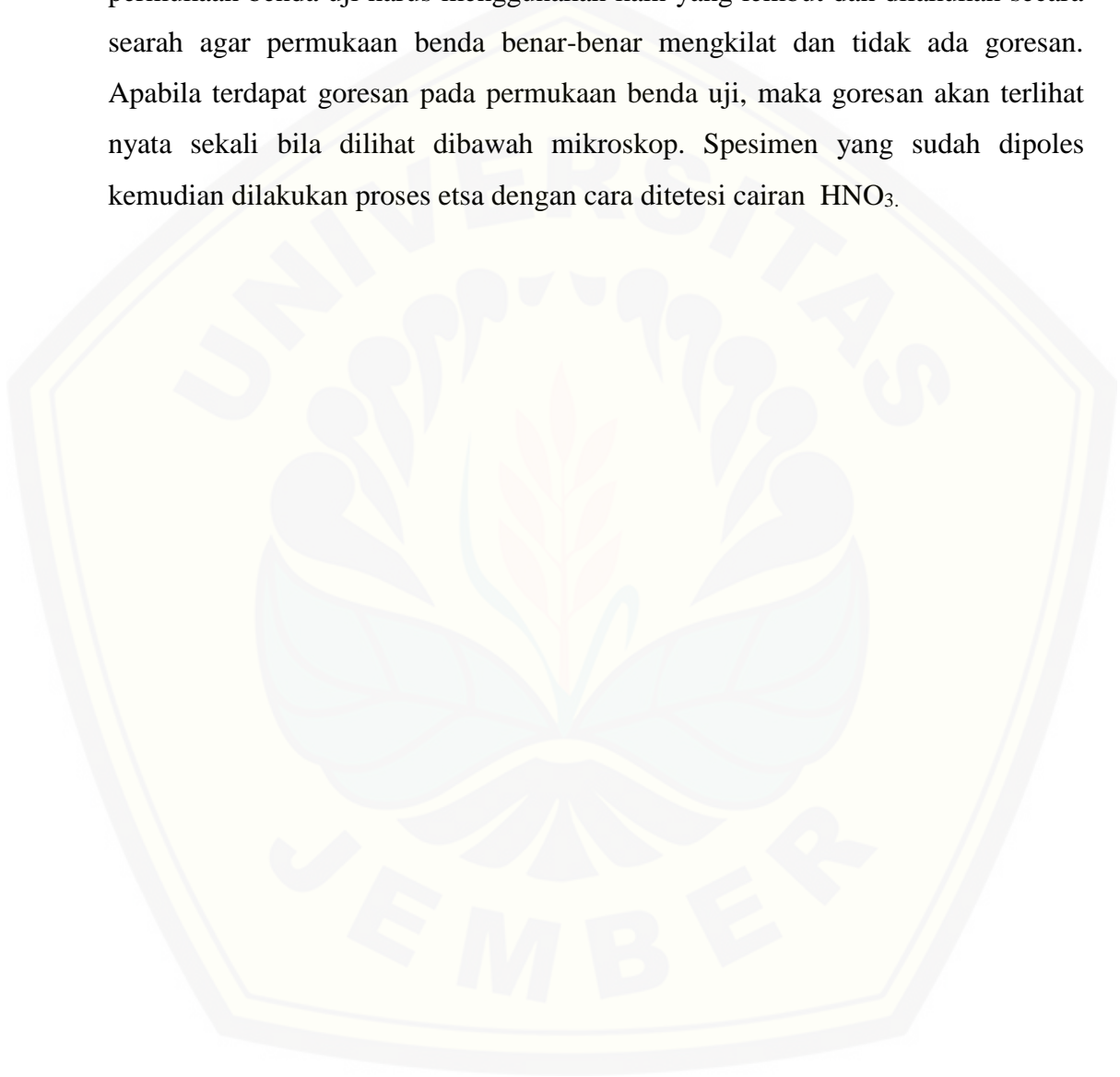
test method for brinell hardness metallic material. Adapun langkah-langkah pelaksanaan pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

1. Membuat spesimen uji kekerasan dengan dimensi panjang 30 mm, lebar 23 mm dan ketebalan 7 mm.
2. Menghaluskan permukaan spesimen yang sudah dipotong dengan menggunakan kertas gosok
3. Menghilangkan goresan pada permukaan spesimen dengan menggosoknya dengan *autosol* sampai terlihat mengkilap.
4. Menyalakan alat uji kekerasan, mengatur jenis material pada pengaturan alat sesuai dengan jenis material spesimen yaitu *steel and cast steel*, serta mengatur nilai kekerasan pada alat uji menjadi HB.
5. Tempelkan dan nyalakan indenter pada permukaan spesimen
6. Hasil pengujian dapat dilihat pada layar alat uji kekerasan
7. Lakukan ulang indentasi pada *HAZ*, *base metal* dan *weld zone* pada spesimen
8. Lakukan pengujian untuk semua spesimen dengan variasi yang berbeda

3.7.3 Pengamatan Struktur Mikro

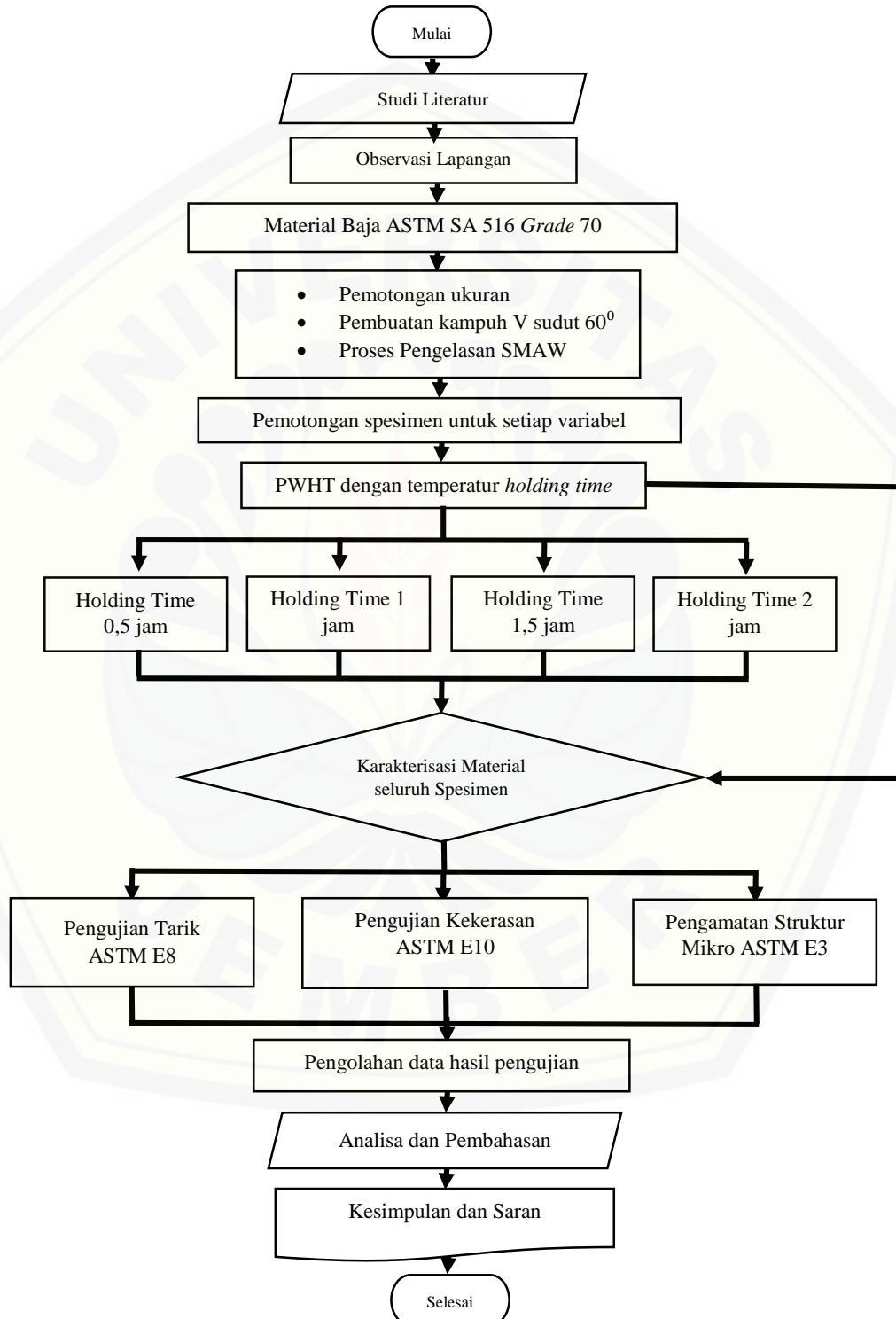
Pengamatan struktur mikro menggunakan standar ASTM E3. Untuk pembuatan spesimen uji struktur mikro, spesimen diambil sebelum uji tarik dilakukan. Untuk daerah yang akan di uji yaitu pada daerah las dan daerah HAZ. Hal ini bertujuan untuk melihat struktur mikro daerah lasan dan daerah HAZ. Dalam pengujian struktur mikro ini, tidak ada dimensi khusus yang ditentukan. Untuk itu, dalam penelitian kali ini dimensi uji foto mikro dibentuk dengan ukuran panjang 30 mm dan lebar 23 mm. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam cetakan untuk dicetak dengan campuran resin dan katalis atau bisa disebut proses *mounting*. Hal ini bertujuan sebagai dudukan atau pemegang spesimen untuk memudahkan proses *Grinder-Polisher*. Selanjutnya permukaan spesimen yang akan dilakukan uji foto mikro diampas dengan menggunakan *Grinder-polisher*. Adapun amplas yang digunakan yaitu mulai dari kekasaran 120, 150, 220, 280, 400, 500, 800, 1000, 1500 dan 2000 sampai permukaan spesimen halus

dan rata. Setelah benda uji cukup halus, maka langkah selanjutnya adalah memoles dengan autosol. Pemolesan ini bertujuan untuk menghilangkan goresan-goresan yang diakibatkan oleh amplas agar didapatkan permukaan yang halus dan mengkilap, sehingga struktur benda uji menjadi jelas. Pemolesan autosol pada permukaan benda uji harus menggunakan kain yang lembut dan dilakukan secara searah agar permukaan benda benar-benar mengkilat dan tidak ada goresan. Apabila terdapat goresan pada permukaan benda uji, maka goresan akan terlihat nyata sekali bila dilihat dibawah mikroskop. Spesimen yang sudah dipoles kemudian dilakukan proses etsa dengan cara ditetesi cairan HNO_3 .



3.8 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat pada diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah HAZ *non treatment* sebesar 256 HB, nilai kekerasan terendah berada di daerah *weld zone* pada PWHT dengan *holding time* 2 jam sebesar 174 HB. Penurunan paling signifikan terjadi pada PWHT dengan *holding time* 1 jam yaitu sebesar 18%.
2. Kekuatan tarik tertinggi berada pada sambungan las *non treatment* sebesar 648 MPa, kekuatan tarik terendah berada pada sambungan las dengan PWHT *holding time* 2 jam sebesar 653 MPa.
3. Struktur mikro pada daerah *base metal* adalah *ferrite* dan *pearlite* yang besar (*coarse*), pada daerah *weld zone* struktur mikro yang terbentuk adalah *ferrit* dan *martensite*, pada daerah HAZ struktur mikro yang terbentuk adalah *martensite*. Tidak terjadi perubahan yang signifikan setelah dilakukan PWHT.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan beberapa jenis pengujian material yang lainnya, untuk bisa mendapatkan keakuratan penelitian yang lebih baik
2. Dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur untuk mengetahui pengaruh pada sambungan las.


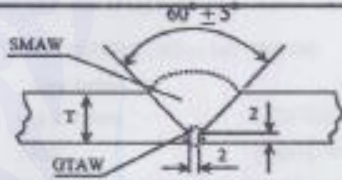
DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. Riyaz *et al.*, 2015. *Effect of different Post Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Cr-Mo Boiler Steel welded with SMAW process*. 4th International Conference on Material Processing and Characterization. Material today: Proceedings 1059-1066.
- A.G.Olabi, M.S.J.Hashmi, 1995. *The effect of post-weld heat-treatment on mechanical-properties and residual-stress mapping in welded structural steel*. Journal of Materials processing Technology 55(1995)117-122.
- Alip, M. 1989. *Teori Dan Praktik Las*. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- Al-Olabi, Abdul Ghani, 1994, *Residual Stresses And Heat Treatments For Metallic Welded Components*. Thesis Dublin : School Of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin City University.
- Anonim. 1999. *ASTM E10-00 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.
- Anonim. 1999. *ASTM E3-01 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM international
- Anonim. 1999. *ASTM E8-034 Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International.
- Arai, *et al.* 1991. *ASM Metals Handbook, Vol 04 Heat Treating*. ASM International Handbook Committee, USA.
- Arifin, Samsul, 1977. *Las Listrik dan Otogen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Bintoro, G.A. 2000. *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*. Kanisius. Yogyakarta.
- Dowling E, Norman. 1999. *Mechanical Behavior Of Materials*. 2nd edition. Printed in the united states of America.
- K.Vijaya Kumar, N.Ramanaiah, N. Bhargava, B.Srinivasa Prasad. 2015. *Microstructural And Mechanical Properties Of Shielded Metal Arc Welded Joints*. Journal of Production Engineering Vol.18 No.(1).
- Lamet, *et al.* 1991. *ASM Metals Handbook, Vol 06 Welding Brazing and Soldering*. ASM International Handbook Committee, USA.

- Lamet, *et al.* 1991. *ASM Metals Handbook, Vol 08 Mechanical Testing & Evaluation*. ASM International Handbook Committee, USA.
- Mthobisi Zondi. 2012. *Analysis Of Residual Stresses And Distortions Resulting From Multi-Pass Welding Of Nozzles To Cylindrical Pressure Vessels*. Tesis. Kwazulu. Mechanical engineering University of Kwazulu-Natal.
- Sepehrzad R, *et al.* 2015. *Effect of Stress Relieving on Mechanical and Metallurgical Properties of Shielded Metal Arc Weld Joints A517 Steel*. International Journal Of ISSI vol.12 No.1
- Sonawan Hery dan Suratman Rochim. 2004. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung. Alfabeta.
- Suharto. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suherman, Wahid. 2003. *Diktat Kuliah: Ilmu Bahan I*. Surabaya.
- Suparman, 2006. *Pengaruh Suhu Annealing Pada Post Weld Heat Treatment Pengelasan Baja Bohler Grade K-945 Ems 45 Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis*. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
- Surdia, Tata & Saito, Sinroku, 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita
- Maio Taraves, Sergio. 2014. *Effect of Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and mechanical properties of dissimilar weld of SuperMartensitic Stainless steel*. Journal of Metal and Material International.17(5) :1336-1343.
- Wirjosumarto & Okumura , H Dan Okumura, T. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Ke 8. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Vera Lu'cia O., Herman J. Cornelis, Nasareno N, and Ivani de S. Bott. 2001. *Effects of a Postweld Heat Treatment on a Submerged Arc Welded ASTM A537 Pressure Vessel Steel*. ASM internaional.
- Zhoran Sterjovski., 2003. *Investigation of postweld heat treatment of quenched and tempered pressure vessel steels*. Thesis. Wollongong. Material Engineering. University Of Wollongong Australia.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Welding Procedure Secification

		<p align="center">WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code</p>	
<p>PT. BROMO STEEL INDONESIA</p>			
<p>Company Name : BOSTO - Pasuruan</p>		Date : 09-23-1995	Supporting PQR No : BSI-12/96
<p>Welding Procedure Specification No. : TP.03</p>		Date : -	
<p>Revision No. : -</p>			
<p>Welding Process(es) : GTAW / SMAW</p>		<p>Type(s) : Manual</p>	
<p>JOINT (QW-402)</p>			
<p>Joint Design : Butt Joint V Groove</p>		<p>Retainers : None</p>	
<p>Backing : None</p>			
<p>Backing Material (Type) : N/A</p>			
<p>DETAILS</p>			
			
<p>BASE METALS (QW-403)</p>			
<p>P - No. : 1 Group No. : 2</p>		<p>to P - No. : 1 Group No. : 2</p>	
<p>Specification type and grade : SA.516.Gr70 or equiv.</p>		<p>to specification type and grade : SA.516.Gr70 or equiv.</p>	
<p>Chem. Analysis & Mech. Prop. : N/A</p>		<p>to Chem. Analysis & Mech. Prop : N/A</p>	
<p>Thickness Range</p>			
<p>Base Metal (Groove) : 1.8 mm - 200 mm</p>		<p>Fillet : All size</p>	
<p>Pipe Dia. Range (Groove) : All Size</p>		<p>Fillet : All size</p>	
<p>Each Pass thickness : Not exceed 1/2" (12,7 mm)</p>			
<p>Other : N/A</p>			
<p>FILLER METALS (QW - 404)</p>			
<p>Welding Process(es) : GTAW</p>		<p>SMAW</p>	
<p>Specification No. (SFA) : 5.18</p>		<p>: A.5.1</p>	
<p>AWS No. (Classification) : ER.70S.G</p>		<p>: E.7018</p>	
<p>F - No. : 6</p>		<p>: 4</p>	
<p>A - No. : 1</p>		<p>: 1</p>	
<p>Size of Filler Metals (dia.) : ø 2.4 mm</p>		<p>: ø 3.2 mm - 4 mm</p>	
<p>Thickness Range (Groove) : Max 4.8 mm</p>		<p>: Max 200 mm</p>	
<p>Thickness Range Fillet : All size</p>		<p>: All size</p>	
<p>Solid or metal cored to flux cored : Solid</p>		<p>: N/A</p>	
<p>Electrode - Flux (Class) : N/A</p>		<p>: N/A</p>	
<p>Flux Trade Name : N/A</p>		<p>: N/A</p>	
<p>Consumable Insert : N/A</p>		<p>: N/A</p>	
<p>Other : Kobe TGS.50 or equivalent</p>		<p>: Kobe LB.52 or equivalent</p>	
<p align="center">* Each Base metal - Filler Metal combination should be recorder individually.</p>			

PREHEAT (QW - 406)				GAS (QW - 408)																					
Preheat Temp. Min. : 100°C				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>Mixture</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Argon</td> <td>99.9 %</td> <td>10 - 20 lit/min</td> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> </tbody> </table>				Percent Composition			Gas(es)	Mixture	Flow Rate	Argon	99.9 %	10 - 20 lit/min	Shielding	N/A	N/A	Trailing	N/A	N/A	Backing	N/A	N/A
Percent Composition																									
Gas(es)	Mixture	Flow Rate																							
Argon	99.9 %	10 - 20 lit/min																							
Shielding	N/A	N/A																							
Trailing	N/A	N/A																							
Backing	N/A	N/A																							
Interpass Temp. Max. : 200°C																									
Preheat Maintenance (Min.) : During Welding																									
(Continuous as special heating where applicable should be recorded).																									
ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW - 409)																									
Current AC or DC : DC (GTAW) ; AC or DC (SMAW)																									
Amps (Range) : See below																									
Electrode Size & Type : \varnothing 2.4 mm (EWTH-2), 2% Thoriated, etc)																									
Mode metal Transfer for GMAW : N/A (Spray arc, Short Circuiting arc, etc)																									
Electr. Wire Feed Speed Range : N/A																									
Polarity : DC SP (GTAW)				Pulsing current		: None																			
Volts (Range) : See below																									
TECHNIQUE (QW - 410)																									
String or Weave Bead : Both				Contact Tube to Work Distance : N/A																					
Orifice or Gas Cup Size : N / A				Multiple or Single Pass(per side) : Multiple																					
Initial and Interpass Cleaning : Brushing & Grinding				Multiple or Single Electrode : Single																					
Method of back Gauging : Arc Air Gauging				Travel Speed (Range) : See below																					
Oscillation : None				Peening : None																					
Other max. thickness : N/A																									
Weld. Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel Speed cm/min.	Other (e.g. Remarks, Comments, Hot Wire Addition, etc)																	
		Class	Dia.	Type Polar	Amp. Range																				
1	GTAW	ER.70S.G	2.4 mm	DC SP	113-121	15 - 16	5 - 10																		
2	SMAW	E.7018	2.4 mm	AC	80-90	26 - 28	5 - 15																		
3	GMAW	E.7018	3.2 mm	AC	100-130	26 - 28	5 - 15																		
4	SMAW	E.7018	4 mm	AC	110-130	26 - 28	5 - 15																		
19	GMAW	E.7018	4 mm	AC	110-130	26 - 28	5 - 15																		
Prepared by, Welding Eng.		Reviewed by, QA/QC		Certified by, QA/QC Man.		Date		Remarks																	



DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

KUALIFIKASI JURU LAS

Nomor : 1237/10.12/DMT/2015

Direktur Teknik dan Lingkungan Migas Selaku Kepala Inspeksi menyatakan bahwa:

Nama : MOH. DOFIR
 Nomor Registrasi : 350211/232072-001
 Tempat dan Tanggal lahir : Pasuruan, 13 Agustus 1972
 Alamat : Jl. Ir.H. Juanda Rt/Rw.09/04 Kel. Tapaan
 Kec. Bugul Kidul, Pasuruan
 Perusahaan : PT BROMO STEEL INDONESIA
 Telah dikualifikasi sebagai juru las sesuai dengan:
 Nomor WPS : WPS.004/97
 Nomor PQR : BS.004/97
 Standar : SNI 13-3032-2002 / ASME SECTION IX
 Dengan data sebagai berikut :



	Pengujian lapangan	Batasan kualifikasi
Proses pengelasan	SMAW	SMAW
Sifat Listrik	DCSP	DCSP
Posisi/Arah pengelasan	3 (tiga) G / Naik	Sesuai QW 461.9 / Naik
<u>Material Dasar :</u>		
- Disain sambungan	Single " V " Groove	Semua disain sambungan
- Diameter (inch)	-	-
- Tebal (mm)	12.0 mm	Maksimum 24.0 mm
- Spesifikasi Material Uji	SA 516 Grade 70	Sesuai QW. 423
Bahan pengisi	ER.70 S-G	FNo.6,SFA 5.18
Gas pelindung	-	-
Back Weld / Backing Metal	-	-
<u>Jenis Pemeriksaan :</u>		
- Visual	x	
- Radiography	x	
- Destructive	-	
- MPI / PT / UT	-	
- Dan lain-lain	-	

Kualifikasi Juru Las ini hanya berlaku pada Perusahaan tersebut di atas sampai dengan tanggal 22 Februari 2018. Bila dalam waktu tiga bulan secara terus menerus tidak bekerja sesuai kualifikasinya maka Kualifikasi Juru Las ini dianggap tidak berlaku lagi.

Jakarta: 02 APR 2015

Direktur Teknik dan Lingkungan Migas



Ir. Suyartono, M.Sc.
NIP 100002710

Lampiran A 2. Data Komposisi Kimia Baja ASTM SA 516 Grade 70

P. I. GUNAWAN DIANJAYA STEEL IDK.
Surabaya - Indonesia

MILL TEST CERTIFICATE
ACC. TO EN10204 : 2004 3 1

Head Office :
Jl. Mangrove No. 29 A
Tambak Sariyo - Asemrowo - Surabaya 60164
Phone : (62-31) 7490598 (Hunting)
Fax : (62-31) 7490591
E-mail : quality@gunawansteel.com
http://www.gunawansteel.com

ISO 9001
Cert. No.


Page : 1 of 1

Purchaser : **BROMO STEEL INDONESIA PT.**
Jl. R.E. Martadinata, Laks No. 18-20 Pasuruan, Jawa Timur 67160
Order No. : **D-200-2017**
Material : **HOT ROLLED STEEL PLATES**
Specification : **ASME SA516 Grade 70 - 15**
Tolerances : **ASME SA20 - 15**
PO NO : 089/OP/VI/2017

Certificate No. : **GDS-QC-2017-1864**
Date : **June 8, 2017**
Dispatch Advice No. : **LDQ-1708-00098**

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Ladle Analysis (%)											Tensile Test			Impact Value								
			T	W	L		C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	B	Test No.	Y.S N/mm ²	T.S N/mm ²	El % Bend 200mm Test	I	II	III	AV
U 1403546	Q 31	1	23	1829	6096	2.013	20	27	121	14	8	<5	4	4	3	<5	<5	37	<5	6	<7	Q3	356	534	27				

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER


K. Priyanti, Prinsipal QAVOC Manager
 PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL IDK.

JEMBER MAHAJE
 14 Juli
 IM : 1
 enyel
 Dlg
 P : 1
 . Dv

SIKAD - Caturfahri (A) 2013 1101

LAMPIRAN B. Hasil Perhitungan data

Hasil Penghitungan Uji tarik

Data pengujian tarik pada spesimen non treatment

Spesimen uji	Teg. tarik σ_u (MPa)	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Regangan (%)	panjang awal L_0 (mm)	panjang akhir L_f (mm)	Luas awal A_0 (mm ²)
1	634,4	532,3	25,76	50	62,88	98,69
2	647,1	547	23,74	50	61,87	95,91
3	677,4	530,6	21,14	50	60,57	83,49
4	637,6	533,7	25,36	50	62,68	98,86
5	648,0	529,9	23,74	50	61,87	99,56
Rata-rata	648,9	534,7	23,94	50	61,97	95,302

Data pengujian tarik pada spesimen PWHT dengan holding time 0,5 jam

Spesimen uji	Teg. tarik σ_u (MPa)	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Regangan (%)	panjang awal L_0 (mm)	panjang akhir L_f (mm)	Luas awal A_0 (mm ²)
1	624,6	457,9	43,02	50	71,51	95,18
2	637,6	449,5	43,98	50	71,99	102,2
3	632,3	504,8	47,26	50	73,63	101,5
4	639,4	489,4	44,86	50	72,43	96,68
5	642,1	454,7	45,34	50	72,67	106,7
Rata-rata	635,2	471,23	44,892	50	72,446	100,45

Data pengujian tarik pada spesimen PWHT dengan holding time 1 jam

Spesimen uji	Teg. tarik σ_u (MPa)	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Regangan (%)	panjang awal L_0 (mm)	panjang akhir L_f (mm)	Luas awal A_0 (mm ²)
1	601,2	417,2	44,48	50	72,24	108,4
2	604,2	502,9	42,78	50	71,39	106,5
3	615,8	434,9	44	50	72,02	99,36
4	619	414,8	43,78	50	71,89	102,31
5	627,6	500,2	40,46	50	70,23	95,78
Rata-rata	613,6	454	43,108	50	71,554	102,47

Data pengujian tarik pada spesimen PWHT dengan holding time 1,5 jam

Spesimen uji	Teg. tarik σ_u (MPa)	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Regangan (%)	panjang awal L_0 (mm)	panjang akhir L_f (mm)	Luas awal A_0 (mm ²)
1	619,246	507,93	41,32	50	70,66	103,4
2	566,183	404,624	46,92	50	73,46	110,3
3	596,7	498,4	46,44	50	73,22	100,8
4	561,3	444,5	48,62	50	74,31	107,3
5	573,8	486,4	43,74	50	71,87	110,2
Rata-rata	583,453	468,34	45,408	50	72,704	106,40

Data pengujian tarik pada spesimen PWHT dengan *holding time* 2 jam

Spesimen uji	Teg. tarik σ_u (MPa)	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Regangan (%)	panjang awal L_0 (mm)	panjang akhir L_f (mm)	Luas awal A_0 (mm ²)
1	532,8	447,1	46	50	73	121,5
2	581,43	474,8	44	50	72	108,8
3	542,6	437,35	45,72	50	72,86	118,6
4	571,32	395,93	46,44	50	73,22	128
5	591,3	419,2	49	50	74,54	98,84
Rata-rata	563,89	434,9	46,24	50	73,12	115,148

A. Tegangan Tarik

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A_0}$$

No. Pengujian	f max (N)	A0 (mm ²)	Hasil (MPa)	Keterangan
1	62610	98,69	634,4107812	<i>non treatment</i>
2	62060	95,91	647,0649567	
3	56560	83,49	677,4464008	
4	63030	98,86	637,5682784	
5	64510	99,56	647,9509843	
Rata-rata			648,8882803	
1	59450	95,18	624,6060097	<i>holding time 0,5 jam</i>
2	65170	102,2	637,6712329	
3	64180	101,5	632,3152709	
4	61820	96,68	639,4290443	
5	68520	106,7	642,1743205	
Rata-rata			635,2391757	
1	65170	108,4	601,199262	<i>holding time 1 jam</i>
2	64350	106,5	604,2253521	
3	61190	99,36	615,8413849	
4	63340	102,31	619,0988173	
5	60120	95,78	627,6884527	
Rata-rata			613,6106538	
1	64030	103,4	619,245648	<i>holding time 1,5 jam</i>
2	62450	110,3	566,183137	
3	60160	100,815	596,7365967	
4	60230	107,3	561,323392	
5	63230	110,2	573,7749546	
Rata-rata			583,452746	
1	64730	121,5	532,7572016	<i>holding time 2 jam</i>
2	63260	108,8	581,433824	
3	64350	118,6	542,5801012	
4	73130	128	571,3233924	
5	58450	98,84	591,3597734	
Rata-rata			563,891805	

B. Perhitungan Kekuatan Luluh Yield Strength

$$\sigma_y = \frac{F_{yield}}{A_0}$$

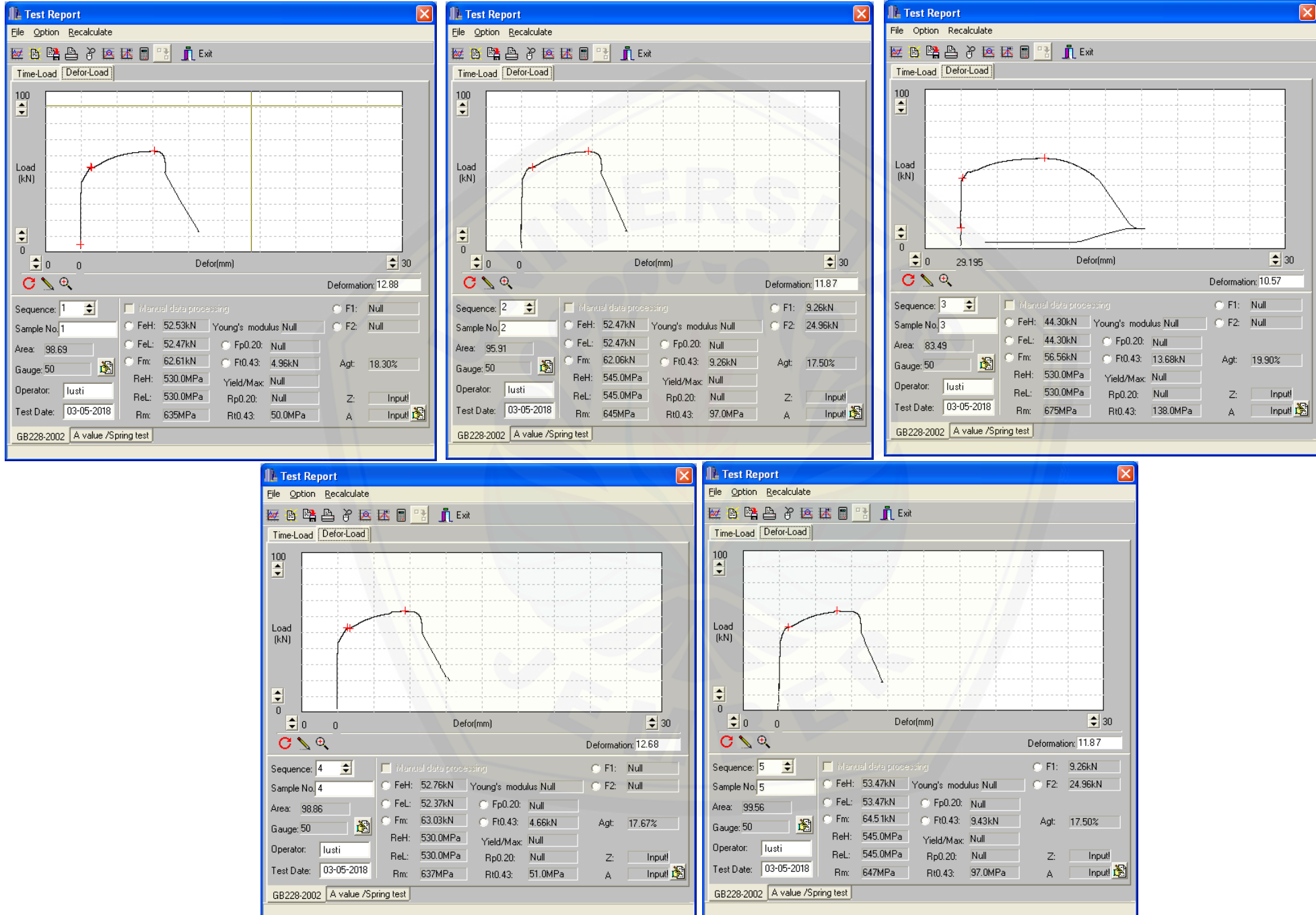
Nomor uji	f yield (N)	A0 (mm ²)	Hasil (MPa)	keterangan
1	52530	98,69	532,2727733	<i>non treatment</i>
2	52470	95,91	547,0753832	
3	44300	83,49	530,6024674	
4	52760	98,86	533,6839976	
5	52760	99,56	529,9316995	
Rata-rata			534,7132642	
1	43590	95,18	457,9743644	<i>holding time 0,5 jam</i>
2	45940	102,2	449,5107632	
3	51240	101,5	504,8275862	
4	47320	96,68	489,4497311	
5	48520	106,7	454,732896	
Rata-rata			471,2990682	
1	45230	108,4	417,2509225	<i>holding time 1 jam</i>
2	53560	106,5	502,9107981	
3	43210	99,36	434,8832528	
4	42440	102,31	414,8177109	
5	47910	95,78	500,2088119	
Rata-rata			454,0142992	
1	52520	103,4	507,93037	<i>holding time 1,5 jam</i>
2	44630	110,3	404,62375	
3	50240	100,8	498,4126984	
4	47700	107,3	444,548	
5	53610	110,2	486,4791289	
Rata-rata			468,39879	
1	54330	121,5	447,1604938	<i>holding time 2 jam</i>
2	51660	108,8	474,81618	
3	51870	118,6	437,3524452	
4	50680	128	395,9375	
5	41440	98,84	419,2634561	
Rata-rata			434,90601	

C. Regangan

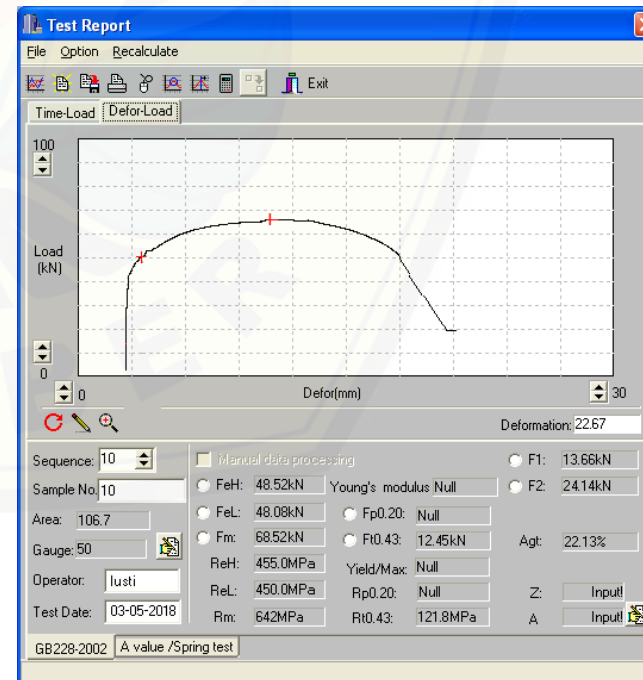
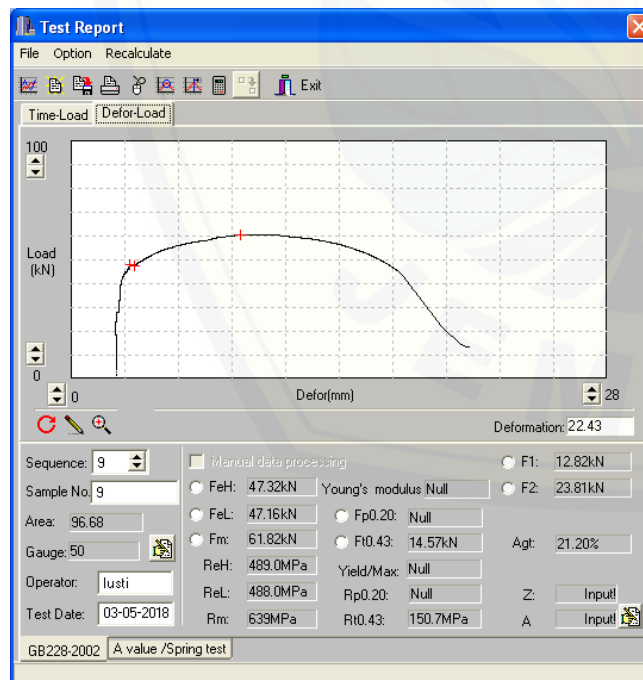
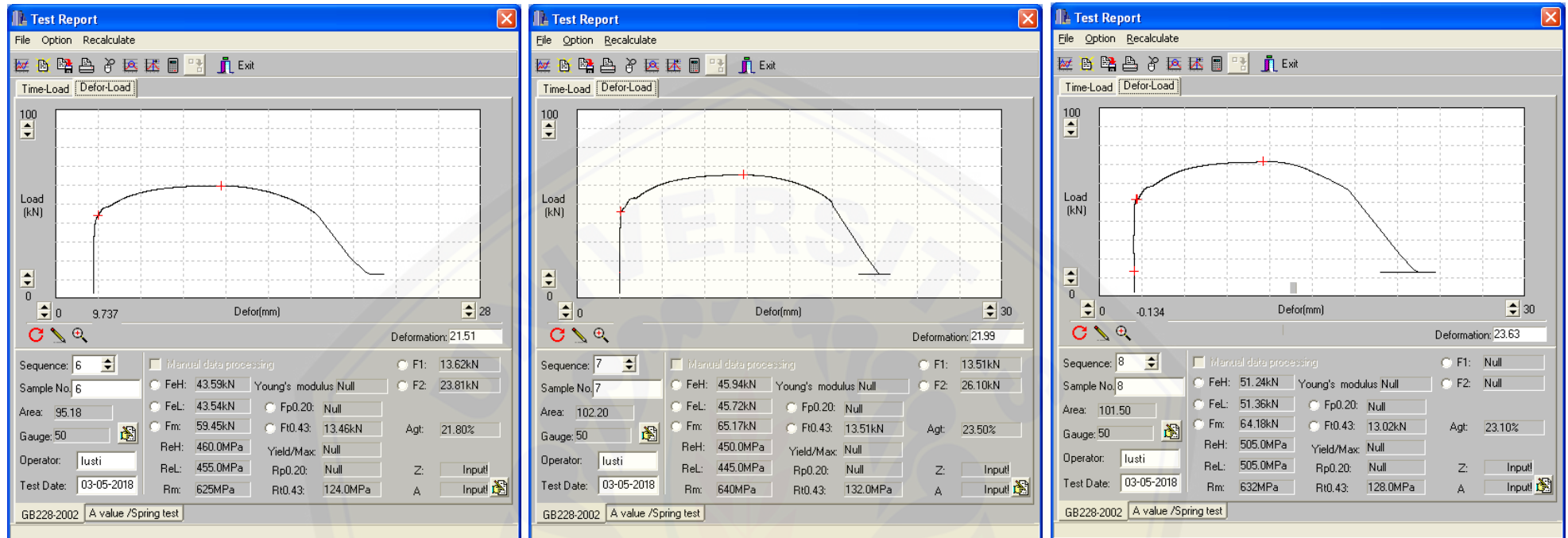
$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Nomor	L awal	L akhir	hasil	Keterangan
1	50	62,88	25,76	<i>non treatment</i>
2	50	61,87	23,74	
3	50	60,57	21,14	
4	50	62,68	25,36	
5	50	61,87	23,74	
Rata-rata			23,948	
1	50	71,51	43,02	<i>holding time 0,5 jam</i>
2	50	71,99	43,98	
3	50	73,63	47,26	
4	50	72,43	44,86	
5	50	72,67	45,34	
Rata-rata			44,892	
1	50	72,24	44,48	<i>holding time 1 jam</i>
2	50	71,39	42,78	
3	50	72,02	44,04	
4	50	71,89	43,78	
5	50	70,23	40,46	
Rata-rata			43,108	
1	50	70,66	41,32	<i>holding time 1,5 jam</i>
2	50	73,46	46,92	
3	50	73,22	46,44	
4	50	74,31	48,62	
5	50	71,87	43,74	
Rata-rata			45,408	
1	50	73	46	<i>holding time 2 jam</i>
2	50	72	44	
3	50	72,86	45,72	
4	50	73,22	46,44	
5	50	74,54	49,08	
Rata-rata			46,248	

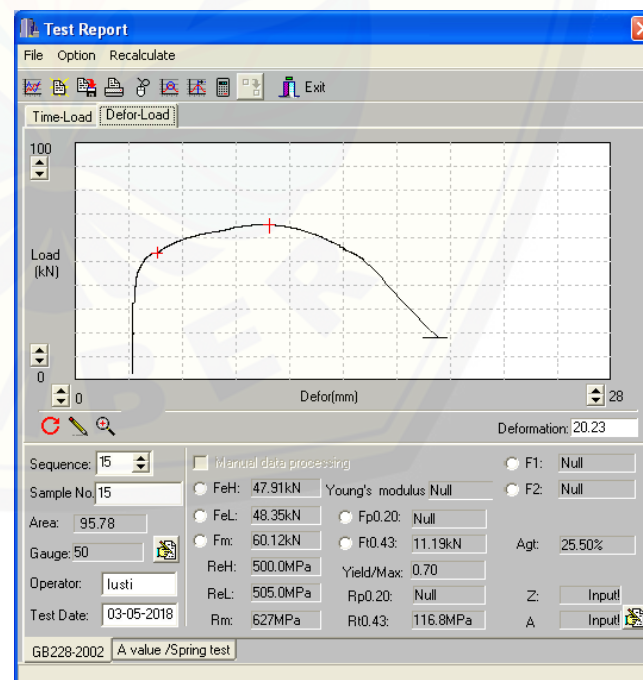
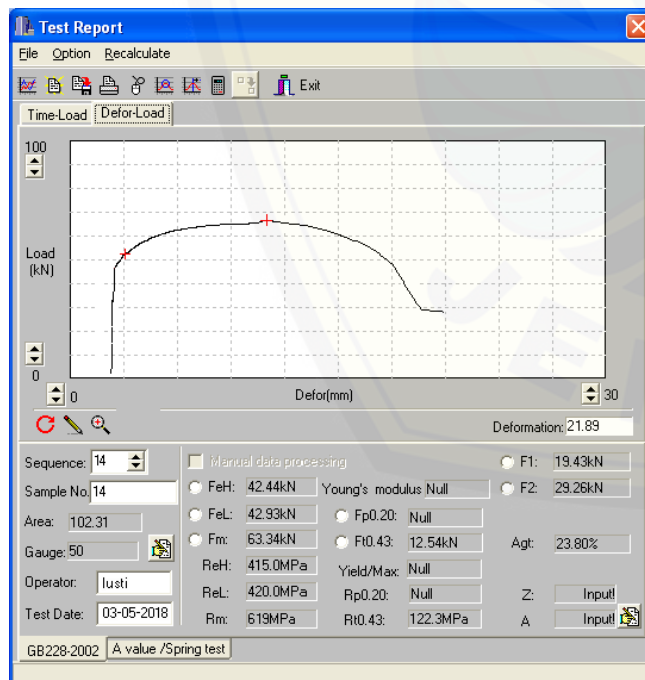
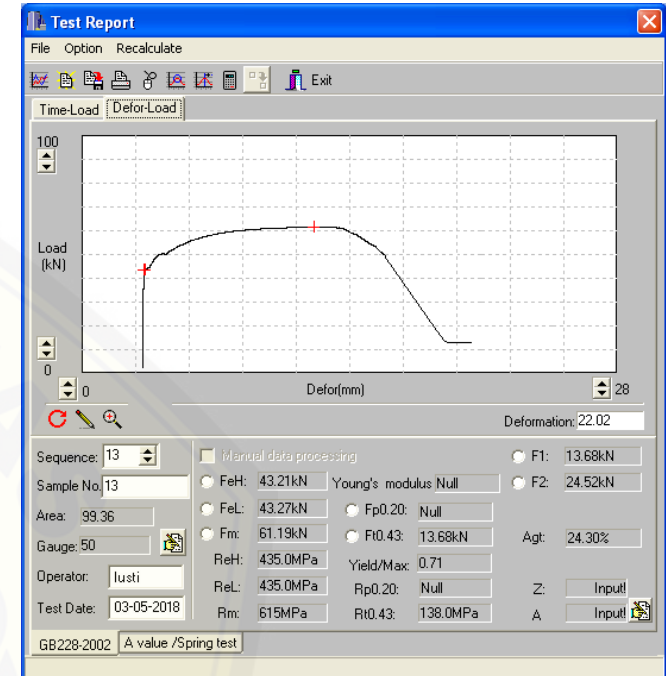
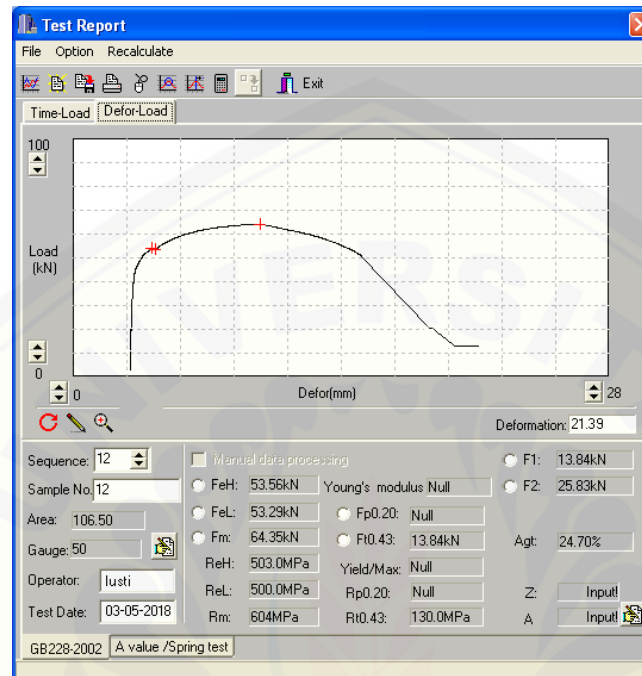
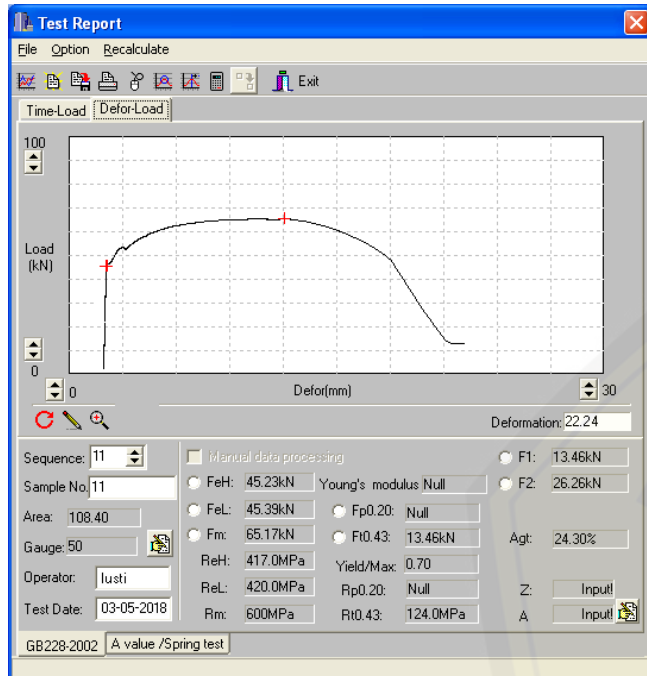
D. Data dan Grafik Uji Tarik (Non Treatment)



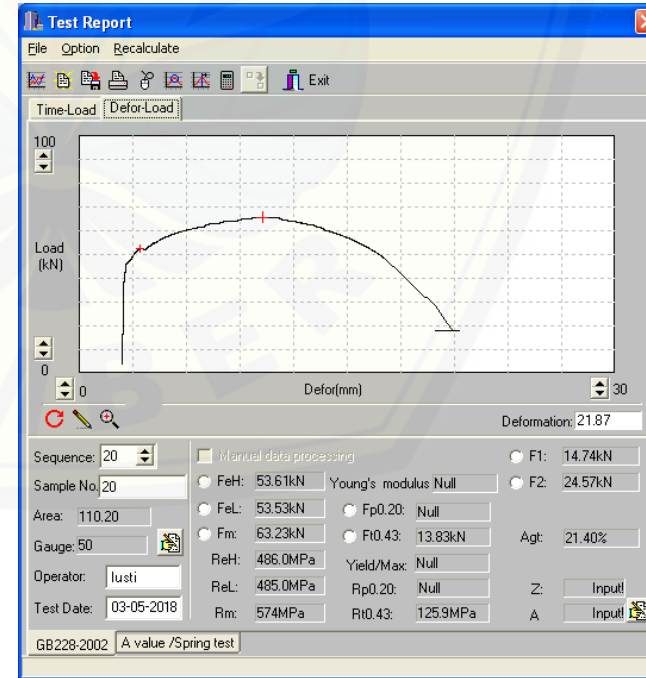
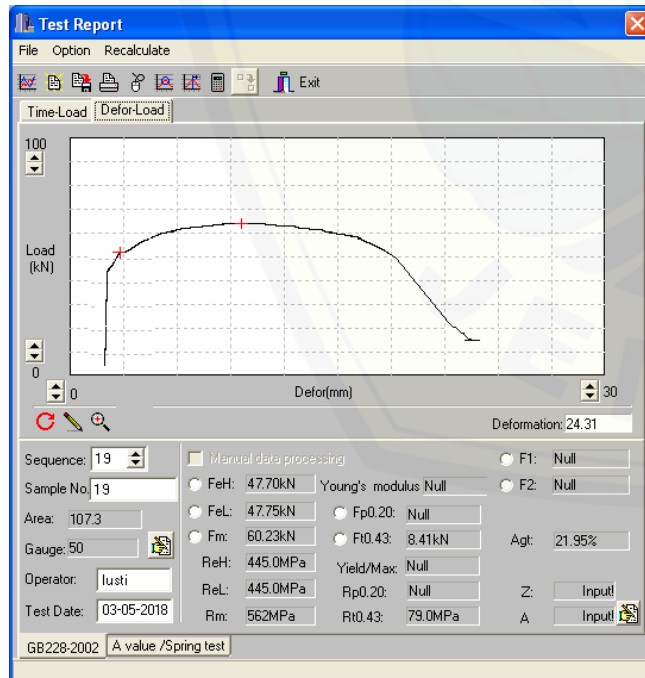
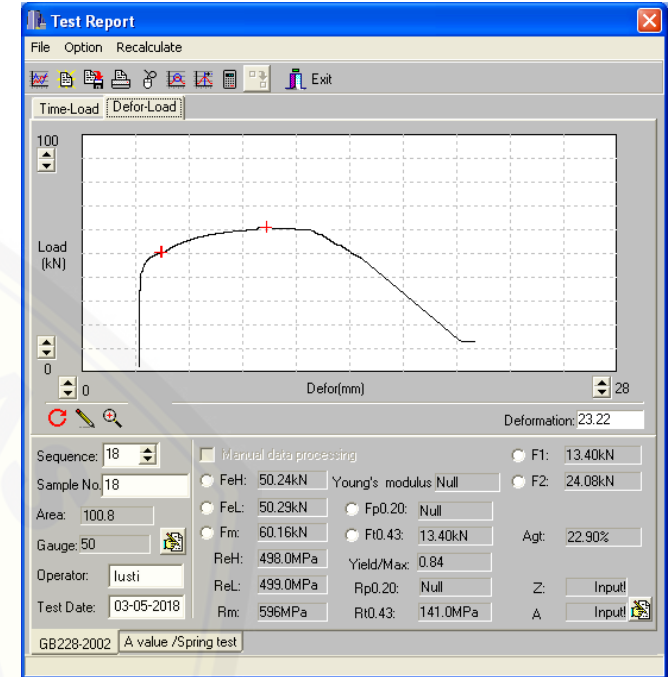
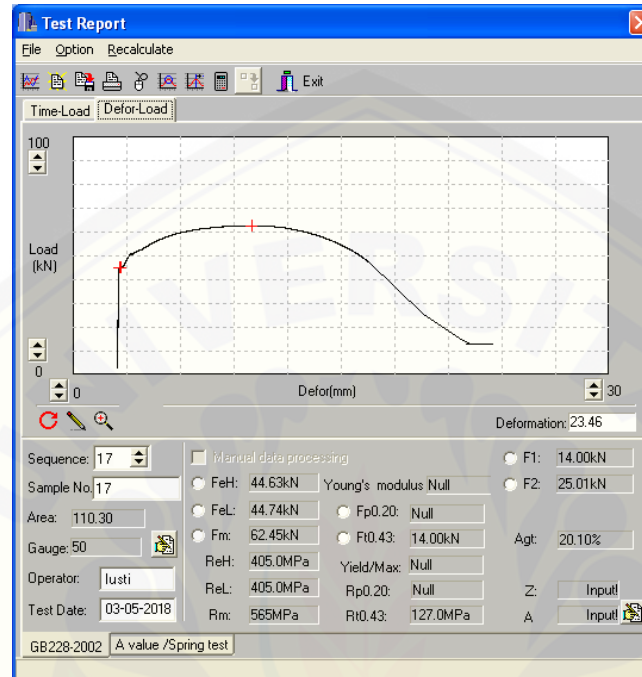
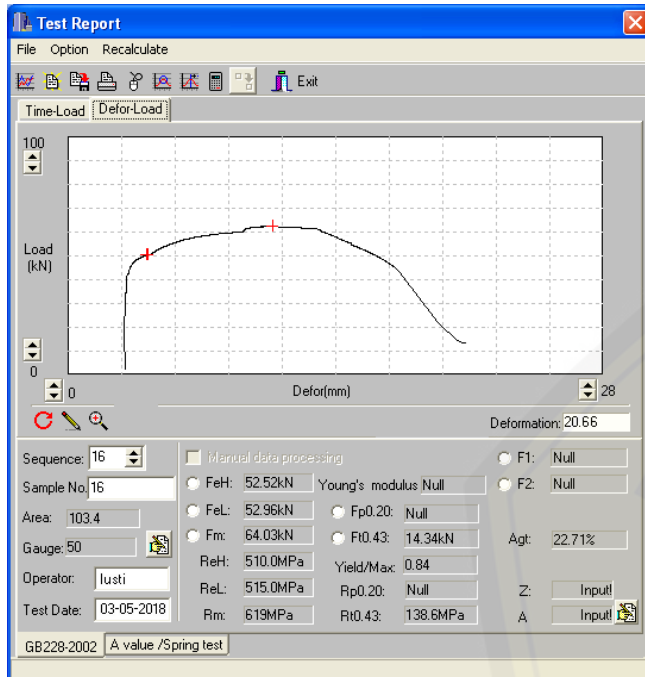
Data dan Grafik Uji Tarik (waktu penahanan 0,5 jam)



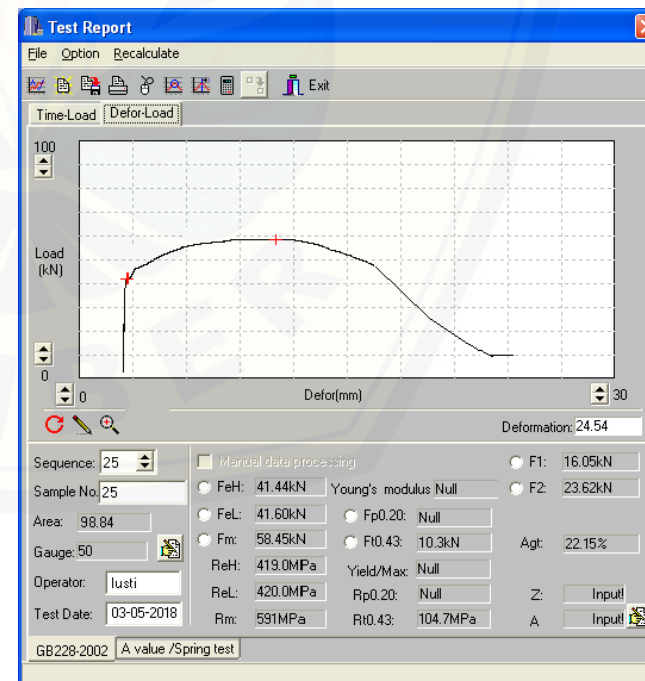
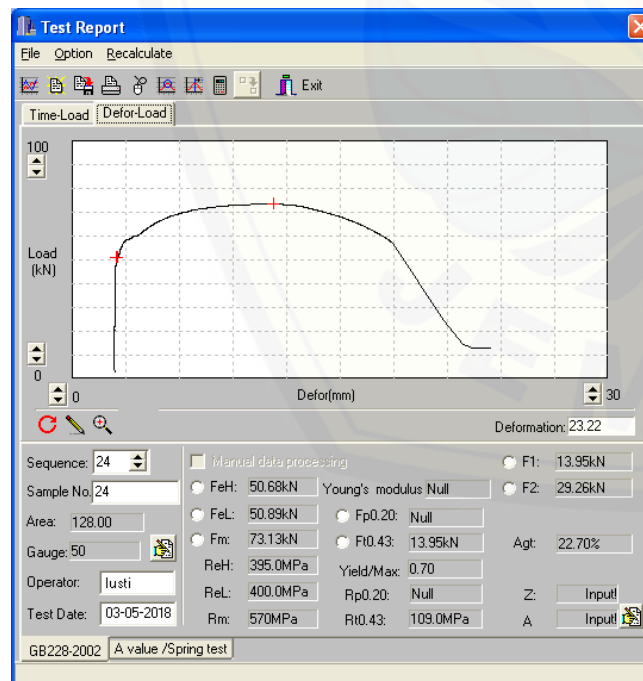
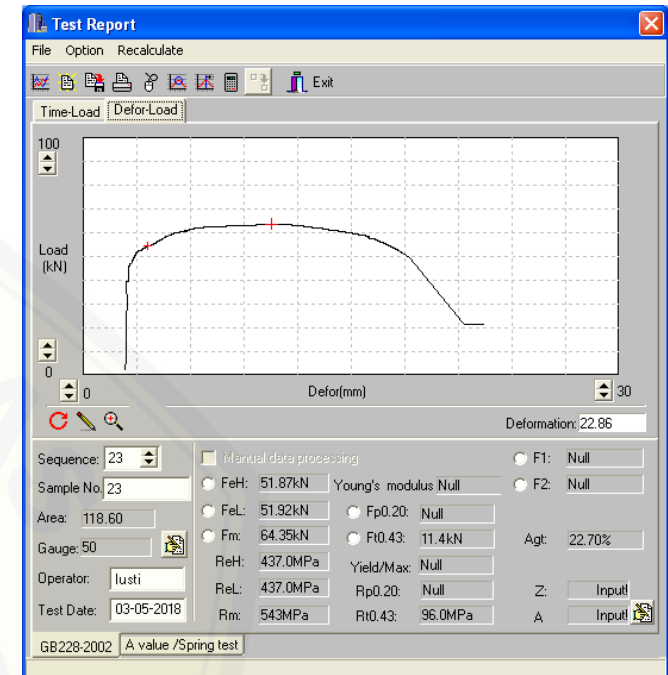
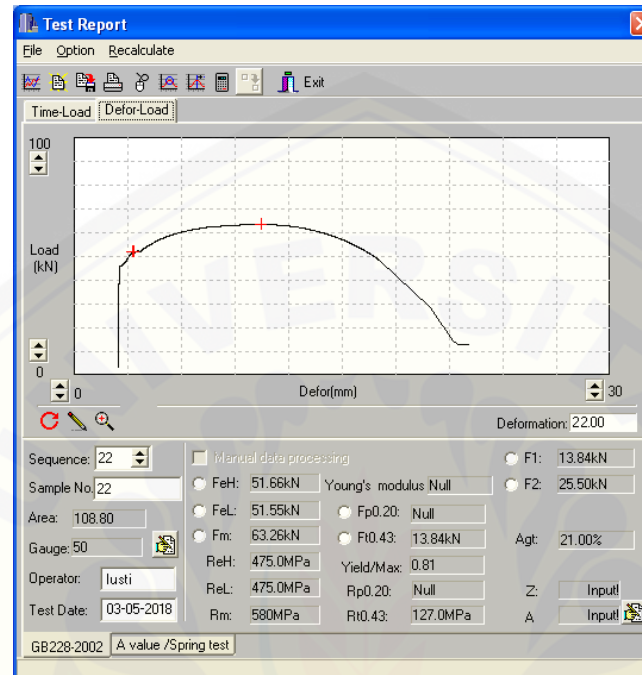
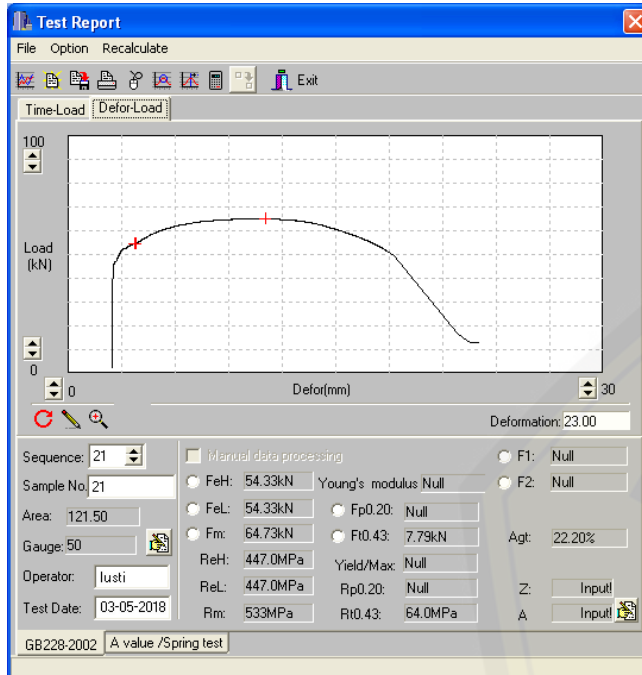
Data dan Grafik Uji Tarik (waktu penahanan 1 jam)



Data dan Grafik Uji Tarik (waktu penahanan 1,5 jam)



Data dan Grafik Uji Tarik (waktu penahanan 2 jam)



D. Data Uji Kekerasan

Titik Pengujian	<i>Non treatmet</i>				<i>holding time 0,5 jam</i>			
	1	2	3	rata rata	1	2	3	rata-rata
1	179	180	192	183,7	175	177	181	177,7
2	179	190	175	181,3	172	173	181	175,3
3	184	179	193	185,3	171	179	177	175,7
4	190	192	193	191,7	176	176	182	178,0
5	260	259	249	256,0	235	239	242	238,7
6	262	256	253	257,0	246	250	244	246,7
7	212	209	205	208,7	192	193	189	191,3
8	204	202	207	204,3	196	188	196	193,3
9	189	176	187	184,0	189	185	204	192,7

Titik Pengujian	<i>holding time 1 jam</i>				<i>holding time 1,5 jam</i>			
	1	2	3	rata rata	1	2	3	rata-rata
1	180	168	177	175,0	182	188	181	183,7
2	184	180	193	185,7	179	177	177	177,7
3	181	189	183	184,3	185	180	189	184,7
4	191	177	180	182,7	175	182	180	179,0
5	203	219	204	208,7	201	208	221	210,0
6	204	212	217	211,0	214	205	225	214,7
7	185	186	181	184,0	186	173	191	183,3
8	186	182	183	183,7	185	181	182	182,7
9	180	175	179	178,0	157	165	172	164,7

Titik Pengujian	<i>holding time 2 jam</i>			
	1	2	3	rata rata
1	179	173	175	175,7
2	195	188	166	183,0
3	192	174	176	180,7
4	188	192	193	191,0
5	202	217	210	209,7
6	227	210	214	217,0
7	176	174	184	178,0
8	174	187	173	178,0
9	185	171	159	171,7

LAMPIRAN C. GAMBAR PEMBUATAN, PENYIAPAN DAN PENGUJIAN SPESIMEN

C1. Pembuatan Spesimen



Gambar C.1.1 Pengukuran plat untuk pengelasan



Gambar C.1.2 Pemotongan plat dari lembaran besar



Gambar C.1.3 Penggerindaan kampuh



Gambar C.1.4 pemasangan dudukan spesimen las



Gambar C.1.5 Persiapan selesai, siap untuk di las



Gambar C.1.6 proses pengelasan



Gambar C.1.7 parameter proses pengelasan



Gambar C.1.8 Jenis Elektroda yang digunakan

C.2.1

t Tr



Gambar C.2.1 Pemotongan dengan mesin gerai



Gambar C.2.2 cooling water pada pemotongan



Gambar C.2.3 hasil pemotongan menggunakan mesin



Gambar C.2.4 memasukkan spesimen



Gambar C.2.5 proses pemanasan pada furnace

C.3 Preparasi Spesimen uji tarik, keras dan struktur mikro



Gambar C.3.1 Alat dan bahan preparasi



Gambar C.4.2 Mencetak spesimen mounting



Gambar C.4.3 proses Grinding menghaluskan spesimen



Gambar C.4.4 bahan untuk proses etsa



Gambar C.4.5 spesimen uji tarik setelah di sekrap



Gambar C.4.6 spesimen uji kekerasan dan mikro

C.4 Proses Pengujian tarik, kekerasan dan mikro



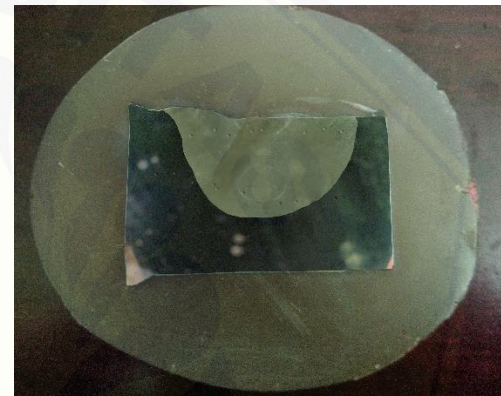
Gambar C.4.1 Alat Uji Tarik dan komputer pengambil data



Gambar C.4.2 Pengukuran luas



Gambar C.4.3 Proses pengujian dengan ekstensometer



Gambar C.4.4 Etsa untuk melihat daerah lasan



Gambar C.4.5 pelaksanaan uji kekerasan dengan micro hardness tester



Gambar C.4.5 pelaksanaan uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik