

**PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* (PWHT) TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA KARBON RENDAH HASIL
PROSES SMAW**



FACHRU ZAENUDDIN NUR INSAN

5315122799

**Skripsi Ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

PROGRAM STUDI SI PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2018

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* (PWHT) TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA KARBON RENDAH HASIL
PROSES SMAW

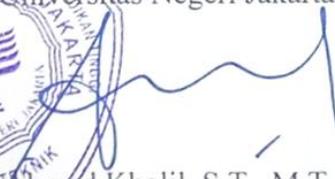
Nama : FACHRU ZAENUDDIN NUR INSAN
No. Reg : 5315122799

Telah Disetujui Oleh :		
Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1. <u>Ferry Budhi Susetyo, S.T., M.T., M.Si.</u> NIP. 198202022010121002 (Pembimbing I)		8/02/2018
2. <u>Ahmad Kholil, S.T., M.T.</u> NIP. 197908312005011001 (Pembimbing II)		22/02/2018

Dosen Penguji :

3. <u>Siska Titik Dwiyanti, S.Si, M.T.</u> NIP. 19782122006042002 (Ketua Sidang)		19/02/2018
4. <u>Dr. Catur Setyawan K.M.T</u> NIP. 197102232006041001 (Sekretaris)		20/2/2018
5. <u>Dr. Imam Basori, M.T</u> NIP. 197906072008121003 (Dosen Ahli)		20/2/2018

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Jakarta



Ahmad Kholil, S.T., M.T.
NIP. 197908312005011001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fachu Zaenuddin Nur Insan

NIM : 5315122799

Prodi : Pendidikan vokasional Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : “PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* (PWHT) TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA KARBON RENDAH HASIL PROSES SMAW”

Dengan ini, saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini benar-benar penelitian saya sendiri dan tidak terdapat penelitian yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan dalam daftar pustaka.

Jakarta, Januari 2018

Penulis,



Fachru Zaenuddin Nur Insan

NIM. 5315122799

ABSTRAK

Fachru Zaenuddin Nur Insan. “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Karbon Rendah Hasil Proses SMAW”. Skripsi. Jakarta. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2018.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adakah pengaruh perlakuan panas PWHT terhadap sifat mekanik baja karbon rendah yang menyangkut kekuatan tarik, ketangguhan serta nilai kekerasan. Penelitian ini menggunakan jenis baja berkarbon rendah.

Metode dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengelasan menggunakan jenis las SMAW. Kemudian dilakukan perlakuan panas PWHT 450°C dan ditahan selama 70 menit, dan didinginkan di udara. Tujuan penelitian ini mengetahui sifat mekanik dari hasil pengelasan SMAW akibat PWHT. Pengelasan melalui proses PWHT 450°C pada pengelasan SMAW terhadap hasil sambungan pengelasan melalui pengujian tarik dan kekerasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon yang Non PWHT DC+ dengan nilai kekuatan tarik sebesar 52.127 kgf/mm². Uji keuletan paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon rendah yang PWHT AC dengan nilai keuletan sebesar 17%. Uji kekerasan pada *base metal* paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon rendah yang Non PWHT DC+ dengan nilai kekerasan sebesar 29.64 VHN. Uji kekerasan pada *weld metal* paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon rendah yang Non PWHT DC+ dengan nilai kekerasan sebesar 57.78 VHN.

Kata Kunci: SMAW, PWHT, Kekuatan Tarik, dan Kekerasan.

ABSTRACT

Fachru Zaenuddin Nur Insan. *"The Effect of Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Properties of Low Carbon Steel Materials of SMAW Process". Essay. Jakarta. Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Jakarta State University, 2018.*

This study aims to determine whether there is an influence of PWHT heat treatment on the mechanical properties of low carbon steel involving tensile strength, toughness and hardness value. This study uses a type of low carbon steel.

Method in this research is experiment method. Welding using SMAW welding type. PWHT heat treatment 450 ° C and then held for 70 minutes, and cooled in air. The purpose of this research is to know the mechanical properties of SMAW welding result of PWHT. Welding through PWHT 450oC process on SMAW welding to the result of welding connection through tensile and hardness testing.

The results showed that the highest tensile strength was found in SMAW connection of carbon steel plate Non PWHT DC + with a tensile strength value of 52.127 kgf / mm². The highest ductile test is found in SMAW connections of low carbon steel plates PWHT AC with a ductility value of 17%. The highest hardness test on base metal is found in SMAW connection of low carbon steel plate Non PWHT DC + with a hardness value of 29.64 VHN. The highest hardness test of weld metal is found in SMAW connection of low carbon steel plate Non PWHT DC + with hardness value 57.78 VHN.

Keywords: *SMAW, PWHT, Pulling Power, and Violence.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur senantiasa terpanjatkan kahadirat ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Karbon Rendah Hasil Proses SMAW**”.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ahmad Kholil, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Nugroho Gama Yoga.,S.T.,M.T sebagai Penasehat Akademik yang telah memberikan saran dan arahan yang berguna dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
3. Bapak Ferry Budhi Susetyo, ST., MT.,M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak, waktu, arahan, bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Ahmad Kholil, S.T., M.T. dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak dukungan, waktu, arahan, bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Kepada Kepala Industri Bahan dan Barang Teknik ,Dinas Perindustrian dan Energi DKI Jakarta di Cempaka Putih. Bapak Bagus dan semua pihak yang sangat membantu dalam pelaksanaan Pengujian Tarik.

6. Babeh dan Enyak tercinta orang tua penulis dan Adam Al-Fahri Fauzi, Nouval Adik yang senantiasa keluarga besar dan telah banyak memberikan dorongan moril maupun material bagi penulis.
7. Terimakasih kekasihku Suci Rifqi Hani S.pd yang penuh memberikah kasih sayang dan kesabaran menunggu penulis sampai selesaikan skripsi.
8. Rekan angkatan 2012 yang telah membantu penulisan skripsi dari awal sampe akhir yaitu Duty Marsulan S.pd, Sulaiman, Hanniv Madrin Syan Toharoh, Brian Rizka Azhari, Ahmad Kanzi Muhammad S.pd.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga skripsi ini dapat menjadi suatu informasi yang berguna dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Jakarta, Febuary 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Baja Karbon Rendah	4
2.2. PWHT	5
2.3. Annealing	6
2.4. Quenching	6
2.5. SMAW	7
2.6. Pemilihan Elektroda	9
2.7. Furnace	12
2.8. Pengujian Tarik	12
2.9. Pengujian Kekerasan	16
2.10. Pemilihan Kampuh/Sambungan Las	20
2.11. Polaritas Pada Pengelasan	20
2.12. Kerangka Berfikir	21
2.13. Penelitian Yang Relevan	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Tujuan Operasional Penelitian	23
3.2. Metode Penelitian	23
3.3. Waktu dan tempat Penelitian	24
3.4. Peralatan Penelitian	24
3.5. Bahan Peneliti	25
3.6. Diagram Alir Penelitian	25
3.7. Uraian Prosedur Penelitian	26
BAB IV HASIL PENELITIAN	32
4.1. Pemeriksaan Hasil Visual	32

4.1.1 Hasil Pengelasan Material AC.....	33
4.1.2. Hasil Pengelasan Material DC+	33
4.2. Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	34
4.2.1. Spesimen pengujian kekuatan tarik	34
4.2.2. Pengujian Tarik	36
4.3. Analisa Hasil Pengujian Kekerasan.....	41
4.3.1. Spesimen Pengujian Kekerasan.....	41
4.3.2. Pengujian Kekerasan	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Las SMAW	9
Gambar 2.2.	Elektroda	9
Gambar 2.3.	Furnace.....	12
Gambar 2.4.	Alat Pengujian Tarik	13
Gambar 2.5.	Penunjuk Bagian Terkena Panas	16
Gambar 2.6.	Alat Pengujian Kekerasan	18
Gambar 2.7.	Dimensi Kampuh V Ganda	20
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2.	Pembuatan Kampuh X	27
Gambar 3.3.	Proses Pengelasan	27
Gambar 3.4.	Proses Pemotongan	28
Gambar 3.5.	ASTM E-8.....	29
Gambar 3.6.	Spesimen pengujian tarik	29
Gambar 3.7.	ASTM E-23	30
Gambar 3.8.	Spesimen pengujian kekerasan	30
Gambar 4.1.	Pengelasan AC	32
Gambar 4.2.	Pengelasan DC+	33
Gambar 4.3.	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik PWHT AC	35
Gambar 4.4.	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik non PWHT AC	35
Gambar 4.5.	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik PWHT DC	36
Gambar 4.6.	Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik non PWHT DC+	36
Gambar 4.7.	Grafik Rata-rata Pengujian Tarik Untuk <i>Tensile Strenght</i>	36
Gambar 4.8.	Grafik Rata-rata Elongation	40
Gambar 4.9.	Spesimen pengujian Kekerasan PWHT AC.....	41
Gambar 4.10.	Spesimen pengujian Kekerasan non PWHT AC.....	42
Gambar 4.11.	Spesimen Pengujian Kekerasan PWHT DC+	42
Gambar 4.12.	Spesimen Pengujian Kekerasan non PWHT DC+	43
Gambar 4.13.	Grafik Rata-rata Pengujian Untuk Uji Kekerasan pada <i>Base Metal</i>	44
Gambar 4.14.	Grafik Rata-rata Pengujian Untuk Uji Kekerasan pada <i>Weld Metal</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3. Spesifikasi Elektroda.....	11
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik	37
Tabel 4.2. Hasil Elongation.....	39
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>Base Metal</i>	43
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>Weld Metal</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sertifikat Material ASTM A-36	49
Lampiran 2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 AC Non PWHT	50
Lampiran 3. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2 AC Non PWHT	51
Lampiran 4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3 AC Non PWHT	52
Lampiran 5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 AC PWHT	53
Lampiran 6. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2 AC PWHT	54
Lampiran 7. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3 AC PWHT	55
Lampiran 8. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 DC+ Non PWHT	56
Lampiran 9. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2 DC+ Non PWHT	57
Lampiran 10. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3 DC+ Non PWHT	58
Lampiran 11. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1 DC+ PWHT	59
Lampiran 12. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2 DC+ PWHT	60
Lampiran 13. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3 DC+ PWHT	61
Lampiran 14. Hasil Spesimen Pengujian Tarik AC PWHT	62
Lampiran 15 Hasil Spesimen Pengujian Tarik AC Non PWHT	62
Lampiran 16. Hasil Spesimen Pengujian Tarik DC+ PWHT	63
Lampiran 17. Hasil Spesimen Pengujian Tarik DC+ Non PWHT	63
Lampiran 18. Sertifiat Pengelasan Welding Inspector	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan, atau dapat didefinisikan sebagai akibat dari metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Dalam dunia pengelasan yang sering digunakan adalah metode busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW dianggap lebih praktis dan efisien dalam pengerjaan yang dapat dilakukan.

Kemajuan teknologi berdampak pula dalam pengelasan SMAW, salah satunya adalah memodifikasi arus listrik yang digunakan, dalam teori pengelasan, dalam pengelasan smaw, arusnya listrik yang digunakan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu mesin las arus searah atau *direct current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *alternating current* (AC) dan mesin las arus ganda. Tentunya dari jenis arus itu akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda-beda.

Banyak penelitian yang telah dilakukan pada proses SMAW dengan memodifikasi arus listrik yang digunakan seperti pengaruh polaritas terhadap kekerasan pada sambungan las dengan metode GMAW pada material baja karbon rendah seri ASTM A-36, Penelitian yang dilakukan oleh Saudara Bayu Tarmizi Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta pada tahun 2017. Penelitian yang dilakukannya sudah dikategorikan baik akan tetapi masih diperlukan beberapa tahap perbaikan pada hasil pengelasan,

salah satu cara yang digunakan untuk memperbaiki hasil pengelasan tersebut adalah dengan cara mengubah atau memodifikasi pemanasan pada *base metal* dan *weld metal* pengelasan tersebut dengan proses PWHT.¹

Untuk mengetahui berapakah suhu optimal *post weld heat treatment annealing* untuk material baja EMS-45 dengan variasi suhu yang digunakan 3500C, 5500C dan 7500C. Untuk mengetahui struktur mikro dari material baja EMS-45 akibat variasi suhu *post weld heat treatment annealing* pada proses pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan *shielded metal arc welding*. Bahan atau material dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah baja EMS-45 dengan ketebalan pelat 10mm, lebar pelat 20mm, dan panjang 100mm. berdasarkan hasil pengujian nilai kekerasan tertinggi setelah proses pengelasan terletak pada daerah logam las. Pengelasan non PWHT memiliki nilai kekerasan paling tinggi setelah proses pengelasan yaitu sebesar 183,2 VHN. Suhu optimal *post weld heat treatment annealing* untuk material baja ESM-45 adalah pada suhu 7500C. Karena pada PWHT pada suhu tersebut mengalami penurunan kekerasan yang yaitu sebesar 127,2 VHN, sehingga material baja EMS-45 dapat memperbaiki sifat mampumesinya.²

Berdasarkan paparan di atas peneliti mencoba melakukan penelitian dengan judul. “Pengaruh *post weld heat treatment* (PWHT) terhadap sifat mekanik material baja karbon rendah hasil proses SMAW”.

¹ Bayu Tarmizi, Pengaruh Polaritas terhadap Kekerasan pada Sambungan Las Dengan Metode GMAW pada Material Baja Karbon Rendah Seri ASTM A-36. (2017)

² Rusianto, Widi Widayat, Danang Dwi Saputro, Pengaruh variasi suhu *post weld heat treatment annealing* terhadap sifat mekanis material baja EMS-45 dengan metode *pengelasan shielded metal arc welding* (SMAW). (2012)

1.2. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu, bagaimana fenomena hasil pengujian tarik dan kekerasan dari dua polaritas yang berbeda baja karbon rendah baik yang dilakukan PWHT maupun tidak.

1.3. BATASAN MASALAH

Berdasarkan pada identifikasi masalah yang telah dipaparkan, peneliti menetapkan batasan permasalahan, penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah tebal 10 mm, menggunakan elektroda terbungkus jenis E 6013, pemilihan jenis sambungan pada penelitian ini dengan menggunakan kampuh X atau *Double V* dengan sudut 60° , perlakuan panas yang digunakan adalah PWHT pada 450° dan ditahan selama 70 menit, pengujian sifat mekanik dengan kekuatan tarik dan kekerasan.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari ini penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh PWHT terhadap sifat mekanik material baja karbon rendah hasil dari proses SMAW.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini agar dapat memberikan tambahan ilmu pengetahuan tentang pengelasan logam serta dapat digunakan sebagai sumber informasi penting untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Karbon Rendah

Persyaratan baja konstruksi yang harus dipenuhi adalah sifat mampu las yang memuaskan, mendorong pembuatan baja dengan kadar karbon yang lebih rendah. Baja karbon rendah merupakan baja karbon rendah, baja karbon rendah termasuk baja paduan mikro berkadar karbon rendah (0,05-0,30% C). Kadar karbon yang rendah dapat menurunkan kekuatan dan hal ini dapat diperbaiki dengan memperhalus ukuran butir.

Di masyarakat baja karbon rendah ini lebih dikenal dengan nama plat kapal, dimana pelat baja ini secara fungsi digunakan sebagai material untuk membuat bagian dari dinding bawah dari sebuah kapal atau biasa disebut dengan lambung kapal. Sebagai bagian dari lambung atau dinding kapal, plat baja karbon rendah ini harus mempunyai sifat mekanik terutama sisi ketangguhan agar dapat menerima beban dengan baik.

Baja karbon rendah atau yang juga disebut baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon rendah mempunyai karakteristik mudah untuk dijadikan bahan konstruksi karena memiliki sifat perlakuan pengelasan yang baik. Karena baja ini sering dipakai, maka sebaiknya mempunyai sifat mekanik yang baik seperti kekuatan, ketangguhan dan kekerasan.

2.2. PWHT (*Post Weld Heat Treatment*)

Salah satu perlakuan yang dilakukan pada proses pengelasan adalah *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). PWHT biasanya digunakan untuk *stress relieving* (pelepasan tegangan sisa). Tujuan dari *stress relieving* adalah untuk mengurangi semua tegangan sisa atau tegangan internal yang mungkin terbentuk saat proses pengelasan. *Stress relieving* setelah pengelasan mungkin saja diperlukan untuk mengurangi resiko getas (*Brittle Fracture*), untuk menghindari distorsi saat proses permesinan, atau untuk mengurangi resiko *stress corrosin craking*.

Proses perlakuan panas setelah pengelasan juga dapat diartikan sebagai proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, kelunakan dan kekerasan.

Prinsip dasar proses perlakuan panas setelah pengelasan³:

1. *Heating* merupakan proses pemanasan sampai diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material.
2. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
3. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat akhir material yang diinginkan.

³ Yustiasih Purwaningsih, *Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Sambungan Las SMAW Baja A-287 Sebelum dan Sesudah PWHT*, (Jurnal Teknoim Vol. 11 Nomor 3, 2006).

2.3. Annealing

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperatur tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Tujuan utama proses *annealing* ialah melunakan, menghaluskan butiran kristal, menghilangkan internal *stress*, memperbaiki *machinability* dan memperbaiki sifat kelistrikan dan magnetik. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, lamanya waktu penahan, laju pendinginan (*cooling rate*). *Annealing* dilakukan untuk memperbaiki kemampuan mesin dan kemampuan bentuk, memperbaiki keuletan menurunkan atau menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas.

2.4. Quenching

Proses perlakuan panas perlakuan panas dimana proses dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur austenisasi (umumnya pada jarak temperatur 815⁰C - 870⁰C) pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media yang digunakan. Sangat bergantung pada kemampuan keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang diinginkan dari hasil proses *quenching* yang sering digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aquos polymer solution*), larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen.

Tujuan dari proses quenching secara umum pada baja (baja carbon, *low alloy steel*, dan *tool steel*) adalah untuk proses hardening, yaitu menghasilkan struktur mikro martensit pada baja tersebut. Proses hardening yang baik adalah bila mendapatkan harga kekerasan, kekuatan, dan toughness yang benar tetapi dengan residual stress, distorsi, dan cracking yang minimal. Pada *stainless steel* dan *high alloy steels* tujuan proses quenching adalah untuk meminimalisir keberadaan batas butisan karbida atau untuk meningkatkan distribusi ferit.

2.5. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam⁴. Jenis las SMAW paling sering dipakai dimana-mana untuk hampir semua keperluan pengelasan. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las.

SMAW adalah proses las busur yang paling sederhana dan paling serbaguna. Karena sederhana dan mudah dalam mengangkut peralatan dan perlengkapannya, membuat proses SMAW ini mempunyai aplikasi luas seperti untuk proses pengelasan dibawah laut. SMAW dapat dilakukan pada berbagai posisi atau lokasi yang bisa dijangkau dengan sebatang elektroda.

Sambungan pada daerah dimana pandangan mata terbatas masih bisa di las dengan cara membengkokkan elektroda. Proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) digunakan untuk mengelas berbagai macam logam, termasuk baja

⁴ Sriwidharto, *Petunjuk Kerja Las*, (Jakarta: Pradnya Paramita, 1987), Hal. 13.

karbon dan baja paduan rendah. Las listrik ini menggunakan elektroda berselaput sebagai bahan tambahan.

Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini yang digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan *fluks*. Karena panas dari busur ini maka, logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama⁵.

Panas yang dihasilkan dari busur nyala listrik ini sangat tinggi (jauh diatas titik lebur baja) sehingga dapat mencairkan baja dalam sekejap⁶.

Sumber panas ini paling populer dipergunakan untuk pengelasan berbagai jenis baja, paduan baja dan jenis *metal non ferrous*. Mengelas dengan listrik memerlukan kawat las (*electrode*) yang terdiri dari teras logam yang dilapisi campuran beberapa zat kimia⁷.

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

Besar kecilnya arus dapat diatur dengan mesin las itu sendiri. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan las yang rendah.

Sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan melebarnya cairan las dan deformasi yang besar dalam pengelasan.

⁵ Wiryosumarto dan Okumura, *Op. Cit.*, Hal. 9.

⁶ *Ibid.*, Hal. 2.

⁷ Sunari, *Teknik Pengelasan Logam*, (Jakarta: Ganeca Exact, 2007), Hal. 3.

membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Besar kecilnya arus listrik sangat berpengaruh, jika arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan *fluks* yang digunakan. Bahan *fluks* yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Faktor yang sangat penting di dalam pengelasan adalah bahan *fluks* dan jenis listrik yang digunakan.

Jenis pengelasan elektroda terbungkus *fluks* memegang peranan penting karena *fluks* dapat bertindak sebagai⁸:

- a. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
- b. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya.
- c. Pengatur penggunaan.
- d. Sumber unsur-unsur paduan.

⁸ Wiryosumarto dan Okumura, *Loc. Cit.*, Hal. 9.

Tabel 2.3. Spesifikasi Elektroda⁹

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi ⁹⁾ pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	{ H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	{ H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.00 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Jenis pengelasan elektroda terbungkus *fluks* memegang peranan penting karena *fluks* dapat bertindak sebagai pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya. Pengatur penggunaan sumber unsur-unsur paduan. *Fluks* biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan dan bahan pengikat. Elektroda las yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan *fluks* tertentu yang tergantung dari penggunaannya.

⁹ Wiryosumarto dan Okumura, Teknologi Pengelasan Logam, (Jakarta: PT.Pradya Pratamita, 1991), Hal. 14.

Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E-6013 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Elektroda ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah.

2.7. Furnace

Furnace merupakan peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam agar pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya *rolling* maupun penggulangan, penempaan atau merubah sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas. Setelah melakukan perlakuan panas dan dibentuk sesuai spesimen uji, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian tarik serta pengujian kekerasan.



Gambar 2.3. Furnace

2.8. Pengujian Tarik

Pengujian tarik yaitu merupakan salah satu pengujian mekanik logam pada konstruksi pengelasan yang rusak. Pengujian yang rusak pada konstruksi las adalah pengujian terhadap model dari konstruksi atau pada batang-batang uji yang

telah dilas dengan cara yang sama dengan proses pengelasan yang akan digunakan sampai terjadi kerusakan pada model konstruksi atau batang uji¹⁰.

Tujuan utama dari proses pengujian tarik adalah untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Setelah dilakukan pengujian tarik, diharapkan bahan yang akan digunakan sebagai bahan konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan.

Deformasi bahan disebabkan oleh gaya tarik adalah dasar dari pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan, hal ini disebabkan oleh beberapa alasan yaitu sebagai berikut¹¹:

1. Mudah dilakukan.
2. Menghasilkan tegangan uniform pada penampang.
3. Kebanyakan bahan mempunyai kelemahan untuk menerima beban tegangan tarik yang uniform pada penampang.



Gambar 2.4. Alat Pengujian Tarik

¹⁰ Wiryosumarto dan Okumura, *Op. Cit.*, Hal. 361.

¹¹ T.Surdia dan Shinroku, *Pengetahuan Bahan Teknik*, (Jakarta: Pradnya Paramita, 1999), Hal. 7.

Maka hasil dalam pengujian bahan industri paling sering ditentukan oleh kekuatan tarik bahan. Proses pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan¹².

Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari logam induknya. Pengujian tarik untuk kekuatan kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatan dan dimana letak putus dari suatu sambungan las.

Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Akibat yang ditimbulkan oleh penarikan gaya terhadap bahan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk bahan tersebut. Kemungkinan ini akan diketahui melalui proses pengujian tarik.

Proses terjadinya perubahan bentuk (deformasi) pada bahan uji ini adalah proses pergeseran butiran-butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepasnya ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum.

Penyusunan butir kristal logam yang diakibatkan oleh adanya penambahan volume ruang gerak dari setiap butiran dan ikatan atom yang masih memiliki gaya elektromagnetik, secara otomatis bisa memperpanjang bahan tersebut. Dengan

¹² Wiryosumarto dan Okumura, *Op. Cit.*, Hal. 181.

demikian sangat beralasan jika dalam pengujian bahan teknik, kekuatan suatu bahan sering ditentukan oleh kekuatan tarik.

Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1.)^{13}$$

Dimana : σ = Tegangan Tarik (kgf/mm²)

F = Beban (kg)

A₀ = Luas mula dari penampang batang uji (mm²)

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2.2.)^{14}$$

Dimana : ε = Regangan

L₀ = Panjang mula dari batang uji

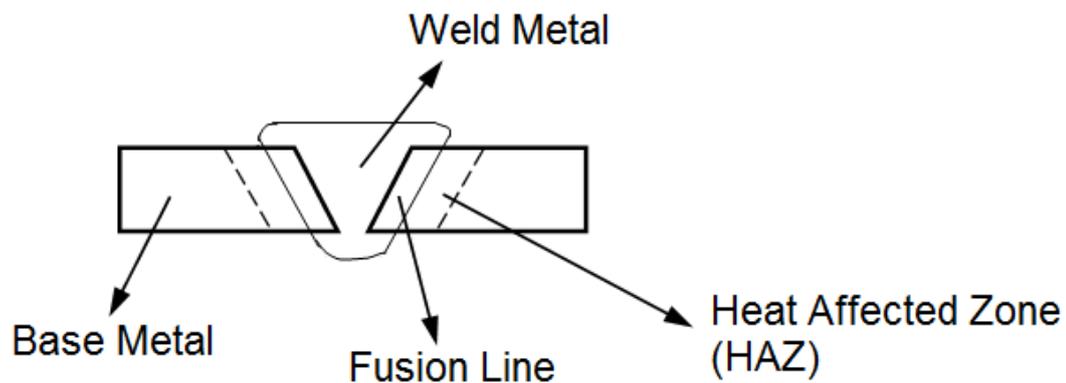
L = Panjang batang uji yang dibeban

Material las terbagi menjadi tiga daerah yaitu daerah logam induk, daerah antara pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) dan logam lasan, serta daerah logam lasan itu sendiri. Logam induk adalah bagian logam dasar yang tidak terpengaruh oleh panas dan suhu pengelasan, sehingga tidak menyebabkan perubahan struktur mikro karena panas yang disebabkan oleh proses pengelasan. Kemudian yang dimaksud dengan daerah HAZ atau *Heat Affected Zone* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam lasan, yang pada saat proses pengelasan berlangsung, daerah ini terpengaruh panas yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Sedangkan

¹³ *Ibid.*, Hal. 181.

¹⁴ *Ibid.*, Hal. 181.

logam lasan adalah bagian logam yang mencair dan kemudian membeku pada saat proses pengelasan berlangsung.



Gambar 2.5 Penunjuk Bagian Terkena Panas

Base metal adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut. Heat affected zone (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Weld metal adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Fusion line adalah daerah yang mengalami peleburan dan yang tidak melebur. Daerah ini sangat tipis sekali sehingga dinamakan garis gabungan antara weld metal dan HAZ.

2.9. Pengujian Kekerasan

Metode pengujian kekerasan didenifikasikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban penetrasi atau penekanan. Ketika suatu benda yang akan diuji diberi gaya tertentu dengan mendapat pengaruh pembebanan, benda uji akan mengalami deformasi¹⁵.

Dengan kata lain, besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan adalah hasil nilai dari tingkat kekerasan. Sebelum kita melakukan pengujian untuk kekerasan, kita juga harus mempertimbangkan material dasar untuk spesimen uji keras. Apakah material atau bahan spesimen uji keras tergolong material keras atau lunak. Untuk pengujian kekerasan lebih baik menggunakan bahan dengan tingkat kekerasan yang tinggi, karena pada umumnya logam dengan tingkat kekerasan yang tinggi lebih kuat daripada logam yang lunak.

Tetapi sifat untuk logam dengan tingkat kekerasan yang tinggi cenderung lebih rapuh. Berbeda dengan logam dengan tingkat kekerasan yang rendah atau sering disebut dengan logam lunak yang memiliki sifat lebih ulet dan elastis. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan, bergantung pada penggunaan atau manfaat digunakan untuk apa nanti setelah pengujian.

Setelah kita mengetahui nilai dari tingkat kekerasan dari suatu bahan. Nilai kekerasan yang tinggi dari suatu bahan tidak menjamin untuk nantinya bahan tersebut dapat menerima beban atau memiliki kekuatan yang tinggi pula dalam aplikasi proses permesinan. Karena tingkat kekerasan yang tinggi cenderung

¹⁵ Hardi Sudjana, *Pengujian Logam*, (Bandung: Humaniora Utama Press, 1999), Hal. 13.

getas, maka untuk menerima pembebanan terkait dengan kekuatan atau ketahanan untuk menerima beban.



Gambar 2.6. Alat Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada prinsipnya adalah menekankan penekan tertentu terhadap spesimen benda uji dengan beban tertentu kemudian dilakukan pengukuran pada bekas penekanan yang terbentuk di atasnya. Pada umumnya pengujian kekerasan ada tiga (3) jenis yaitu pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell*, pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* serta pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*.

Semua jenis metode pengujian tentunya memiliki keunggulan dan kelemahan. Perbedaan yang mendasar dari ketiga metode pengujian kekerasan adalah pada penentuan angka kekerasan yang disepakati untuk dijadikan tolak ukur. Misalnya untuk pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* dan metode pengujian *Vickers* yang menggunakan prinsip pada perhitungan kekuatan bahan

terhadap pembebanan setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan.

Kemudian untuk pengujian kekerasan dengan metode Rockwell menggunakan prinsip kedalaman hasil penekanan alat penekan atau *identor* yang membentuk bekas pada benda uji. Karena perbedaan untuk setiap metode pengujian kekerasan maka satuan untuk hasil tingkat dari kekerasan sebuah benda uji juga berbeda-beda. Maka dari itu semua metode pengujian kekerasan mempunyai satuan sendiri-sendiri sesuai proses penekanannya yang sudah mendapat pengakuan dari Standar Internasional.

Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode Vickers, yaitu:

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \dots\dots\dots(2.3.)^{16}$$

$$HV = \frac{F \sin 136^\circ / 2}{d^2 / 2} \dots\dots\dots(2.4.)$$

$$HV = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(2.5.)$$

Keterangan :

HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = Diagonal (mm)

Untuk pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* digunakan penekan intan berbentuk piramida yang diberi beban 1-120 kg, tergantung pada kekerasan

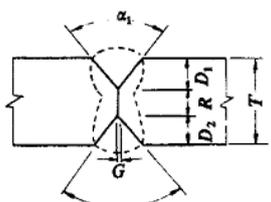
¹⁶ B.H. Amstead, dkk., *Op. Cit.*, Hal. 30.

dan ketebalan benda. Jarak diukur dan dengan rumus tertentu dapat dihitung nilai kekerasan *Vickers*¹⁷.

Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas penekanan (Injakan) dari penekan (identor) / (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$.

2.10. Pemilihan Kampuh atau Sambungan Las

Jenis kampuh atau sambungan dalam pengelasan beraneka ragam, tergantung dari bentuk, posisi, dan fungsi dari benda itu sendiri. Untuk spesimen yang tidak membutuhkan keseimbangan yang tinggi cukup menggunakan kampuh V ganda atau kampuh X. Contohnya pada spesimen pengujian tarik. Pada kampuh V ganda atau bisa jga disebut dengan kampuh X biasanya menggunakan sudut 30° - 45° .

SC-BX-2		≤ 50	F	G	0
				D_1	$\frac{T-R}{2}$
				R	6-8
				D_2	$\frac{T-R}{2}$
				α_1	$60^\circ-90^\circ$
				α_2	$60^\circ-90^\circ$

Gambar 2.7. Dimensi Kampuh V Ganda¹⁸

2.11. Polaritas Pada Pengelasan

Polaritas adalah pemisahan muatan listrik yang mengarah ke molekul yang memiliki momen. Polaritas molekul tergantung pada perbedaan elektronegativitas

¹⁷ B.H. Amstead, dkk., *Teknologi Mekanik*, (Jakarta: Erlangga, 1997), Hal. 30.

¹⁸ Wiryosumarto dan Okumura, *Loc. Cit.*, Hal. 404.

antara atom-atom dalam satuan senyawa dan struktur senyawa yang tidak simetris.

Dalam pengelasan yang mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas, arus yang dipergunakan berupa arus bolak balik (AC) dan arus searah (DC). Dalam polaritas bolak balik, maka polaritas tidak dapat masalah. Lain halnya dengan arus searah, penggunaan polaritas harus benar-benar diperhatikan. Polaritas arus AC berpindah dari positif (+) ke negatif (-) dan dari negatif (-) ke positif (+) secara menerus.

Terdapat dua jenis polaritas searah, yakni *straight polarity* (-) dan *reverse polarity* (+). Yang dimaksud dengan *straight polarity* adalah ketika tangki elektroda dihubungkan dengan terminal negatif (-), sedangkan tangki penjempit untuk benda kerja terhubung dengan terminal positif (+). Dengan polaritas ini elektron mengalir dari dari elektroda ke benda kerja.

Pada *reverse polarity* (DCEP) tangki penghubungan dengan terminal positif (+), dan tangki penjempit untuk benda kerja dihubungkan dengan terminal (-). Pada polaritas ini elektron mengalir dari benda kerja ke elektroda.

2.12. Kerangka Berfikir

Pengelasan pada saat ini adalah salah satu cara yang paling banyak digunakan untuk menyambung logam. Proses pengelasan mempunyai banyak dampak yang dapat mempengaruhi sifat mekanis seperti kekuatan dan keuletan bahan tersebut. Hal ini terjadi karena proses pengelasan meninggalkan tegangan sisa. Oleh karena itu setelah proses pengelasan dilakukan proses perlakuan panas dan dipilih perlakuan panas PWHT agar dapat memperoleh hasil pengelasan dapat maksimal.

Dari pengujian ini akan mendapatkan hasil dari proses polaritas non PWHT AC dan DC+ dan polaritas PWHT AC dan DC+ terhadap kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon rendah sambungan SMAW.

2.13. Penelitian Yang Relevan

Penelitian tentang pengelasan diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Bayu Tarmizi pada tahun 2017 yang membahas tentang pengaruh polaritas terhadap kekerasan pada sambungan las dengan metode GMAW pada material baja karbon rendah ASTM A-36. Penelitian yang dilakukan oleh Bayu, menggunakan metode GMAW dengan polaritas AC dan polaritas DCEN serta polaritas DCEP.

Dari kesimpulan penelitian ini disebutkan bahwa pengelasan GMAW pada ASTM A-36 dengan polaritas AC memiliki kekerasan tertinggi dan kekerasan terendah ditemukan pada material ASTM A-36 dengan polaritas DCEN¹⁹.

¹⁹ Bayu Tarmizi, *Pengaruh polaritas terhadap kekerasan pada sambungan las dengan metode GMAW pada material baja karbon rendah seri ASTM A-36*, (Jakarta, Universitas Negeri Jakarta, 2017).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tujuan Operasional Penelitian

Berdasarkan pada masalah-masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi dan data untuk mengetahui pengaruh PWHT terhadap sifat mekanik baja karbon rendah sambungan SMAW.

3.2. Metode Penelitian

Dalam kegiatan penelitian ini, metode penelitian digunakan sebagai pertanggung jawaban hasil penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen. Metode eksperimen adalah prosedur penelitian yang dilakukan untuk mengungkapkan sebab akibat antara variabel bebas dan terikat.

Metode eksperimen yang dilakukan adalah adalah meneliti pengaruh PWHT pada suhu 450°C dengan waktu penahanan 70 menit terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon rendah yang didapat dari pengujian sifat mekanik dengan melihat perubahan pada perlakuan panas yang dilakukan tersebut.

Kemudian juga dilakukan pengaruh PWHT pada suhu 450°C dengan waktu penahanan 70 menit terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon rendah yang didapat dari pengujian sifat mekanik dengan melihat perubahan pada perlakuan panas yang dilakukan tersebut.

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2017 sampai dengan selesai, tempat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik – Universitas Negeri Jakarta.
2. Proses pembuatan kampuh X dilaksanakan di Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik – Universitas Negeri Jakarta.
3. Pembuatan spesimen uji tarik dan spesimen uji kekerasan di Laboratorium Produksi Politeknik Manufaktur Astra, Sunter - Jakarta.
4. Perlakuan panas *Post Weld Heat Treatment* dilakukan di Laboratorium Fisika MIPA Universitas Indonesia, Depok.
5. Pengujian Kekuatan Tarik dilakukan di Laboratorium Unit Industri Bahan dan Barang Teknik DKI Jakarta.
6. Pengujian Kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

3.4. Peralatan Penelitian

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

1. Mesin las listrik AC BXI-250-2 tegangan 380/220V
2. Mesin las listrik DC FRO BF 443 tegangan 400/230V
3. Tang 1 dan Palu Terak 1
4. Jangka sorong manual (Mitutoyo 150mm/0,05mm)
5. Bevel Protector (SCHUT 0-180⁰)
6. Alat uji tarik merk amsler kapasitas maks 40.000 kgf

7. Alat uji kekerasan vikers hardness tester FV-300e maks 15 kg

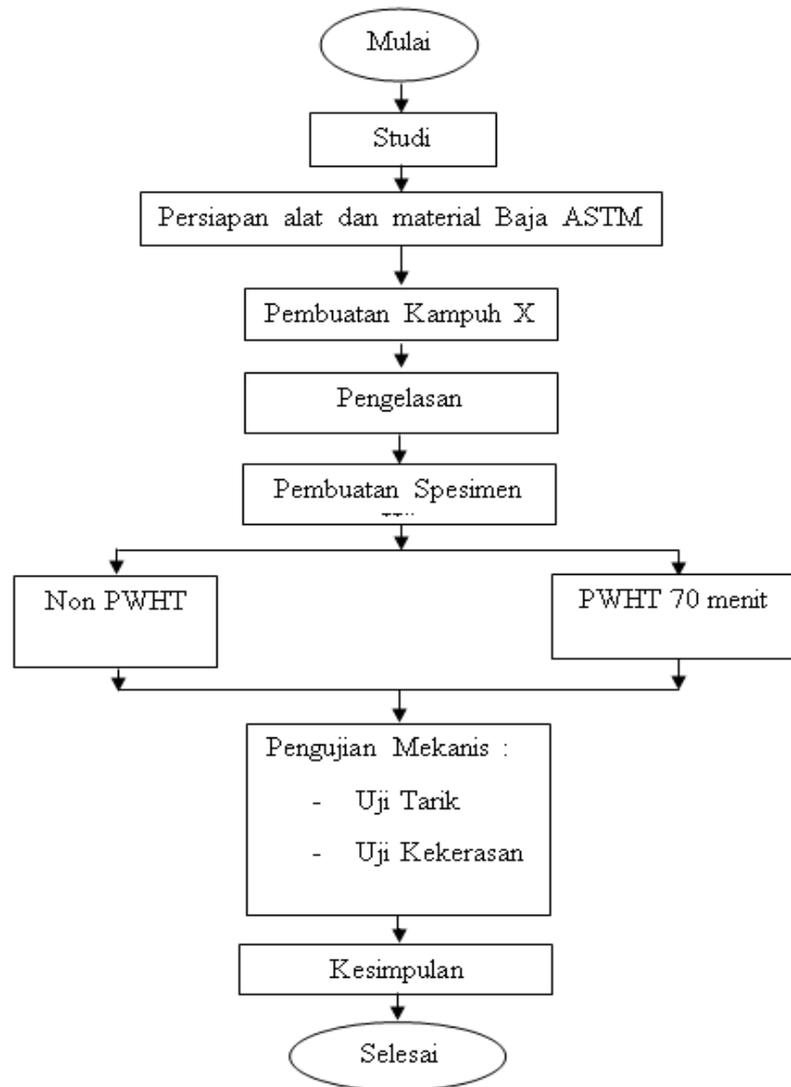
3.5. Bahan Penelitian

Adapun beberapa bahan yang dibutuhkan untuk menunjang pelaksanaan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah Ukuran 30cm x 10cm
2. Elektroda E-6013 diameter 2,6 mm
3. Elektroda E-6013 diameter 3,2 mm

3.6. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan mengenai prosedur penelitian dijelaskan dalam bentuk skema seperti terlihat pada gambar:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.7. Uraian Prosedur Penelitian

Uraian prosedur penelitian ini mengikuti rencana pada diagram alir penelitian. Dimana tahapan-tahapan yang harus dilalui mulai dari memilih kampuh sampai proses pengujian. Pertama yang harus dilakukan adalah memilih baja karbon rendah (0,05-0,30% C).

Kemudian selanjutnya adalah membuat kampuh X. Pembuatan kampuh X dilakukan menggunakan gerinda tangan dengan sudut kampuh sebesar 60°.



Gambar 3.2. Pembuatan kampuh X

Langkah selanjutnya yaitu melakukan proses pengelasan ,dimana yang dipilih ialah proses pengelasan jenis SMAW. Dalam proses pengelasan SMAW, yang pertama dilakukan adalah pemilihan arus yang tepat. Kemudian, tempatkan pelat kampuh X sejajar dan diberikan jarak sebesar satu diameter elektroda.



Gambar 3.3. Proses Pengelasan

Langkah selanjutnya adalah memotong mendekati ukuran spesimen pengujian dengan *cutting gas*.



Gambar 3.4. Proses Pemotongan

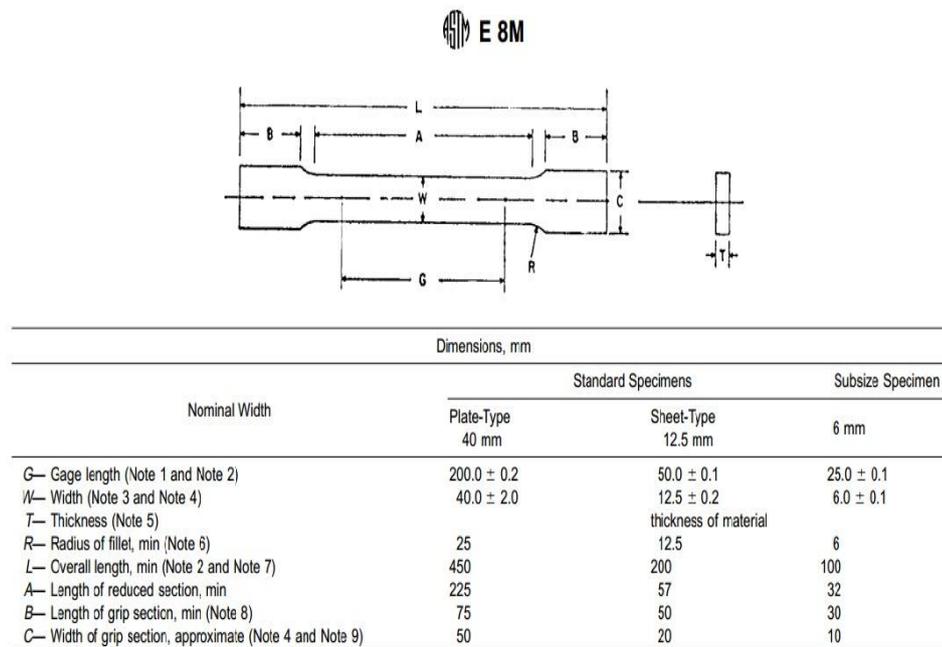
Pemotongan pelat hasil pengelasan kemudian dipotong dengan rincian sebagai berikut:

- a. Spesimen yang akan dibuat sebanyak 16 variasi sampel dengan PWHT 70 menit waktu penahanan.
- b. Untuk pengujian tarik sebanyak 12 pengujian Keras dengan 4 spesimen dengan tiga penusukan di *base metal* dan *weld metal* di masing-masing spesimen.
- c. Untuk masing-masing pengujian 8 dengan tidak dilakukan perlakuan panas sebanyak spesimen.
- d. Masing-masing pengujian mekanik sebanyak 3 spesimen yaitu:
 1. Proses Persiapan Sampel
 - a. Pembuatan kampuh X dilakukan dengan menggunakan mesin frais dengan sudut kampuh 60° . Kemudian pengelasan dengan SMAW.
 - b. Baja awal hasil pengelasan SMAW adalah 30cm x 10cm dengan ketebalan 1cm.

2. Proses Pembuatan Spesimen

a. Proses Pembuatan Spesimen Uji Tarik

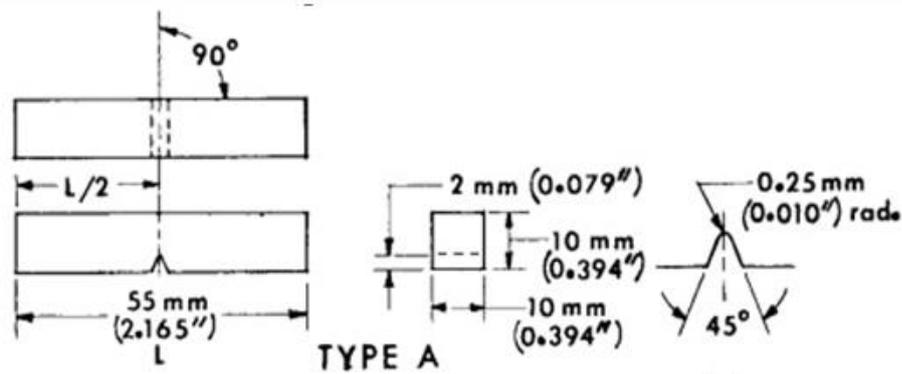
Baja hasil lasan dengan panjang awal 30cm x 10cm dengan ketebalan 1 cm, dipotong vertikal menjadi 12 bagian dengan ukuran masing-masing 3cm x 10cm dengan ketebalan 10mm dengan menggunakan mesin gergaji potong. Setelah itu baru dibuat spesimen uji tarik dengan ukuran yang sesuai dengan standar ASTM E-8 *type* 12,5 mm menggunakan mesin frais.



Gambar 3.5. ASTM E-8



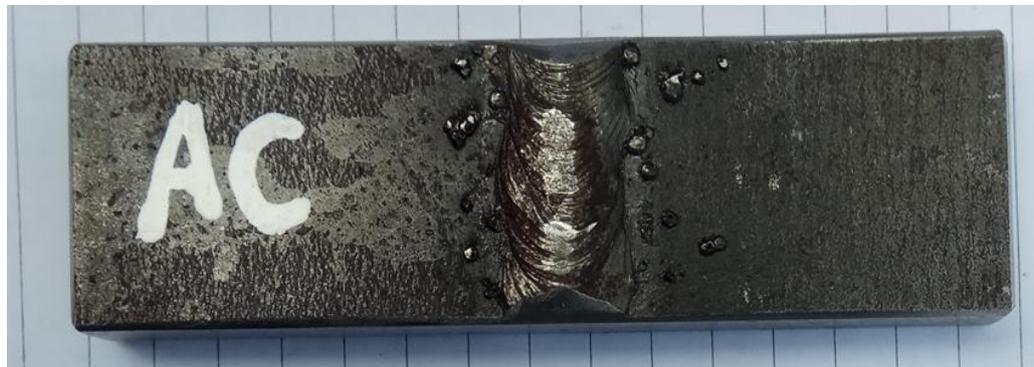
Gambar 3.6. Spesimen Pengujian Tarik



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$90 \pm 2^\circ$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross-section dimensions	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Length of specimen (L)	$+0, -2.5 \text{ mm } (+0, -0.100 \text{ in.})$
Centering of notch (L/2)	$\pm 1 \text{ mm } (\pm 0.039 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth:	
Type A specimen	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Types B and C specimen	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (63 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

Gambar 3.7. ASTM E-23



Gambar 3.8. Spesimen Pengujian Kekerasan

b. Proses Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan

Baja hasil lasan dengan panjang awal 30cm x 10cm dengan ketebalan 1 cm, dipotong vertikal menjadi 4 bagian dengan ukuran masing-masing 3cm x 10cm dengan ketebalan 10mm dengan menggunakan mesin gergaji potong.

- c. Beban yang digunakan untuk kekerasan adalah 5 kg

Sebelum melakukan proses perlakuan panas, terlebih dahulu oven pemanas diperiksa. Setelah oven dalam keadaan baik, kemudian langkah-langkah berikutnya adalah:

- a. Menyiapkan spesimen uji sebanyak 8 buah untuk dilakukan proses PWHT selama 70 menit.
- b. Memasukan spesimen untuk perlakuan pertama ke dalam oven hingga mencapai suhu 450° selama 70 menit.
- c. Spesimen yang telah melalui proses PWHT dipisahkan sesuai pengujian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan Visual Hasil Pengelasan

Setelah dilakukan proses pengelasan untuk mengetahui cacat pengelasan, maka dilakukan pemeriksaan secara visual dengan mengamati hasil pengelasan pada permukaan material yang telah di las. Adapun beragam hasil yang cacat pada proses pengelasan yang telah dilakukan dengan cara pemeriksaan visual yaitu sebagai berikut:

4.1.1. Hasil Pengelasan Material AC



Gambar 4.1. Pengelasan AC

Pada material hasil pengelasan dengan AC terdapat beberapa cacat-cacat pengelasan. Pada gambar diatas menunjukkan cacat yang disebut dengan *spatters* atau percikan pada proses pengelasan. Penyebab cacat pada hasil pengelasan disebutkan adalah sebagai berikut:

- a. Lingkungan yang basah atau lembab,
- b. Elektroda yang lembab,
- c. Angin masuk ke kolam las,
- d. Penggunaan arus yang kurang sesuai.

Terjadinya cacat tersebut dapat menyebabkan pengkaratan atau korosi pada permukaan, yang tentunya akan mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Menanggulangi cacat pengelasan *spatters* ini dengan cara mengikir hingga merata pada permukaan material. Namun tidak disarankan menghilangkan cacat las *spatters* ini menggunakan gerinda, karena dapat mengenai permukaan material dasar.

4.1.2. Hasil Pengelasan Material DC+



Gambar 4.2. Pengelasan DC+

Pada pelat sambungan sisi A material DC+ hasil proses pengelasan untuk material yang akan dilakukan proses DC+ terdapat beberapa cacat-cacat pengelasan. Diantaranya cacat las yang ditunjukkan pada gambar diatas

menunjukkan cacat las yang disebut dengan *spatters* percikan las. Penyebab cacat las *Spatters* ini diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Lingkungan yang basah atau lembab,
- b. Elektroda yang lembab,
- c. Angin masuk ke kolam las,
- d. Penggunaan arus yang kurang sesuai.

Cacat las *spatters* ini dapat menjadi awal dari proses pengkaratan permukaan, yang tentunya mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Cara menanggulangi cacat las *spatters* ini adalah dengan mengikir hingga merata dengan permukaan material dasar las. Namun tidak disarankan menghilangkan cacat las *spatters* ini menggunakan gerinda, karena jika tidak berhati-hati akan mengenai permukaan material dasar.

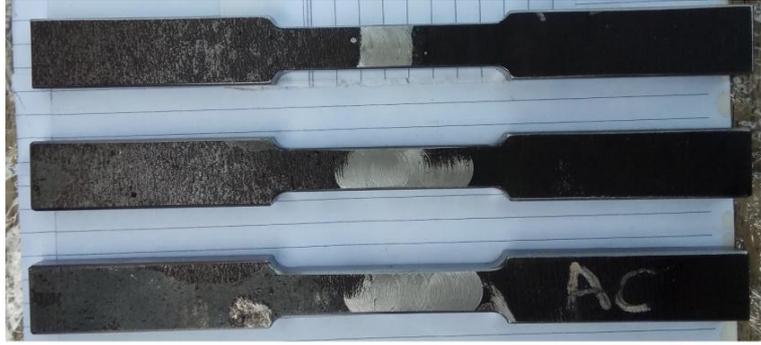
4.2. Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Dalam proses pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini menggunakan 12 spesimen, yaitu 3 spesimen non PWHT AC, 3 spesimen non PWHT DC+, 3 spesimen PWHT AC dan 3 spesimen PWHT DC+.

4.2.1. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik

1. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik PWHT AC

Pada spesimen hasil pengujian kekuatan tarik dengan dilakukan xfgproses PWHT AC adalah seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.3. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik PWHT AC

2. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik *Non* PWHT AC

Pada spesimen hasil pengujian kekuatan tarik dengan dilakukan proses *Non* PWHT AC adalah seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.4. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik *Non* PWHT AC

3. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik *PWHT* DC+

Pada spesimen hasil pengujian kekuatan tarik dengan dilakukan proses *PWHT* DC+ adalah seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.5. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik *PWHT DC+*

4. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Non *PWHT DC+*

Pada spesimen hasil pengujian kekuatan tarik dengan dilakukan proses *Non PWHT DC+* adalah seperti gambar di bawah ini:



Gambar 4.6. Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik *Non PWHT DC+*

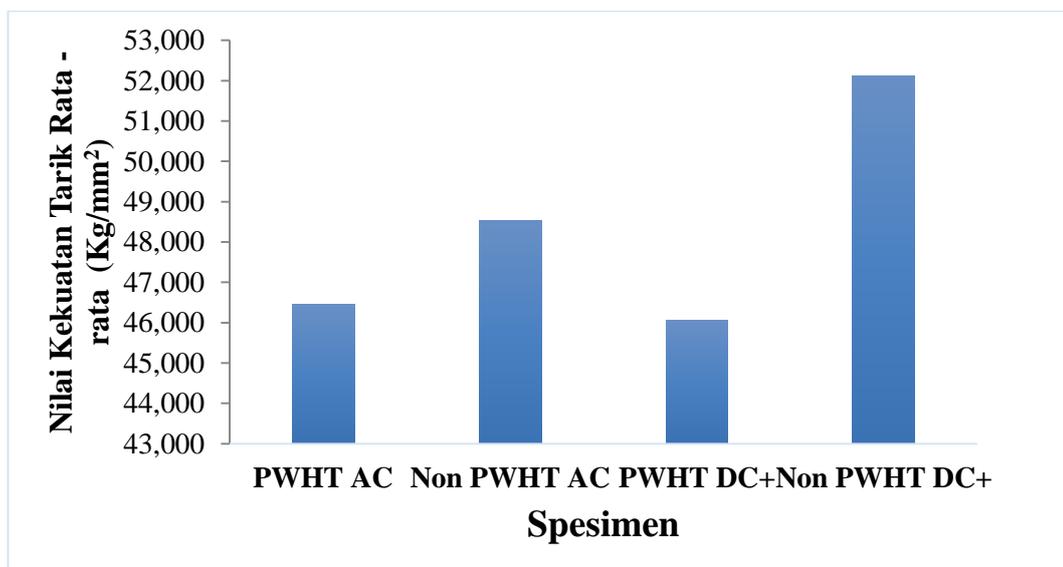
4.2.2. Pengujian Tarik

Pada penelitian ini tujuan utama yang ingin dicapai yaitu mengetahui adanya pengaruh pada kekuatan tarik material baja karbon rendah yang telah mengalami proses SMAW yang dilanjutkan dengan PWHT. Diketahui hasil pengujian kekuatan tarik pada masing-masing spesimen seperti tabel di bawah ini:

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

No	Perlakuan Panas	Spesimen	Maximum Load (Kg)	Tensile Strength (Kg/mm ²)	Rata-rata Tensile Strength (Kg/mm ²)
1	PWHT AC	1	6011.9	46.503	46.451
		2	5512.9	42.576	
		3	6312.9	50.275	
2	Non PWHT AC	1	6432.8	52.313	48.544
		2	5085.1	40.784	
		3	6431.7	52.534	
3	PWHT DC+	1	5005.9	39.835	46.071
		2	6566.3	51.192	
		3	5932.7	47.186	
4	Non PWHT DC+	1	6637.6	53.601	52.127
		2	5690.1	47.934	
		3	6772.3	54.847	

Dari table di atas hasil *tensile strength* di dapatkan dari perhitungan menggunakan rumus *tensile strength*, dengan cara membagi *maximum total load* dengan luas penampang awal, maka di dapatkan hasil *tensile strength* sebagai berikut:

Gambar 4.7. Grafik Rata - rata Pengujian Tarik Untuk *Tensile Strength*

Dalam hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan PWHT AC mendapatkan hasil rata-rata *Tensile Strength* dengan nilai sebesar 46.451 Kgf/mm². Lebih kecil jika dibandingkan dengan dengan *Tensile Strength* hasil pengelasan yang tidak dilakukan perlakuan Non PWHT AC dengan nilai sebesar 48.544 Kgf/mm².

Sedangkan hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan PWHT DC+ yang mendapatkan hasil rata-rata *Tensile Strength* dengan nilai sebesar 46,071 Kgf/mm² yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan Non PWHT DC+ yang mendapatkan hasil *Tensile Strength* dengan nilai sebesar 52.127 Kgf/mm².

Dari hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang tidak dilakukan perlakuan panas yang mendapatkan hasil rata-rata *Tensile Strength* yang nilainya tertinggi pada spesimen hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang tidak perlakuan panas Non PWHT AC dengan nilai sebesar 48,544 Kgf/mm² dan Non PWHT DC+ dengan nilai sebesar 52.127 Kgf/mm². Lalu turun pada spesimen hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan PWHT AC dengan nilai sebesar 46,451 Kgf/mm² dan PWHT DC+ dengan nilai sebesar 46.071 Kgf/mm².

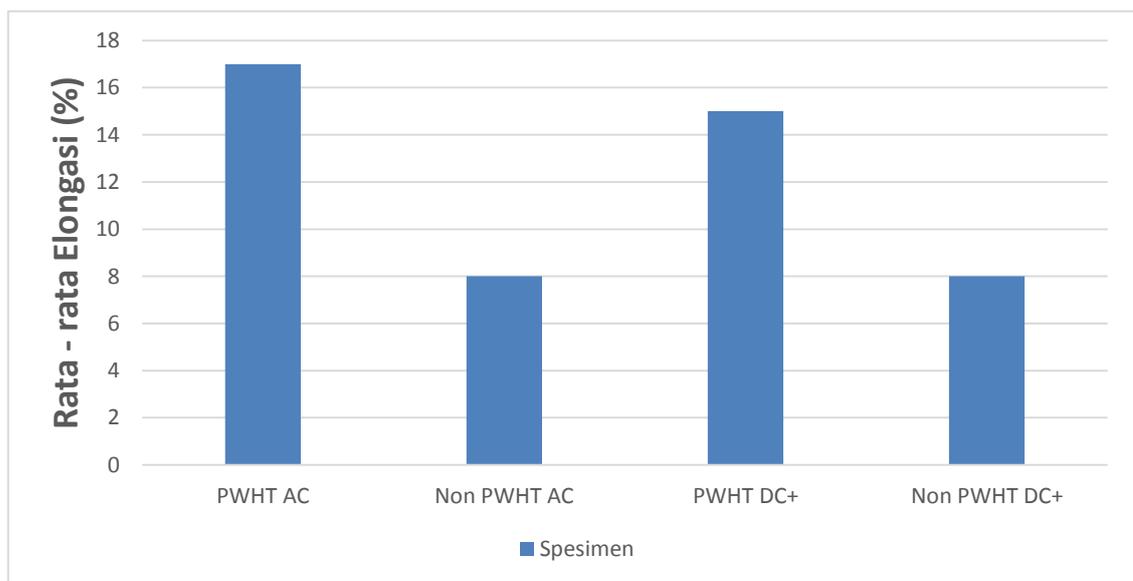
Jadi hasil *Tensile Strength* maksimum pada kampuh V ganda atau kampuh X, sambungan SMAW pelat baja karbon rendah ASTM A36 yang dilakukan perlakuan PWHT dan Non PWHT dengan diameter 10 mm memiliki hasil *Tensile Strength* maksimal pada spesimen yang tidak

dilakukan perlakuan panas Non PWHT DC+ dengan nilai sebesar 52.127 Kgf/ mm².

Tabel. 4.2. Hasil Elongasi

No	Perlakuan Panas	Spesimen	Maximum Load (Kg)	Elongasi %	Rata-Rata Elongasi %
1	PWHT AC	1	6011.9	0.06 %	17%
		2	6312.9	0.25 %	
		3	5512.9	0.21 %	
2	Non PWHT AC	1	6432.8	0.03 %	8 %
		2	6431.7	0.05 %	
		3	5085.1	0.18 %	
3	PWHT DC+	1	6566.3	0.21 %	15 %
		2	5932.7	0.16 %	
		3	5005.9	0.10 %	
4	Non PWHT DC+	1	6772.3	0.06 %	8 %
		2	6690.6	0.05 %	
		3	5690.3	0.13 %	

Dari tabel diatas hasil elongation didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus *tensile strength*, dengan cara membagi maximum load dengan luas penampang akhir, maka didapatkan hasil elongation sebagai berikut:



Gambar 4.8 Grafik Rata - rata Nilai Elongasi

Dalam hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan panas PWHT AC mendapatkan hasil rata-rata Elongation dengan nilai 17 % lebih kecil jika dibandingkan dengan dengan Elongation hasil pengelasan yang tidak dilakukan perlakuan panas Non PWHT AC dengan nilai 8 %.

Sedangkan hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan panas PWHT DC+ yang mendapatkan hasil rata-rata Elongation dengan nilai 15 % lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pengujian tarik hasil pengelasan yang tidak dilakukan perlakuan panas Non PWHT DC+ yang mendapatkan hasil Elongation dengan nilai 8 %.

Dari hasil elongation hasil pengelasan yang perlakuan panas yang mendapatkan hasil rata-rata Elongation yang nilainya % tertinggi pada spesimen hasil elongation hasil pengelasan PWHT AC dengan nilai 17 % dan PWHT DC+ dengan nilai 15%. Lalu turun pada spesimen hasil elongation hasil pengelasan yang dilakukan perlakuan Non PWHT AC dengan nilai 8 % dan Non PWHT DC+ dengan nilai 8 %.

Jadi hasil Elongation maksimum pada kampuh V ganda atau kampuh X, sambungan SMAW pelat baja karbon renda yang dilakukan perlakuan panas PWHT dan Non PWHT dengan diameter 10 mm memiliki hasil Elongation maksimal pada spesimen yang dilakukan perlakuan panas PWHT AC dengan nilai 17 %.

4.3. Analisa Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan empat (4) spesimen. Dimana satu (1) spesimen uji keras untuk PWHT AC dan satu (1) untuk uji kekerasan spesimen Non PWHT AC. Yaitu satu (1) spesimen kekerasan untuk

PWHT DC+ dan satu (1) untuk spesimen Non PWHT DC+. Dimana pada masing masing-masing spesimen dilakukan lima (5) penusukan. Lima (5) penusukan dilakukan pada material dasar (*base metal*) dan Lima (5) penusukan dilakukan pada logam lasan (*Weld Metal*)

4.3.1. Spesimen Pengujian Kekerasan

1. Spesimen pengujian kekerasan PWHT AC

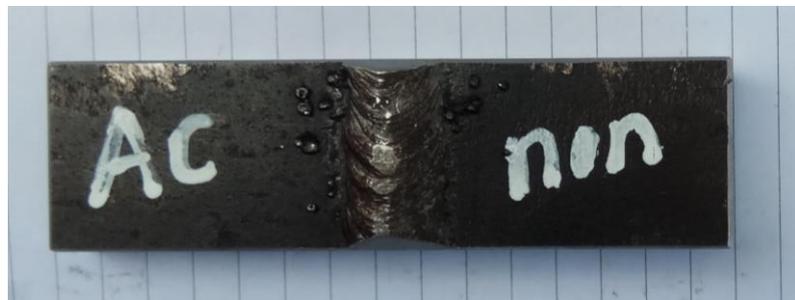
Spesimen pengujian kekerasan PWHT AC adalah seperti di bawah ini:



Gambar 4.9. Spesimen pengujian kekerasan PWHT AC

2. Spesimen pengujian kekerasan Non PWHT AC

Spesimen pengujian kekerasan Non PWHT AC adalah seperti di bawah ini:



Gambar 4.10. Spesimen pengujian kekerasan Non PWHT AC

3. Spesimen pengujian kekerasan PWHT DC+

Spesimen pengujian kekerasan PWHT DC+ adalah seperti di bawah ini:



Gambar 4.11. Spesimen pengujian kekerasan PWHT DC+

4. Spesimen pengujian kekerasan Non PWHT DC+

Spesimen pengujian kekerasan non PWHT DC+ adalah seperti di bawah ini:



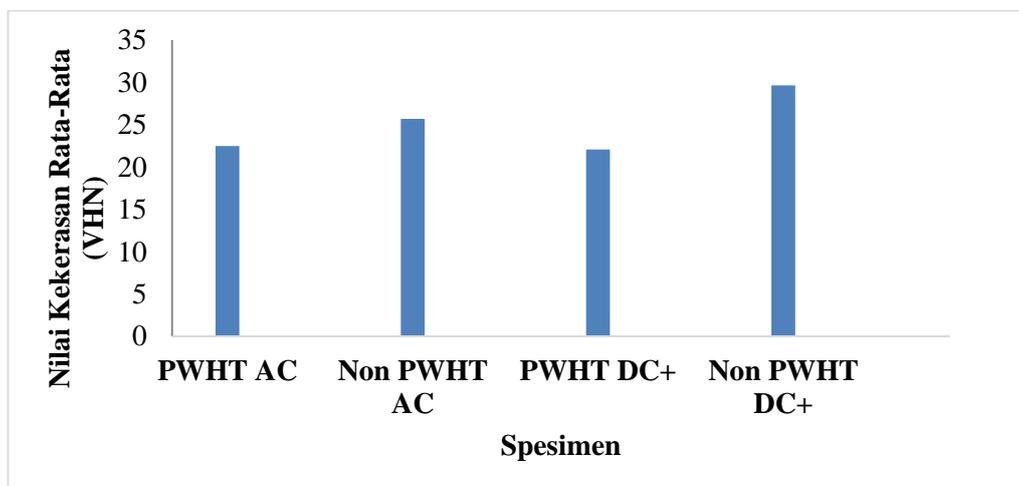
Gambar 4.12. Spesimen pengujian kekerasan Non *PWHT* DC+

4.3.2. Pengujian Kekerasan

Adapun hasil pengujian kekerasan pada material dasar (*Base Metal*) dengan hasil seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kekerasan (*Base Metal*)

No	Perlakuan	Posisi Titik Kekerasan (<i>BASE METAL</i>)	Nilai Kekerasan (VHN)	Rata-rata Nilai Kekerasan (VHN)
1	PWHT AC	1	21.4	22.5
		2	21.4	
		3	23.4	
		4	23.5	
		5	22.8	
2	Non PWHT AC	1	23.9	25.68
		2	24.9	
		3	27.8	
		4	24.7	
		5	27.1	
3	PWHT DC+	1	20.5	22.08
		2	24.1	
		3	23.3	
		4	20.8	
		5	21.7	
4	Non PWHT DC+	1	28.4	29.64
		2	31.7	
		3	31.6	
		4	29.6	
		5	26.9	



Gambar 4.13. Grafik Rata-rata Pengujian Kekerasan Pada *Base Metal*

Dari gambar 4.12 yaitu pada grafik rata-rata pengujian kekerasan untuk nilai kekerasan material pada material dasar (*base metal*) dapat dilihat bahwa pengelasan dengan kampuh V ganda atau kampuh X nilai kekerasan terendah ada pada spesimen yang PWHT DC+ dengan nilai 22.08 VHN dan untuk nilai uji kekerasan tertinggi ada pada spesimen yang Non PWHT DC+ dengan nilai 29.64 VHN.

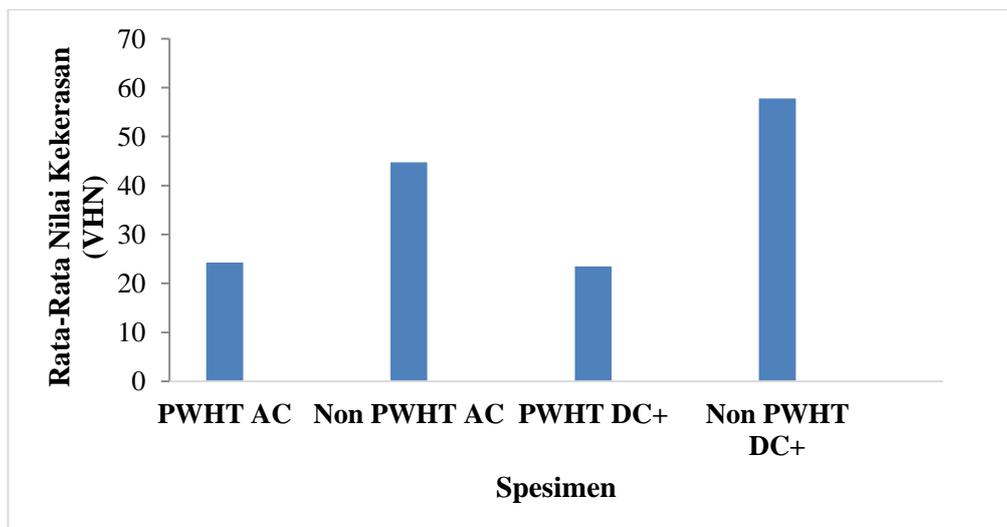
Dalam hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan yang Non PWHT AC mendapatkan hasil rata-rata nilai kekerasan dengan nilai sebesar 25.68 VHN. Lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai kekerasan hasil pengelasan yang PWHT AC nilai sebesar 22.50 VHN.

Sedangkan hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan yang PWHT DC+ hasil rata-rata sebesar 22.08 VHN yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan Non PWHT DC+ yang mendapatkan hasil nilai kekerasan dengan nilai sebesar 29.64 VHN.

Kemudian mengenai informasi hasil pengujian kekerasan pada material dasar (*weld metal*) yaitu pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kekerasan (*Weld Metal*)

No	Polaritas	Posisi Titik Kekerasan (<i>WELD METAL</i>)	Nilai (VHN)	Rata-rata Nilai Kekerasan (VHN)
1	PWHT AC	1	23.8	24.3
		2	23.8	
		3	24.4	
		4	22.5	
		5	27	
2	Non PWHT AC	1	49.2	44.72
		2	44.2	
		3	46.4	
		4	43.5	
		5	40.3	
3	PWHT DC+	1	24.8	23.46
		2	20	
		3	24	
		4	23.6	
		5	24.9	
4	Non PWHT DC+	1	61.1	57.78
		2	58.1	
		3	54	
		4	62.6	
		5	53.1	



Gambar 4.14. Grafik Rata-rata Pengujian Kekerasan pada *Weld Metal*

Dari gambar 4.13. yaitu pada grafik rata-rata pengujian kekerasan untuk nilai kekerasan material pada material dasar (*weld metal*) dapat dilihat bahwa pengelasan dengan kampuh X nilai kekerasan terendah ada pada spesimen PWHT DC+ dengan nilai 23.46 VHN dan untuk nilai uji kekerasan tertinggi ada pada spesimen yang dilakukan Non PWHT DC+ dengan nilai 57.78 VHN.

Dalam hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan PWHT AC mendapatkan hasil rata-rata nilai kekerasan dengan nilai sebesar 23.30 VHN. Lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kekerasan hasil pengelasan Non PWHT AC dengan nilai sebesar 44.72 VHN. Sedangkan hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan PWHT DC+ dengan hasil rata-rata sebesar 23.46 VHN yang lebih besar jika dibandingkan dengan hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan Non PWHT DC+ yang mendapatkan hasil nilai kekerasan dengan nilai sebesar 57.78 VHN.

Dari hasil pengujian kekerasan pada *weld metal* hasil pengelasan Non PWHT DC+ mendapatkan hasil rata-rata nilai kekerasan yang nilainya mulai naik pada spesimen hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan dengan nilai sebesar 57.78 VHN. Lalu nilainya menurun pada spesimen hasil pengujian kekerasan hasil pengelasan PWHT DC+ dengan nilai sebesar 23.46 VHN. Jadi hasil nilai kekerasan maksimum pada kampuh X, sambungan SMAW pelat baja karbon rendah ASTM A-36 yang spesimen dengan diameter 10 mm memiliki hasil nilai kekerasan maksimal pada spesimen Non WHT DC+ dengan nilai sebesar 57.78 VHN.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan bahwa Proses *post weld heat treatment* cenderung menurunkan nilai kekuatan dan kekerasan baja karbon rendah hasil SMAW, dan sebaliknya meningkatkan keuletan. Nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi terdapat pada Non PWHT DC+ sebesar 52.127 Kgf/mm² dan 57.78 VHN. Nilai keuletan tertinggi terdapat PWHT AC sebesar 17 %.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan agar memperoleh hasil yang maksimal, maka penulis menyarankan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut antara lain yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan jenis las dan kampuh pengelasan yang berbeda,
2. Perlu ketelitian serta kecermatan dalam mengerjakan setiap spesimen uji dengan operasi permesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- Sriwidharto. (1987). *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sumarto, H.W. (1979). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Daryanto, dkk. (2006). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Daryanto. (2013). *Teknik Las*. Bandung: Alfabeta.
- William, D., Callister J.R. (1985). *Materials Science and Engineering*. Singapore: State University of Utah.
- Sunari. (2007). *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: Ganeca Exact.
- Surdia, T. dan Shinroku. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sudjana, dkk. (1999). *Pengujian Logam*. Bandung: Humaniora Utama Press.
- Supardi, E., dkk. (1996). *Pengujian Logam*. Bandung: Angkasa.
- Amstead, B.H., dkk. (1997). *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Bayu Tarmizi. (2017). *Pengaruh Polaritas terhadap Kekerasan pada Sambungan Las Dengan Metode GMAW pada Material Baja Karbon Rendah Seri ASTM A-36*. Jakarta: Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Rusianto, Widi Widayat, Danang Dwi Saputro, (2012). *Pengaruh Variasi Suhu Post Weld Heat Treatment Annealing Terhadap Sifat mekanis Material Baja EMS-45 Dengan Metode Pengelasan Shielded Metal Arc Welding*. Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

LAMPIRAN 2. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 1 AC NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA
DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

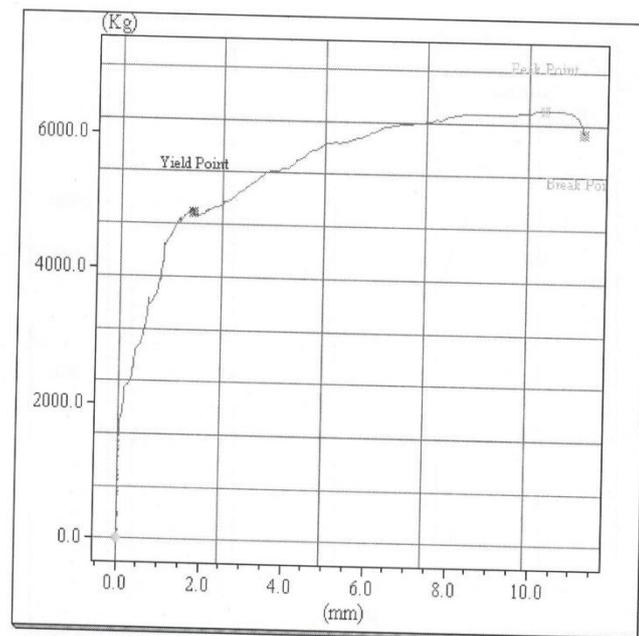
JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : AC NON TRITMEN

No.SPP : 1

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4839.604 (Kg)	39.412 (Kg/mm ²)	6423.8 (Kg)	52.313 (Kg/mm ²)	15.827 (%)	1.327 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 3. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 2 AC NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

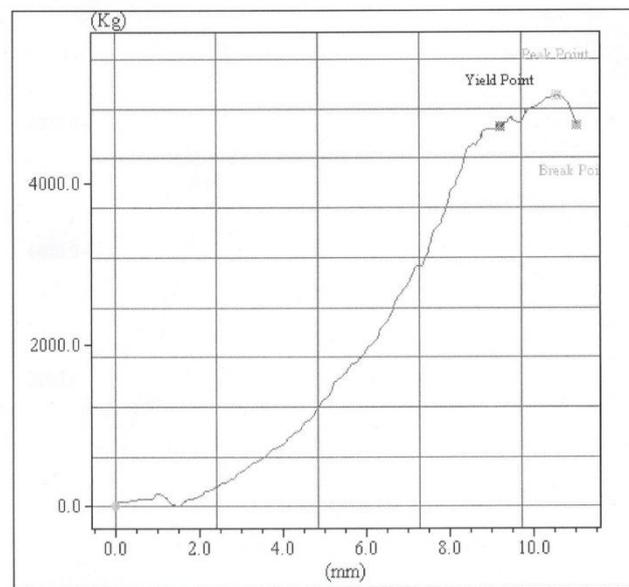
JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : AC NON TRITMEN

No.SPP : 2

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4704.951 (Kg)	37.735 (Kg/mm ²)	5085.1 (Kg)	40.784 (Kg/mm ²)	8.519 (%)	1.081 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 4. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 3 AC NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

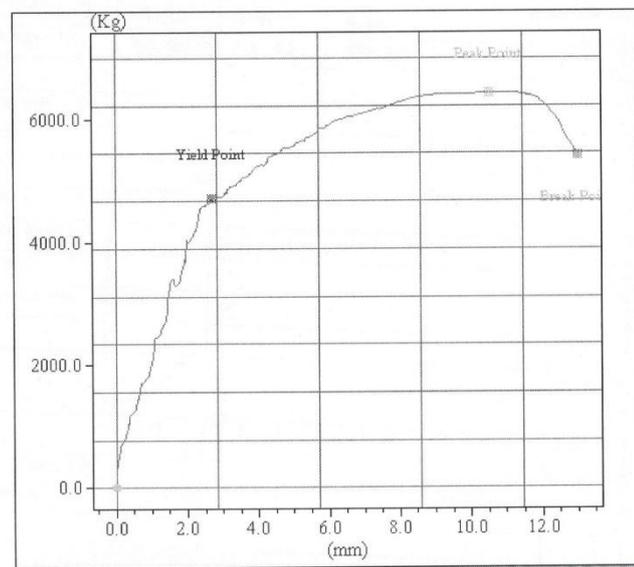
Jl. Let. Jen. Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : AC NON TRITMEN

No.SPP : 3

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4720.792 (Kg)	38.56 (Kg/mm ²)	6431.7 (Kg)	52.534 (Kg/mm ²)	18.543 (%)	1.362 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 5. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 1 AC PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

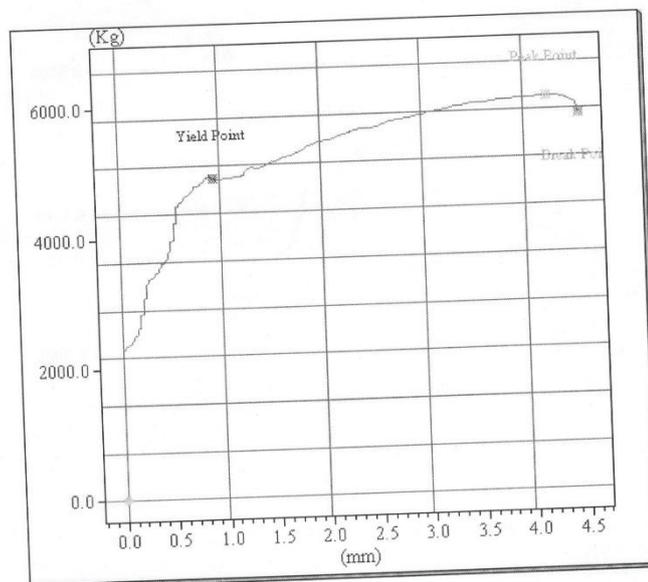
JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

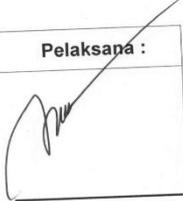
No. Rekaman Uji : AC TRITMEN

No.SPP : 1

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4895.049 (Kg)	37.864 (Kg/mm ²)	6011.9 (Kg)	46.503 (Kg/mm ²)	7.968 (%)	1.228 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 6. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 2 AC PWHT

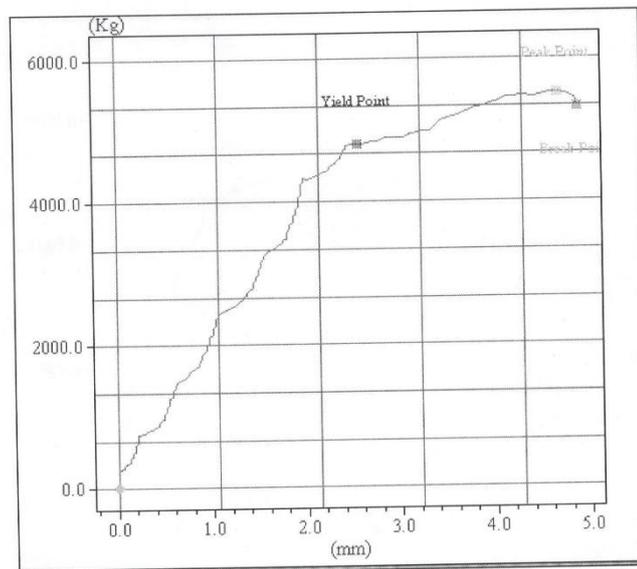
UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

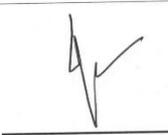
DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

Jl. Let. Jen. Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : AC TRITMEN
 No.SPP : 2
 Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4800 (Kg)	37.071 (Kg/mm ²)	5512.9 (Kg)	42.576 (Kg/mm ²)	7.018 (%)	1.149 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 7. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 3 AC PWHT

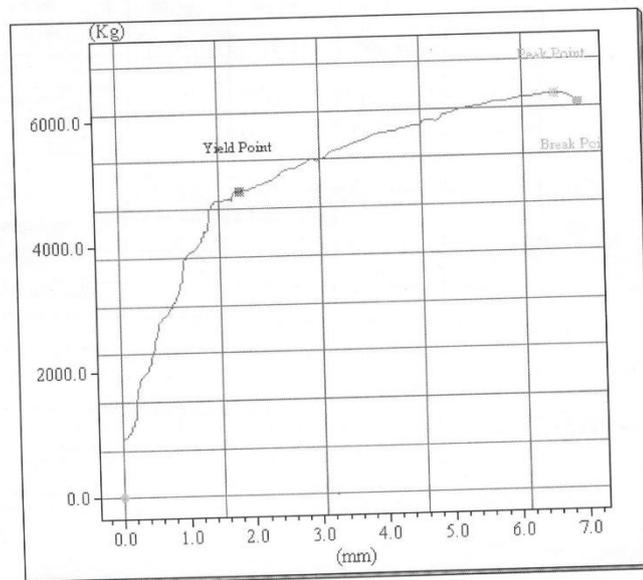
UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : AC TRITMEN
 No.SPP : 3
 Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4863.366 (Kg)	38.731 (Kg/mm ²)	6312.9 (Kg)	50.275 (Kg/mm ²)	13.082 (%)	1.298 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 8. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 1 DC+ NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

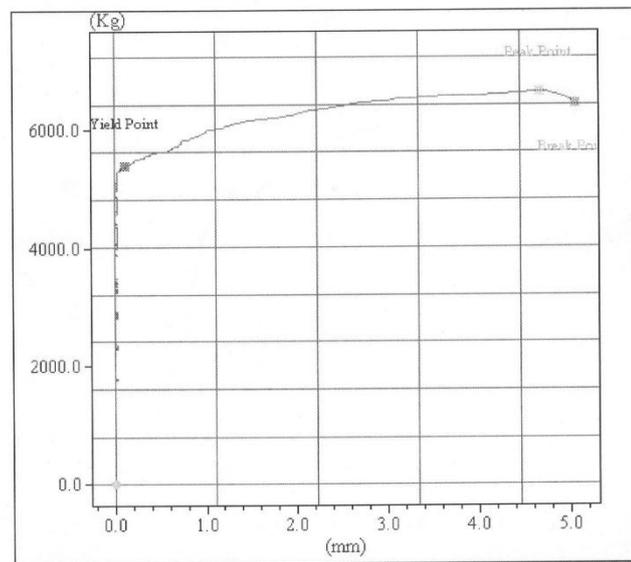
JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : DC+ NON TRITMEN

No.SPP : 1

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
5386.139 (Kg)	43.495 (Kg/mm ²)	6637.6 (Kg)	53.601 (Kg/mm ²)	12.918 (%)	1.232 (%)



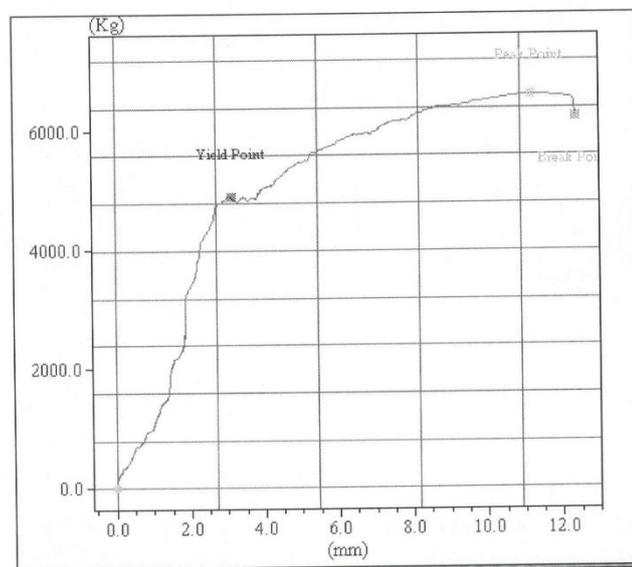
Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

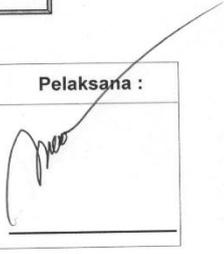
LAMPIRAN 9. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 2 DC+ NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA
 DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA
 JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : DC+ NON TRITMEN
 No.SPP : 2
 Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4887.129 (Kg)	35.547 (Kg/mm ²)	6590.1 (Kg)	47.934 (Kg/mm ²)	17.714 (%)	1.348 (%)



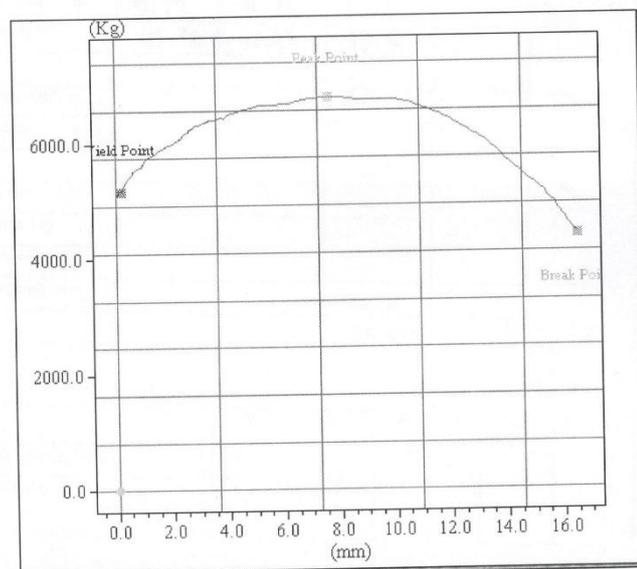
Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

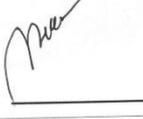
LAMPIRAN 10. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 3 DC+ NON PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA
DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA
Jl. Let. Jen. Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : DC+ NON TRITMEN
No. SPP : 3
Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
5156.436 (Kg)	41.759 (Kg/mm ²)	6772.3 (Kg)	54.845 (Kg/mm ²)	64,0% 29.585 (%) _g	1.313 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 11. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 1 DC+ PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA
DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

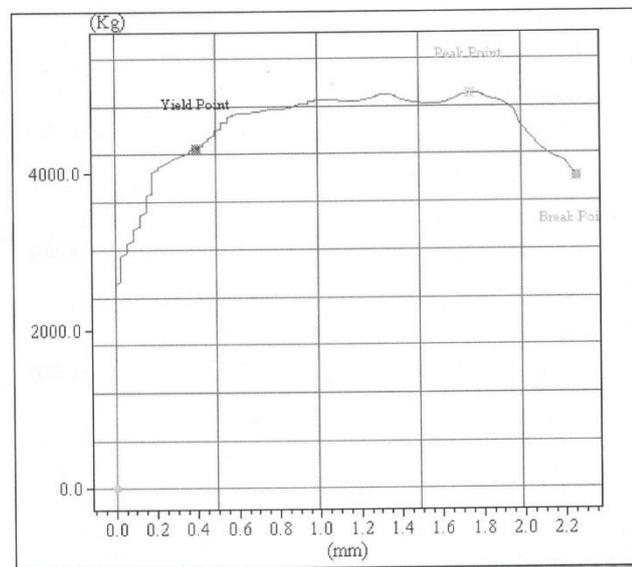
Jl. Let. Jen. Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

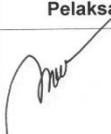
No. Rekaman Uji : DC+ TRITMEN

No.SPP : 1

Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4316.832 (Kg)	34.352 (Kg/mm ²)	5005.9 (Kg)	39.835 (Kg/mm ²)	3.473 (%)	1.16 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 12. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 2 DC+ PWHT

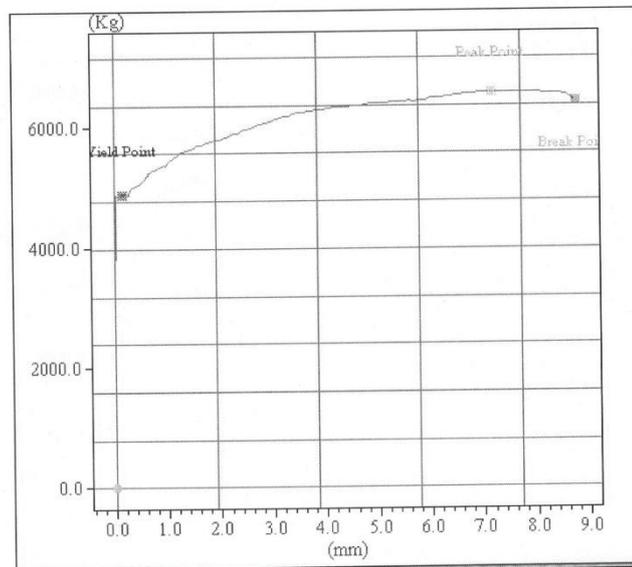
UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA

DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA

Jl. Let. Jen. Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : DC+ TRITMEN
 No.SPP : 2
 Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4887.129 (Kg)	38.1 (Kg/mm ²)	6566.3 (Kg)	51.192 (Kg/mm ²)	16.371 (%)	1.344 (%)



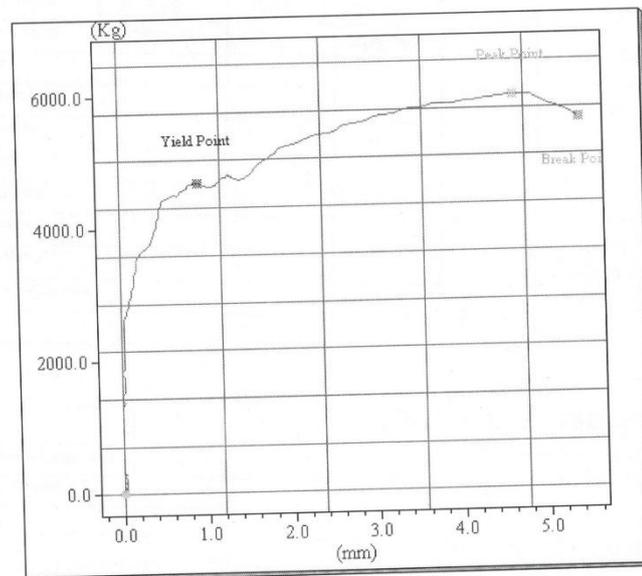
Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 13. HASIL PENGUJIAN TARIK SPESIMEN 3 DC+ PWHT

UNIT INDUSTRI BAHAN DAN BARANG TEKNIK (UIB2T) JAKARTA
 DINAS PERINDUSTRIAN DAN ENERGI DKI JAKARTA
 JL.Let.Jen.Suprpto - Cempaka Putih Telp. (021) 4209179

No. Rekaman Uji : DC+ TRITMEN
 No.SPP : 3
 Tanggal Pengujian : 23-November-2017

Yield point	Yield Strength	Max Load	Tensile Strength	Elongation	Ratio
4673.268 (Kg)	37.169 (Kg/mm ²)	5932.7 (Kg)	47.186 (Kg/mm ²)	14.147 (%)	1.269 (%)



Penanggung Jawab :	Disaksikan Oleh :	Pelaksana :
		

LAMPIRAN 14. HASIL SPESIMEN PENGUJIAN TARIK AC PWHT



LAMPIRAN 15. HASIL SPESIMEN PENGUJIAN TARIK AC NON PWHT



LAMPIRAN 16. HASIL SPESIMEN PENGUJIAN TARIK DC+ NON PWHT



LAMPIRAN 17. HASIL SPESIMEN PENGUJIAN TARIK DC+ PWHT



LAMPIRAN 18 LAMPIRAN 18. SERTIFIKAT WELDING INSPECTOR

 <p>PUSAT PENELITIAN ILMU MATERIAL (Research Center for Materials Science) UNIVERSITAS INDONESIA (University of Indonesia)</p>	
<p>SERTIFIKAT (CERTIFICATE) WELDING INSPECTOR</p>	
<p>Number : RCMS-UI-WI14126 Menangkan bahwa (This is to certify that)</p>	
<p>Nama (Name) : Ferry Budi Sisetyo</p>	<p>Tempat dan Tanggal lahir (Place and Birth Date) : Jakarta, 2 Februari 1982</p>
<p> Telah mengikuti Kursus Welding Inspector dari tanggal 9 Februari s.d. 21 Maret 2009 dan dinyatakan (Has successfully completed Welding Inspector Course from February 9 until March 21, 2009 and it is here by stated that :) LULUS dengan hasil SANGAT MEMUASKAN (Passed With VERY GOOD Result) </p>	
 <p> Direktorat Pengawasan Norma Keselamatan dan Kesehatan Kerja Azhar Usman, SH., MH. NIP. 160 015 941 </p>	  <p> Jakarta, 21 Maret 2009 Pusat Penelitian Ilmu Material Universitas Indonesia Kepala, Dr. Azwar Manaf, M.Eng. NIP. 131 472 301 </p>

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



FACHRU ZENUDDIN NUR INSAN lahir di Jakarta, 02 January 1994. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari keluarga Bapak Nur Hasan dan Ibu Sartika. Bertempat tinggal di Jalan Hajiten 4 No.31 RT.006/RW.001 , Kelurahan Rawamangun, Kecamatan Pulogadung, Jakarta Timur.

Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah SD Negeri 08 PETANG pada tahun ajar 2000/2001 - 2005/2006.

Kemudian, melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 71 Rawasari pada tahun ajar 2006/2007 – 2009/2010. Selanjutnya, melanjutkan pendidikan di SMK KEMALA BHAYANGKARI 1 dengan jurusan Teknik Mesin dan mengambil konsentrasi otomotif pada tahun ajar 2009/2010 - 2011/2012. Setelah itu, melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi pada tahun 2012 melalui SBMPTN Tertulis dan diterima di Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta dan mengambil konsentrasi Pemesinan Produksi.