



TUGAS AKHIR - TM184835

PENGARUH *FILLER METAL* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA PADUAN *HARDFACING*

ARNALDO NATANAEL PARMONANGAN SIBURIAN
NRP. 02111540000190

Dosen Pembimbing
Suwarno S.T, M.Sc, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



TUGAS AKHIR - TM184835

PENGARUH *FILLER METAL* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA PADUAN *HARDFACING*

ARNALDO NATANAEL PARMONANGAN SIBURIAN
NRP. 02111540000190

Dosen Pembimbing
Suwarno S.T., M.Sc, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



FINAL PROJECT - TM184835

**THE EFFECT OF FILLER METAL ON
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL
PROPERTIES OF HARDFACING ALLOY STEEL**

**ARNALDO NATANAEL PARMANONGAN SIBURIAN
NRP. 0211154000190**

**Supervisor
Suwarno S.T., M.Sc, Ph.D**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty Of Industrial Technology and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH *FILLER METAL* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA PADUAN *HARDFACING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARNALDO NATANAEL PARMONANGAN SIBURIAN

NRP. 02111540000190

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Suwarno, ST, M.Sc, Ph.D (Pembimbing)
NIP. 198005202005011003
2. Fahmi Mubarok S. T., M.Sc., Ph.D. (Penguji I)
NIP. 197801152003121002
3. Ika Dewi Wijayanti S. T., M.Sc., Ph.D. (Penguji II)
NIP. 198512022014042002
4. Putu Suwarta S. T., M.Sc., Ph.D. (Penguji III)
NIP. 198203032009121007

**SURABAYA
MARET, 2021**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH *FILLER METAL* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA PADUAN *HARDFACING*

Nama Mahasiswa : Arnaldo Natanael Parmonangan S.
NRP : 02111540000190
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Suwarno S.T., M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Structural Steel tipe 400 merupakan baja karbon rendah yang tidak dapat dikeraskan. Salah satu pengaplikasian baja ini adalah pada industri pertambangan dan pembangkit. Pada sistem pembangkit dan pertambangan dapat ditemukan proses pemindahan bahan bakar ataupun hasil tambang misalnya seperti batu bara. Pada proses ini dapat menimbulkan kontak antara batu bara dengan permukaan bagian chute liner pada conveyor yang meningkatkan kerentanan terhadap keausan. Salah satu cara mencegahnya adalah dengan metode hardfacing.

Metode Hardfacing ini dilakukan untuk membuat lapisan keras. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh Filler Metal pada pengelasan FCAW terhadap struktur mikro dan sifat mekanik Structural Steel 400. Untuk pengujian Filler Metal yang dipakai adalah WT 450, WT 650, dan WT 13 Mn. Serta menggunakan metode pengelasan weaving dan stringing. Hasil dari pengujian berupa struktur mikro untuk mengetahui pengaruh filler metal terhadap struktur mikro baja SS400. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan, impact, dan keausan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik baja SS400.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan dari komposisi kimia dan struktur mikro pada kedua metode pengelasan stringing dan weaving. Pada struktur mikronya, paduan WT 450 memiliki fasa ferrit dan perlit, WT 650 terdapat karbida pada struktur mikro, WT 13Mn memiliki fasa austenit, dan

pada WT 13Mn & 650 terdapat dua lapisan. Pada lapisan pertama memiliki fasa austenite dan lapisan kedua memiliki fasa austenite dan terdapat karbida. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh baja paduan WT 650 dengan nilai 670 HV sedangkan nilai kekerasan terendah dimiliki oleh baja paduan WT 13Mn dengan nilai 316 HV.

Untuk sifat tahan aus tertinggi dimiliki oleh baja paduan WT 650 dengan nilai reduksi massa terkecil 443.8 miligram. Sedangkan untuk sifat tahan aus terendah dimiliki oleh baja paduan WT 450 dengan nilai reduksi massa 1526.2 miligram. Nilai impact energy paduan WT 450 lebih besar dibandingkan paduan WT 650. Nilai impact energy pada WT 450 sebesar 23 Joule dan WT 650 sebesar 5 Joule.

Sifat mekanik yang dimiliki pada baja paduan hardfacing memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan perbedaan komposisi kimia dan perbedaan mikrostruktur yang terbentuk pada permukaan baja paduan sesuai dengan filler metal.

Kata Kunci: Structural Steel 400, hardfacing, filler metal, sifat mekanik, struktur mikro.

THE EFFECT OF FILLER METAL ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HARDFACING ALLOY STEEL

Student's Name : Arnaldo Natanael Parmonangan S.
NRP : 02111540000190
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Suwarno S.T., M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Structural Steel type 400 is a low carbon, non-hardened steel. One of the applications of this steel is in the mining and power industry. In the power plant and mining system, you can find the transfer process of fuel or mining products, such as coal. In this process, it can cause contact between the coal and the surface of the chute liner on the conveyor which increases the susceptibility to wear. One way to prevent this is by using the hardfacing method.

This hardfacing method is used to create a hard layer. This research was conducted to study the effect of Filler Metal on FCAW welding on the microstructure and mechanical properties of Structural Steel 400. For testing the filler metals used were WT 450, WT 650, and WT 13 Mn. As well as using the welding method weaving and stringing. The results of the test are in the form of microstructure to determine the effect of filler metal on the microstructure of SS400 steel. Furthermore, hardness, impact, and wear tests were carried out to determine changes in the mechanical properties of SS400 steel.

The results showed that there was no difference in the chemical composition and microstructure of both the stringing and weaving welding methods. In the microstructure, the WT 450 alloy has ferrite and pearlite phases, WT 650 contains carbide in the microstructure, WT 13Mn has an austenite phase, and at WT 13Mn & 650 there are two layers. The first layer has an austenite phase and the second layer has an austenite phase and there are carbides.

The highest hardness value is WT 650 alloy steel with a value of 670 HV while the lowest hardness value is WT 13Mn alloy steel with a value of 316 HV.

The highest wear-resistant properties are WT 650 alloy steel with the smallest mass reduction value of 443.8 milligrams. Meanwhile, the lowest wear-resistant properties are WT 450 alloy steel with a mass reduction value of 1526.2 milligrams. The impact energy value of the WT 450 alloy is greater than the WT 650 alloy. The impact energy value of the WT 450 is 23 Joules and the WT 650 is 5 Joules.

The mechanical properties of hardfacing alloy steels have different values. This is due to differences in chemical composition and differences in microstructures formed on the surface of the alloy steel according to the filler metal.

Keywords Structural Steel 400, hardfacing, filler metal, mechanical properties, microstructure

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kasih dan hikmat-Nya sehingga Tugas Akhir saya dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ibu **Erika Manik** dan Bapak **Toddy Siburian** selaku orang tua yang telah memberi dukungan dan doa nya kepada penulis agar penulis dilancarkan dan disertai selalu oleh Tuhan YME. **Keluarga besar Op.Lala** yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak **Suwarno S.T., M.Sc., Ph.D.** Selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali yang selalu sabar dan telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberi ilmu yang tidak ternilai sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan masa kuliah.
3. Bapak **Fahmi Mubarak S.T., M.Sc., Ph.D.**. Ibu **Ika Dewi Wijayanti S.T., M.Sc., Ph.D.**, Bapak **Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ph.D.** Selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran serta bimbingan untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Laboratorium Metalurgi, **Pak Tik, Bu Kis, Pak Indra** terima kasih atas semua ilmu dan kepercayaannya kepada penulis sebagai Presiden Laboratorium Metalurgi. **Pak Mantri, Pak Gatot, Mas Agus, Mas Yahya, dan Mas Luki** terima kasih telah banyak membantu pengerjaan eksperimen tugas akhir penulis. Juga kepada **Mbah No, Pak Mul, Mas Andi, Mas Gofur, dan seluruh karyawan Teknik Mesin ITS** atas segala kebaikannya kepada penulis selama kuliah.
5. **Keluarga Laboratorium Metalurgi** yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis. **Abdur, Ijaz, Ijal, Farlen, Pongas, Furqon, Rayhan, mas Tukul dan Amanda**

yang telah membantu penulis dalam segala urusan laboratorium dan tugas akhir.

6. **Badan Pengurus Harian HMM 2017/2018** khususnya **Junaida** dan **Rasyidah** terima kasih telah bersama menjalankan KMM pada waktunya dan mengajarkan penulis pentingnya dalam memahami segala dasaran dan manajemen waktu untuk melakukan sesuatu.
7. **Pengurus Himpunan HMM 16/17** dan **HMM 17/18** terima kasih atas pengalaman Organisasi yang luar biasa dan mengajarkan banyak hal khususnya dalam memegang amanah dan memberikan ilmu kepada seluruh staff (**Acen, Nopal, Stelon, Kunam, Dika, Indira**). Untuk **DIMENSI 16/17** dan **DIMENSI 17/18** terima kasih atas pengalaman organisasinya.
8. **Ribak Sude : Markus, Gerald, Boris, Erio, Gio, Juan, Sam, Tegar, Tomy, Zhul** yang selalu mengingatkan penulis agar tetap dekat dengan Tuhan setiap minggunya.
9. **M-58** dan **SMRM** yang telah bersama-sama masuk ke Departemen Teknik Mesin dan berjuang untuk membuktikan bahwa Mesin itu sangar. Terima kasih juga atas ilmu kehidupan yang sudah mas dan mbak berikan yang tidak bisa saya dapatkan di tempat lain.
10. Semua pihak yang membantu secara langsung maupun tidak selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, Maret 2021
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	23
1.1 Latar Belakang	23
1.2 Perumusan Masalah.....	25
1.3 Tujuan Penelitian	25
1.4 Batasan Masalah.....	25
1.5 Manfaat Penelitian	26
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	27
2.1 <i>Hardfacing</i>	27
2.2 Bahan Paduan.....	28
2.2.1 <i>Low Alloy Ferrous Materials</i>	29
2.2.1.1 Baja Martensitic.....	29
2.2.1.2 <i>High Speed Steels</i>	30
2.2.1.3 Baja Austenit	30
2.2.2 <i>Ferrous Materials</i>	30
2.2.3 <i>Nickel-Based Hardfacing Alloys</i>	31
2.2.4 <i>Cobalt-Based Hardfacing Alloys</i>	31
2.2.5 <i>Copper-based Alloys</i>	31
2.2.6 <i>Tungsten Carbide Composites</i>	31
2.3 Baja	31
2.4 Proses Pengelasan	33
2.4.1 Daerah Pengelasan.....	33
2.4.2 Parameter Pengelasan	34
2.4.2.1 Polaritas Arus	34
2.4.2.2 Elektroda	35

2.4.2.3 <i>Filler Metal</i>	35
2.4.2.4 <i>Weaving & Stringing</i>	36
2.4.3 <i>Flux Cored Arc Welding (FCAW)</i>	36
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Spesimen Uji	40
3.3 Peralatan Penelitian	42
3.4 Langkah-Langkah Penelitian.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	47
4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Weld Metal</i> WT 450.....	48
4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Weld Metal</i> WT 650.....	49
4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Weld Metal</i> WT 13Mn dan WT13Mn+650.....	51
4.1.4 Ringkasan Komposisi Kimia <i>Weld Metal</i> Spesimen.	53
4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	54
4.2.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Hardfacing</i> WT 450.....	54
4.2.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Hardfacing</i> WT 650.....	57
4.2.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Hardfacing</i> WT13Mn.....	60
4.2.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Hardfacing</i> WT 13 Mn + 650.....	61
4.3 Pengujian Kekerasan Mikro	65
4.3.1 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Baja Paduan <i>Hardfacing</i>	67
4.4 Hasil Pengujian Keausan Baja Paduan <i>Hardfacing</i>	69
4.5 Hasil Pengujian <i>Impact</i> Baja Paduan <i>Hardfacing</i>	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1 Kesimpulan	79

5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83
BIODATA PENULIS	97

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema proses <i>Hardfacing</i> (a) <i>single layer</i> (b) <i>multiple layer</i> dan (c) terdapat lapisan penyangga (Atamert, 1998)	27
Gambar 2.2 Daerah Pengelasan (J.W.E., 2006).....	33
Gambar 2.3 Polaritas (Jeffus, 2010)	35
Gambar 2.4 Metode pengelasan <i>weaving</i> dan <i>stringing</i>	36
Gambar 2.5 Skema Alat <i>Flux Cored Arc Welding</i> (Kou, 2003) .	37
Gambar 3.1 Diagram Penelitian	40
Gambar 4.1 Ilustrasi pengujian spektrometri pada spesimen paduan <i>hardfacing</i> (a) sampel (b) lokasi uji pada permukaan atas lapisan logam las (<i>weld metal</i>).....	48
Gambar 4.2 Hasil Pengujian EDS pada WT 450 (a) <i>Mapping</i> Titik EDS (b) Pengujian EDS	56
Gambar 4.3 Hasil pengujian EDS pada WT 650 (a) <i>Mapping</i> titik EDS (b) Pengujian EDS	59
Gambar 4.4 Hasil Pengujian EDS pada layer 1 (a) <i>Mapping</i> Titik EDS (b)	63
Gambar 4.5 Hasil Pengujian EDS pada layer 2 (a) <i>Mapping</i> Titik EDS (b) Pengujian EDS	64
Gambar 4.6 Posisi Indentasi Pengujian Kekerasan pada Sisi Samping Spesimen Baja Paduan <i>Hardfacing</i> (a) WT 450 <i>Stringing</i> , (b) WT 450 <i>Weaving</i> , (c) WT 650 <i>Stringing</i> , (d) WT 650 <i>Weaving</i> , (e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650.....	66
Gambar 4.7 Grafik <i>trendline</i> nilai kekerasan baja paduan <i>hardfacing</i>	68
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan <i>mass loss</i> baja paduan <i>hardfacing</i>	70
Gambar 4.9 Pengamatan makro permukaan hasil pengujian keausan pada spesimen (a) WT 450 <i>Stringing</i> ,(b) WT 450 <i>Weaving</i> ,(c) WT 650 <i>Stringing</i> ,(d) WT 650 <i>Weaving</i> ,(e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650	72
Gambar 4.10 Pengamatan mikro perbesaran 200x pada permukaan hasil pengujian keausan spesimen (a) WT 450 <i>stringing</i> , (b) WT	

450 <i>weaving</i> , (c) WT 650 <i>stringing</i> , (d) WT 650 <i>weaving</i> , (e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650	73
Gambar 4.11 Pengamatan makro spesimen pada permukaan patahan (a) WT 450, (b) WT 650. Pengamatan mikro dengan SEM pada permukaan patahan (c) WT 450 perbesaran 1000x, (d) WT 450 perbesaran 5000x, (e) WT 650 perbesaran 1000x, (f) WT 650 perbesaran 5000x.....	75
Gambar 4.12 Grafik perbandingan antara kekerasan dan <i>impact</i> baja paduan WT 450 & 650.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Bahan Paduan Proses <i>Hardfacing</i> (Atamert, 1998)	29
Tabel 3.1 Komposisi Kima <i>Base Material</i> dan <i>Filler Metal</i>	41
Tabel 3.2 Tabel Matriks Pengujian Spesimen	42
Tabel 4.1 Hasil Data Pengujian Spektometri <i>Weld Metal</i> WT 450	48
Tabel 4.2 Hasil Data Pengujian Spektometri <i>Weld Metal</i> WT 650	50
Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Spektometri <i>Weld Metal</i> WT 13Mn dam WT 13Mn+650.....	52
Tabel 4.4 Hasil Data Pengujian Spektometri <i>Weld Metal</i>	53
Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT450	55
Tabel 4.6 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT 650	57
Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT13Mn.....	60
Tabel 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT 13Mn + 650... ..	61
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kekrasan Mikro Baja Paduan <i>Hardfacing</i>	67
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Keausan Baja Paduan <i>Hardfacing</i> ..	69
Tabel 4.11 Hasil Pengujian <i>Impact</i> Baja Paduan <i>Hardfacing</i>	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri Pertambangan saat ini menjadi salah satu industri yang besar. Terdapat banyak hasil dari industri pertambangan yaitu Batubara, Tembaga, Emas, Timah, Biji Nikel, Bauksit, dan bijih besi (KESDM, 2013). Kapasitas produksinya sangat besar, pada tahun 2013 Produksi batubara mencapai 391 juta ton (KESDM, 2013). Tentunya untuk mencapai nilai produksi yang besar ini diperlukan komponen-komponen yang mendukung pada sistem pertambangan. Skema dari proses pertambangan dapat kita lihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Skema Pertambangan

Salah satu proses yang terjadi dalam sistem pertambangan ini adalah pemindahan hasil tambang. Salah satu hasil tambang yang dihasilkan adalah batubara. Pada proses pemindahan ini perlu adanya alat yang membantu pemindahan batu bara. Oleh karena itu biasanya pada industri pertambangan didapatkan *conveyor* yang membantu proses pemindahan hasil tambang (batu bara).



Gambar 1.2 *Chute liners pada konveyor*

Dalam *conveyor* sendiri, memiliki berbagai macam bagian-bagian yang saling mendukung dalam operasinya. Salah satunya adalah *chute liners*. Pada bagian terjadi proses sistem transfer yaitu untuk memuat dan pengeluaran material pada konveyor. Dalam industri pertambangan banyak sekali jenis-jenis bahan yang dipakai menjadi *chute liners*. Namun jika dalam industri pertambangan yang biasanya membawa atau memindahkan hasil tambang yang berat diperlukan bahan yang kuat dan tahan aus. Tentu logam yang diinginkan adalah logam yang memiliki sifat mekanik yang kekerasan dan kekuatannya baik. Serta pula diperlukan sifat tahan aus yang baik, karena pasti terjadi gesekan antara batubara dengan *chute liners* pada konveyor.

Ada beberapa cara untuk meningkatkan kekuatan dari baja struktural. Salah satunya adalah *Hardfacing* atau *Hardsurfacing*. Proses ini memiliki tujuan untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan korosi suatu material (**Kalpakistan S. Schmid S., 2009**). *Hardfacing* sendiri adalah proses penambahan lapisan permukaan suatu material menggunakan bahan paduan yang memiliki sifat mekanik yang diinginkan. Paduan yang digunakan biasanya memiliki komposisi unsur kimianya berbeda dari material dasarnya. Penambahan paduannya sendiripun memiliki beberapa cara, salah satu yang dipakai adalah metode

pengelasan. Pengelasan yang dipakai untuk *Hardfacing* salah satunya adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Untuk *Hardfacing* sendiri memiliki beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai paduan yang pastinya memiliki sifat-sifat yang berbeda satu sama lain.

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian dilakukan untuk dapat mengetahui sifat material dari material yang sudah mendapatkan perlakuan *Hardfacing* dengan bahan yang berbeda dan dapat menentukan kualitas bahan yang lebih baik untuk diaplikasikan pada Baja Struktural SS400. Pengamatan sifat material nya dapat dilakukan melalui pengujian sifat mekanik dan pengamatan terhadap struktur mikro yang dihasilkan.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh filler metal bahan paduan *hardfacing* pada struktur mikro ?
2. Bagaimana pengaruh *filler metal* bahan paduan *hardfacing* pada sifat mekanik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *filler metal* bahan paduan *hardfacing* terhadap struktur mikro
2. Mengetahui pengaruh *filler metal* bahan paduan *hardfacing* terhadap sifat mekanik

1.4 Batasan Masalah

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang muncul dalam penelitian ini dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Material dasar yang dipakai adalah *Structural Steel* SS400 ketebalan 12mm
2. Alat uji dan peralatan yang digunakan dalam kondisi baik

3. Pengaruh variasi kondisi lingkungan saat proses pengelasan tidak berpengaruh terhadap proses pengelasan

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik.

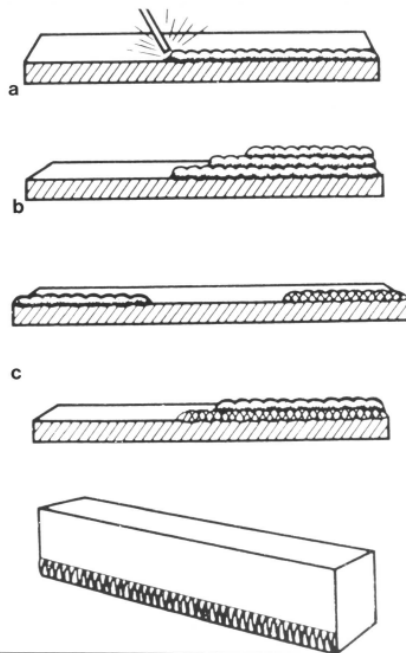
Adapun manfaat yang bisa diberikan yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan referensi bagi pembaca dalam menentukan *filler metal* yang dipakai saat melakukan *hardfacing* pada material baja.
2. Memungkinkan dilakukan pengembangan dalam peningkatan kekuatan pada material baja.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Hardfacing*

Hardfacing merupakan suatu penerapan material yang memiliki sifat keras, tahan aus, dan tahan korosi ke permukaan material dasarnya. Penerapannya biasa dengan cara pengelasan, penyemprotan, atau pengelasan terkait untuk mengurangi keausan atau kerusakan suatu material saat beroperasi (Atamert, 1988). Proses ini lebih hemat daripada harus mengganti keseluruhan komponen, karena pada proses *hardfacing* melibatkan penerapan proses *coating* terhadap material dasar yang murah. Berikut skema dari proses *hardfacing*



Gambar 2.1 Skema proses *Hardfacing* (a) *single layer* (b) *multiple layer* dan (c) terdapat lapisan penyangga (Atamert, 1998)

Lapisan penyangga pada skema (c) biasanya digunakan untuk meminimalisir perbedaan pada kontraksi termal antara paduan yang mencair dengan material dasarnya. Biasanya lapisan penyangga ini dicairkan pertama lalu paduan *hardfacing* diberikan ke material dasar. (**Atamert, 1988**)

Karena proses *hardfacing* digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat dari komponennya maka paduan yang diberikan harus mempunyai beberapa sifat yang diinginkan seperti :

1. Kekerasan
2. Tahan abrasi
3. Tahan panas
4. Tahan korosi

2.2 Bahan Paduan

Material yang biasanya dipakai sebagai paduan dalam proses *hardfacing* dapat diklasifikasikan menjadi baja atau *low-alloy ferrous material*, besi atau *high alloy ferrous material*, paduan berbasis kobalt, paduan berbasis nikel, paduan berbasis tembaga, dan karbida (**Atamert, 1988**). Klasifikasi endapan paduan bahan proses *hardfacing* sudah ditentukan oleh *Hardfacing Working Party of British Steel*.

Tabel 2.1 Klasifikasi Bahan Paduan Proses *Hardfacing* (Atamert, 1998)

Classification		Typical composition: % (● indicates possible presence)												Deposited hardness, Hv
Group	Type	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B	Nb	Cu	
1	Steels													
	1 Carbon steels	Balance	0.35											up to 250
	2 Low alloy steels	Balance	0.1-0.5	●	●	●	●	●		●	●			250-650
	3 Martensitic Cr steels	Balance	0.1-1.7	10-15	●	●	●	●		●				350-650
	4 High speed steels	Balance	0.3-1.5	10 max	5	10	3	20	12					600-700
	5 Austenitic stainless steels	Balance	0.07-0.2	17-32	●	●					7-22			(1) 200 (2) 500
	6 Austenitic Mn steels	Balance	0.5-1.0	●	11-16									(1) 200 (2) 600
7 Austenitic Cr Mn steels	Balance	0.3-0.5	12-15	12-15	●	●							(1) 200 (2) 600	
2	Irons													
	1 Austenitic irons	Balance	4	12-20	●	●				●				300-600
	2 Martensitic irons	Balance	1-4	1-10	●	●	●	●		●	●			500-750
	3 High Cr austenitic irons	Balance	3-6	20-40	●	●				●				500-750
	4 High Cr martensitic irons	Balance	2-3	20-30	2 max									500-750
5 High Cr complex irons	Balance	2-5	20-40	●	●	●	●	●	●	●	●		600-800	
3	Nickel alloys													
	1 Nickel	8	2	1						85 min				160
	2 Nickel copper	3-6	0.35-0.55	2.5						60-70		25-30		130
	3 Nickel iron	Balance	2	1						45-60				200
	4 Ni-Mo-Cr-W	6	2.5	30 max		17		15	12		Balance	1-5		250-500
	5 Ni-Cr-B	●	●	5-25		●	●				Balance			200-750
6 Ni-Mo-Fe	5-20				20-30					Balance			200-300	
4	Co-Ni alloys													
	1 Co-Cr-W low alloy		0.7-1.4	25-32				3-6	Balance					350-400
	2 Co-Cr-W medium alloy		1.0-1.7	25-32				7-10	Balance					400-500
	3 Co-Cr-W high alloy		1.7-3.0	25-35				11-20	Balance					500-650
4 Co-Cr-W-Ni alloys		1.2-2.0	20-25				10-15	Balance	20-25				390-450	
5	Copper alloys													
	1 Brasses			up to 40%Zn	balance Cu									130
	2 Silicon bronzes			up to 4%Si	balance Cu									80-100
	3 Aluminum bronzes			8-15%Al	balance Cu									130-130
4 Tin bronzes			4-12%Sn	balance Cu									40-110	
6	Tungsten carbide													1800 (granular)
													Minimum 40% tungsten carbide granules in an iron base matrix or can be in a copper, cobalt, or stainless steel matrix	
7	Chromium boride paste											15-20		750-1100

(1) As deposited (2) Work hardened *OA Oxycetylene MMA Manual metal arc MIG Metal inert gas FCAW Flux cored arc TiG Tungsten inert gas

Tabel 2.1 termasuk kekerasan dari endapan setiap bahan paduan dan teknik pengelasan yang biasa diterapkan.

2.2.1 Low Alloy Ferrous Materials

2.2.1.1 Baja Martensitic

Bahan paduan ini dapat mengandung komposisi kimia sampai 0.5C, 3.4Mo, W, Ni, dan 15Cr (%wt). Biasanya digunakan untuk menambah *hardenability* dan kekuatan dari material serta membentuk martensit pada material. Karbon pada paduan ini dominan dan paling berpengaruh pada sifat mekanik dari material. Ketika nilai karbon pada paduan rendah maka material lebih keras dan lebih tahan terjadi retak daripada ketika memiliki nilai karbon tinggi. Namun sifat tahan abrasi nya rendah tetapi

bisa dinaikkan dengan karbon. Biasanya digunakan untuk memperkuat permukaan poros, dan permukaan mesin lainnya.

2.2.1.2 High Speed Steels

Paduan ini dasarnya sama seperti paduan Baja Martensitic namun didalamnya ditambahkan kandungan tungsten, molybdenum, dan vanadium dimana dapat membentuk karbida stabil sehingga komponen tetap keras pada temperatur tinggi hingga 600°C.

2.2.1.3 Baja Austenit

Pada fase austenit baja ini stabil karena adanya unsur tambahan Mangan (Mn). Paduan ini dapat dikategorikan menjadi *low-chromium alloys* dan *high-chromium alloys*. Pada paduan kromium rendah mengandung (4.0Cr, 12-15Mn, Ni, Mo wt%) biasanya lebih keras karena tidak adanya karbida kromium keras. Baja ini biasanya digunakan pada mesin yang mengalami high impact. Pada paduan kromium tinggi mengandung (12-17Cr, 15Mn wt%) biasanya digunakan untuk membentuk kembali mangan dan karbon baja yang mengalami hentakan antar metal.

2.2.2 Ferrous Materials

Pada besi paduan mengandung kromium dan molybdenum yang besar dimana dapat membentuk karbida yang memberikan ketahanan abrasi. Matriks yang terbentuk dapat berupa *austenitic*, *martensitic*, *pearlitic*, *ferritic* atau beberapa kombinasi fase ini. Pada kandungan karbon tinggi (2-6, wt%) dan kromium tinggi (40 wt%) konsentrasi fraksi karbida M_7C_3 yang terbentuk cukup besar. Karbida ini yang memberikan sifat tahan aus dan kromium menimbulkan pembentukan *oxide layers* (Cr_2O_3) sehingga paduan ini digunakan untuk situasi yang membutuhkan tahan oksidasi.

2.2.3 Nickel-Based Hardfacing Alloys

Paduan ini biasanya digunakan untuk meningkatkan tahan aus pada pemakaian temperatur tinggi. Karbon yang mengandung Nikel biasa digunakan untuk mengganti penggunaan paduan berbasis kobalt yang sedikit lebih mahal. Karbon membentuk karbida tipe M_7C_3 atau M_6C . Terkadang penambahan molibdenum dan tungsten dipakai untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada temperatur tinggi.

2.2.4 Cobalt-Based Hardfacing Alloys

Paduan ini merupakan paduan yang sudah lama sering dipakai karena sifat tahan aus, oksidasi, dan tahan korosi yang baik pada temperatur operasi yang tinggi mencapai 980°C . Komposisi kimia paduan ini $\text{Co}, 28\text{Cr}, 4\text{W}, 1.1\text{C}$ wt%

2.2.5 Copper-based Alloys

Paduan ini biasa digunakan untuk meningkatkan sifat tahan korosi, erosi kavitasi, dan aus namun memiliki tahan abrasi yang rendah.

2.2.6 Tungsten Carbide Composites

Paduan ini baik untuk mesin yang beroperasi pada kondisi *abrasive wear*. Pada saat proses pengelasan, *filler* berbentuk tabung baja ringan yang mengandung campuran karbida WC dan W_2C . Hasil dari pengendapan membentuk karbida terlarut yang baik untuk sifat tahan aus. (Atamert, 1988)

2.3 Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam yang mengandung unsur karbon sebagai salah satu campurannya. Baja juga mengandung unsur-unsur pembentuk lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan yang lainnya yang jumlahnya dibatasi. Persentase karbon dari sebuah baja dan mikro strukturnya dapat mempengaruhi sifat dari baja tersebut. Struktur mikro yang terlihat dalam baja merupakan hasil pengaruh dari komposisi baja dan perlakuan panas dari baja. Campurannya pada baja seperti karbon dan unsur lainnya dapat menambah sifat kekerasan, tahan gores dan temperatur baja, disebabkan campuran

tersebut membentuk semacam karbida. Salah satu klasifikasi baja dapat dibedakan berdasarkan persentase jumlah karbon di dalam baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu (**Suherman, 1987**):

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) merupakan baja karbon dengan kandungan karbon di bawah 0,3%. Karena sifat baja tergantung dari kandungan karbonnya maka baja karbon rendah bukanlah baja yang keras. Karena kandungan karbon yang rendah, baja karbon rendah tidak dapat membentuk martensit disebabkan tidak dapat dikeraskan karena karbonnya tidak cukup.

2. Baja karbon menengah

Baja karbon menengah merupakan baja karbon yang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (*medium carbon steel*) dan karena kandungan karbonnya baja ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas tertentu. Karena kandungan karbonnya, baja karbon menengah memiliki kekerasan dan kekuatan di atas baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang mengandung 0,6%C – 1,5%C dan mempunyai kekerasan yang tinggi tetapi keuletan yang rendah disebabkan kandungan karbonnya, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Dikarenakan banyaknya martensit pada pengerasan perlakuan panas, hasil yang dihasilkan tidak begitu optimal sehingga baja menjadi getas.

Kandungan karbon dalam baja berpengaruh terhadap sifat kekerasan dari baja. Pada baja karbon menengah dan tinggi proses peningkatan kekerasan dengan perlakuan panas merupakan hal yang paling umum dilakukan. Namun ada baja yang tidak dapat dikeraskan dengan cara ini tergantung dari jenis baja tersebut.

Pengerasan baja secara langsung hanya dapat untuk baja dengan karbon lebih dari 0,3%, sementara baja karbon kurang dari

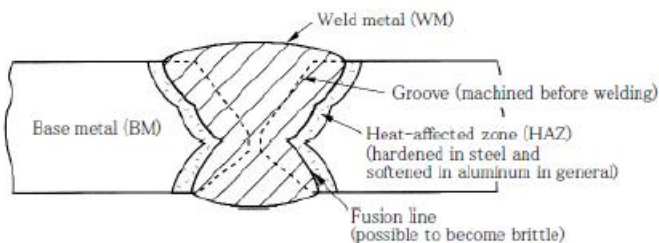
0,3% dilakukan dengan penambahan karbon. Pengerasan baja dapat dilakukan dengan cara pengerasan (*hardening*) dengan metode kejut dengan air, oli, dan lainnya (*quenching*) kemudian temper (*tempering*). Pengerasan dilakukan dengan pemanasan di dalam tungku (*furnace*), hingga temperatur austenit dan langsung dilakukan pendinginan secara tiba-tiba. Karena adanya pegeutan pendinginan maka muncul keadaan paksa dari struktur atom yang akan meningkatkan kekerasan. Untuk baja dengan kadar karbon di bawah 0,3% hanya dapat dikeraskan dengan penambahan karbon (*carburizing*).

2.4 Proses Pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan material dengan memanaskan material tersebut hingga leleh, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*). Penambahan logam pengisi yang berbeda dari logam induk pada proses pengelasan berperan dalam perubahan struktur mikro yang terbentuk sehingga akan berpengaruh terhadap sifat mekanik dari logam dasar/induk.

2.4.1 Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah yang terkena pengaruh panas (*heat affected zone*), dan logam induk. Selain itu terdapat pula *fusion line* yang merupakan daerah pembatas antara logam las dan HAZ. (Kou, 2003)



Gambar 2.2 Daerah Pengelasan (J.W.E., 2006)

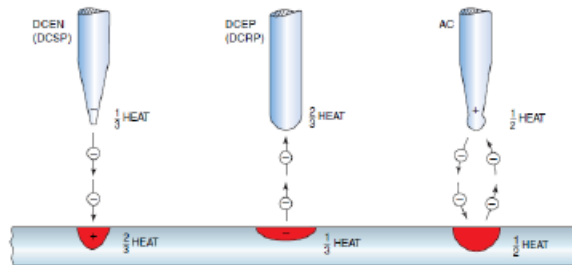
Logam las merupakan logam pengisi yang berdifusi dengan sebagian logam induk yang mencair kemudian membeku pada saat proses pengelasan. Logam las memiliki komposisi kimia yang diperoleh dari gabungan antara komposisi kimia logam induk dan logam pengisinya (*filler metal*). HAZ merupakan daerah yang terkena efek panas dari pengelasan dimana mengakibatkan terjadi perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada logam. Perubahan tersebut mengakibatkan logam menjadi rentan terhadap korosi. Daerah HAZ yang terbentuk memiliki ukuran yang bervariasi tergantung pada konduktivitas termal dan laju pendinginan dari logam.

2.4.2 Parameter Pengelasan

2.4.2.1 Polaritas Arus

Arus pengelasan berpengaruh terhadap pancaran logam cair pengisi kampuh las. Arus memengaruhi kedalaman, semakin besar arus maka kedalaman akan semakin dalam. Terdapat tiga macam polaritas arus yang digunakan dalam pengelasan yaitu *direct current electrode negative* (DCEN), *direct current electrode positive* (DCEP) dan *alternative current* (AC).

Jika kita memakai metode polaritas arus dengan DCEN maka elektroda menjadi kutub negatif yang mengakibatkan semakin banyak elektron yang dialirkan kepada material sehingga semakin banyak pula panas yang diterima oleh material. Ketika hal itu terjadi maka penetrasi yang diterima oleh material semakin dalam. Dapat kita lihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Polaritas (Jeffus, 2010)

2.4.2.2 Elektroda

Elektroda yang dipakai dalam pengelasan dibagi menjadi 2 yaitu *non-consumable electrode* dan *consumable electrode*. Oleh karena itu *arc welding* pun dibagi menjadi dua. Pada *Arc Welding Consumable Electrode*, elektroda dibagi berdasarkan kekuatan logam las yang tersimpan, arus, dan tipe *coating*. Biasanya elektroda yang sudah dilakukan *coating* memiliki panjang 150-460 mm dan diameter 1.5-8 mm. (Kalpakjian S. Schmid S., 2009)

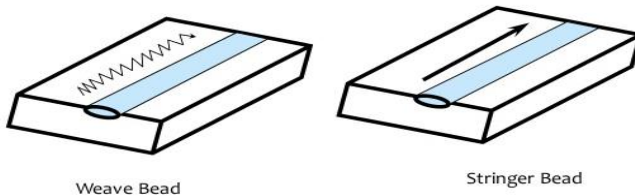
Spesifikasi pada elektroda dan *filler metals*, termasuk toleransi dimensi, prosedur control kualitas, dan proses telah ditentukan pada *American Welding Society* (AWS) dan *American National Standards Institute* (ANSI).

2.4.2.3 Filler Metal

Filler Metal digunakan untuk menambah material pada *weld zone* saat pengelasan. Biasanya berbentuk batang atau kawat yang terbuat dari metal yang diinginkan. *Filler rods* bisa terlapi dengan *flux*. Adanya *flux* ini bertujuan untuk memperlambat oksidasi dari permukaan yang dilas dengan menghasilkan *gaseous shield* disekitar zona las. Selain itu *flux* berguna juga untuk melarutkan dan menghilangkan oksida dan substansi lainnya dari benda kerja. (Kalpakjian S. Schmid S., 2009)

2.4.2.4 *Weaving & Stringing*

Pada saat melakukan proses pengelasan (*welding*) ada dua metode yang dilakukan. Pertama terdapat metode *weaving*, pada metode ini gerakan pada saat proses pengelasan dilakukan searah namun terdapat penambahan gerakan ayunan (*swing*). Sedangkan pada metode *Stringing*, gerakan pada proses pengelasan dilakukan searah tanpa ada penambahan gerakan. Ilustrasi dari kedua metode ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



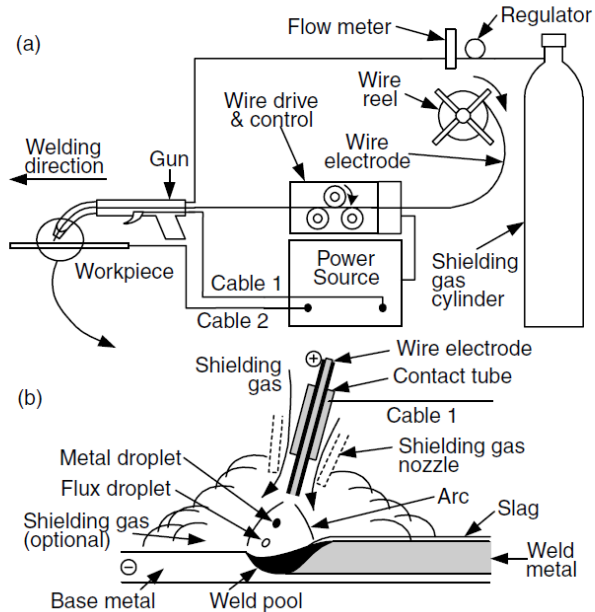
Gambar 2.4 Metode pengelasan *weaving* dan *stringing*

2.4.3 *Flux Cored Arc Welding (FCAW)*

Proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding (FCAW)* memiliki persamaan seperti *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*, namun memiliki pengecualian pada elektrodanya. Elektroda pada FCAW memiliki bentuk tabung dan terisi oleh *flux* oleh karena itu proses ini dinamakan *Flux Cored Arc Welding*. Elektroda ini menghasilkan panas yang stabil, meningkatkan kontur las, dan menghasilkan sifat mekanik logam las yang lebih baik.

Flux pada elektroda proses FCAW lebih fleksibel daripada elektroda pada proses *Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)* yang biasanya dilakukan *brittle coating*. Sehingga elektroda pada proses FCAW dapat dibuat menjadi sebuah gulungan. Elektroda yang dipakai biasanya memiliki diameter 0.5-4mm dan daya yang digunakan sekitar 20kW (Kalpakjian S. Schmid S., 2009). Pada material yang lebih

tipis biasanya memakai elektroda yang memiliki diameter kecil. Elektroda dengan diameter kecil membuatnya relatif lebih mudah mengelas bagian di posisi yang berbeda dan memungkinkan pengelasan sebagian besar logam.

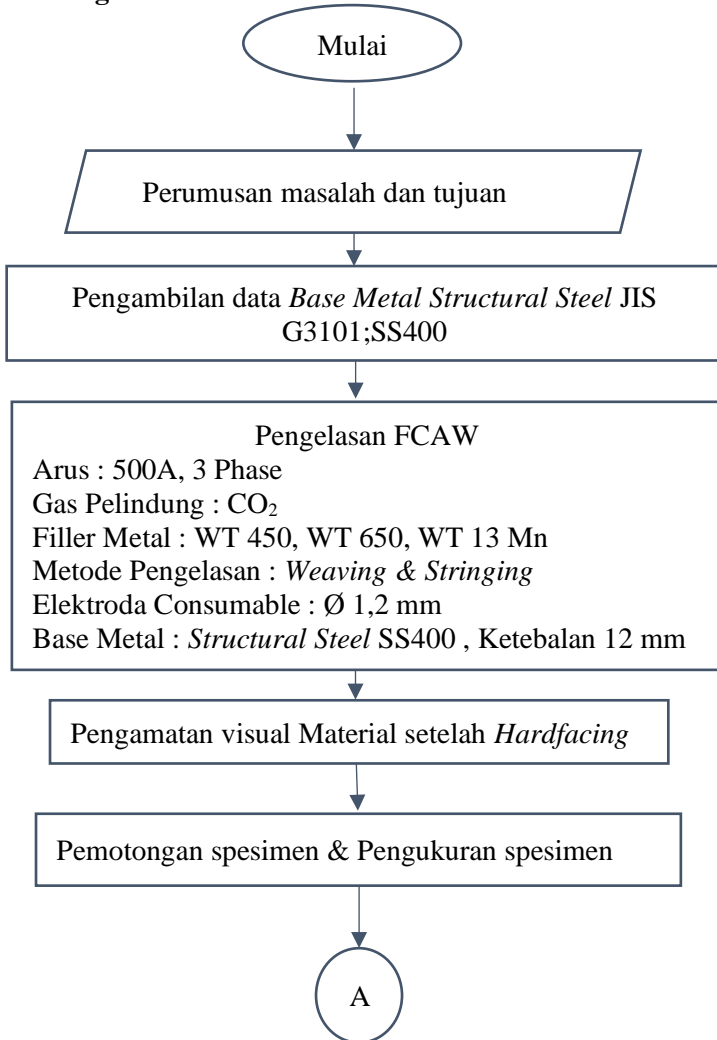


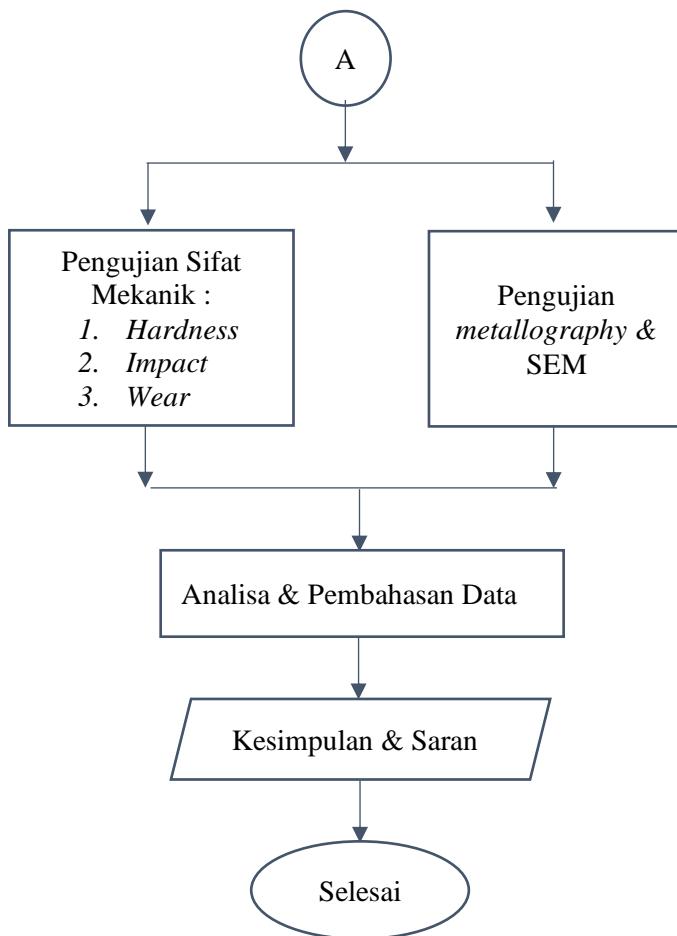
Gambar 2.5 Skema Alat *Flux Cored Arc Welding* (Kou, 2003)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Penelitian

3.2 Spesimen Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Base Material* dan *Filler Metal*

Base Metal	Unsur-unsur (% wt)									
	C	V	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
JIS G3101 ; SS400	-	-	-	-	0.05	0.05	-	-	-	-

(Sumber : *Handbook of Comparative World Steel Standards 3rd Edition*)

Base Metal	Unsur-unsur (% wt)				
	C	Cr	Si	Mn	P
JIS G3101 ; SS400	0.233	0.373	0.253	0.732	0.007
	V	Mo	Cu	S	Ni
	0.002	0.134	0.002	<0.001	<0.001

(Sumber : Pengujian Spektrometri)

Filler Metal	Unsur-unsur (% wt)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
WT 450	0.12	0.45	1.36	0.012	0.010	-	1.30	0.20	-	
WT 650	0.34	2.8	0.50	0.013	0.008	-	7.00	0.51	-	
WT 13 Mn	0.79	0.32	14.29	0.012	0.001	0.95	3.02	0.001	0.04	

(Sumber: *Catalog Handbook Weldtek*)

Bahan	Thick ness, mm	Yield Strength, min (N/mm ² or MPa)	Tensile Strength, min (N/mm ² or MPa)	Elongation, min, %
JIS G3101 ; SS400	<16	245	400-510	17
	16<t< 40	235		21
	>40	215		23

(Sumber: *Handbook of Comparative World Steel Standards 3rd Edition*)

Tabel 3.2 Tabel Matriks Pengujian Spesimen

Spesimen	Pengujian				
	Kekerasan	Keausan	<i>Impact</i>	<i>Metallo -graphy</i>	SEM
<i>Base Material</i>					
WT 450 (Stringing)					
WT 450 (Weaving)					
WT 650 (Stringing)					
WT 650 (Weaving)					
WT 13 Mn (Stringing)					
WT 13 Mn + 650 (Stringing)					

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penilitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kamera Digital

Merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengamatan visual yang dilakukan pada benda kerja sekaligus mendokumentasikan bentuk benda kerja.

2. Penggaris dan Jangka Sorong

Penggaris yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketelitian 0,1 mm, sedangkan jangka sorong yang digunakan memiliki ketelitian 0,01 mm. Penggaris dan jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi panjang dan diameter dari material yang akan menjadi benda kerja serta mengukur dimensi lain yang dianggap perlu.

3. Perangkat *Grinding* dan *Polishing*

Proses *grinding* spesimen benda kerja menggunakan mesin grinder Metkon GRIPO 300-IV dengan kertas amplas grit 80, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000. Sedangkan proses *polishing* menggunakan mesin yang sama seperti proses *grinding* dengan menggunakan kain beludru dan serbuk alumina.

4. Perangkat *etching*

Proses ini menggunakan dua kali etsa, untuk pengamatan makro menggunakan larutan *ammonium persulphate* ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) untuk pengamatan mikro menggunakan larutan nital 2% yang terdiri dari 2 ml HNO_3 ditambah 98 ml etanol. Diperlukan gelas ukur, pipet, wadah kaca, pengering, dan aquades untuk menunjang proses etsa spesimen benda kerja.

5. *Spectrometer ARC-Met 8000*

Merupakan alat yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia agar mengetahui kandungan komposisi kimia serta unsur-unsurnya secara *kuantitatif* yang terdapat pada benda kerja yang akan diamati.

6. Mikroskop Optis *digital olimpus BX60M*

Merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengamatan struktur mikro

7. Mesin *Scanning Electron Microscope*

Merupakan alat yang digunakan untuk melihat lapisan yang terdapat pada permukaan spesimen.

8. Mesin Uji Kekerasan Mikro

Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kekerasan secara mikro. alat ini mampu membantu untuk memetakan kekerasan pada permukaan benda kerja.

9. Mesin Uji *Impact*

Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur energi yang diserap benda uji dengan cara menghitung energi akhir dan awal pada saat pengujian.

10. Mesin *Dry Sand-Rubber Wheel Abrasion Test* (ASTM G65)

Merupakan alat yang digunakan untuk simulasi keausan abrasif pada benda uji lalu menghitung reduksi massa akibat keausan.

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

1. Perumusan Masalah dan Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bahan paduan *hardfacing* terhadap nilai kekerasan dan morfologi. Perumusan masalah disertai dengan penetapan Batasan masalah untuk memperjelas lingkup penelitian.

2. Pengambilan Data Operasional dan Material

Pengambilan data material adalah tahapan yang dilakukan dalam rangka untuk memperoleh informasi atau data-data yang berhubungan dengan Spesifikasi material dasar meliputi sifat mekanik dan komposisi kimia.

3. Pemotongan dan Pengukuran Dimensi

Pemotongan spesimen dilakukan untuk mendapatkan material yang memiliki dimensi yang sesuai untuk dilakukan pengujian.

4. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material. Pengujian

metalografi diawali dengan beberapa persiapan yang meliputi *etching* menggunakan *etchant* atau *etching reagent* yaitu larutan nital dengan konsentrasi 2%. Setelah itu sampel spesimen akan dilihat dengan mikroskop elektronik dengan perbesaran 100 hingga 500x untuk menganalisa mikro struktur. Hasil dari pengujian digunakan untuk menganalisa membandingkan struktur mikro pada beberapa titik di permukaan spesimen uji yang nantinya dapat diketahui pada titik mana yang paling besar perubahan struktur mikronya serta pengaruh.

5. Pengujian *Scanning Electron Microscope*

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui komposisi dan informasi topografi, morfologi dan komposisi suatu material. Topografi digunakan untuk menganalisa permukaan dan tekstur (kekerasan dan reflektivitas). Morfologi digunakan untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Dan pengujian komposisi suatu material digunakan untuk menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif. Dari hasil ini didapatkan pengamatan dari lapisan oksida serta ketebalan dari lapisan di setiap titik benda uji yang nantinya di jadikan perbandingan.

6. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik (kekerasan) dari spesimen. Pengujian ini dilakukan pada spesimen yang sudah dilakukan proses *Hardfacing*. Pengujian kekerasan menggunakan Mesin Uji Kekerasan Mikro yang nantinya akan diperoleh data kekerasan (HV).

7. Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui energi yang dibutuhkan untuk mematahkan batang spesimen. Sekaligus untuk mengukur ketangguhan material terhadap beban kejut pada batang uji bertakik (*notch*).

8. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui dampak keausan yang terjadi pada spesimen yang telah dilakukan

hardfacing. Pada pengujian ini menggunakan alat *Dry Sand-Rubber Wheel Abrasion Test* dengan standar ASTM G65. Pada pengujian ini didapatkan nilai reduksi masa akibat keausan abrasif.

BAB IV

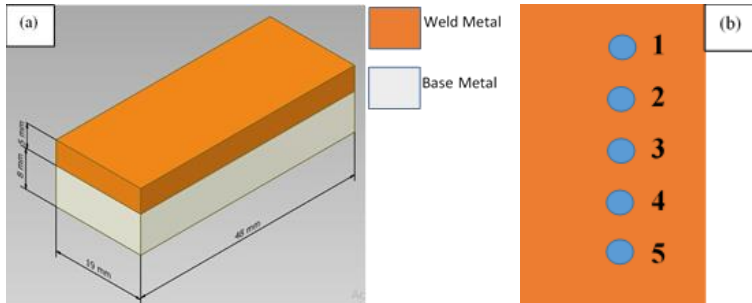
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan material *Structural Steel* JIS SS400 hasil dari proses *Hardfacing* dengan metode *Flux Cored Arc Welding*. Material yang digunakan pada penelitian ini diberi perlakuan pengelasan pada permukaannya menggunakan beberapa *Filler Metal* seperti WT 450, WT 650 dan WT 13Mn. Komposisi kimia dari material *Structural Steel* JIS SS400 dan *Filler Metal* tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. Adapun dua metode yang dilakukan selama proses pengelasan yaitu *Stringing* dan *Weaving*. Selain itu ada satu spesimen yang diberikan pengelasan sebanyak dua kali sehingga membentuk dua lapisan pada permukaannya. Proses *hardfacing* ini bertujuan untuk menambahkan kekuatan dan sifat tahan abrasi. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian komposisi kimia material untuk mengetahui perubahan komposisi kimia setelah pengelasan, pengamatan struktur mikro melalui teknik metalografi, pengujian kekerasan melalui uji *microhardness* dan uji keausan menggunakan alat ASTM G65.

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian Komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada material *Structural Steel* JIS SS400 kemudian dibandingkan dengan komposisi kimia dari spesimen yang sudah diberikan perlakuan *Hardfacing*. Pengujian dilakukan terhadap ke-enam spesimen uji dan satu material dasar. Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu *Optical Emission Spectroscopy* dari Belec, Jerman yang dimiliki PT. Ditek Jaya.

Pengambilan data dilakukan pada permukaan material bagian logam las (*weld metal*). Pengujian dilakukan sebanyak lima titik lalu nilai kandungan kimianya dirata-rata.



Gambar 4.1 Ilustrasi pengujian spektrometri pada spesimen paduan *hardfacing* (a) sampel (b) lokasi uji pada permukaan atas lapisan logam las (*weld metal*)

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Weld Metal* WT 450

Adapun hasil pengujian komposisi kimia spesimen yang diberikan *Filler Metal* WT 450 *Stringing* dan *Weaving* ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Data Pengujian Spektrometri *Weld Metal* WT 450

Unsur	<i>Structural Steel</i> JIS SS400	WT 450 <i>Stringing</i>	WT 450 <i>Weaving</i>
C	0.233	0.220	0.192
Si	0.253	0.377	0.388
Mn	0.732	1.114	1.126
P	0.007	0.008	0.008
Ti	0.011	0.040	0.043
Ni	<0.001	0.019	0.019
Cr	0.373	2.812	2.834
Mo	0.134	0.385	0.368
Cu	0.002	0.010	0.004
V	0.002	0.025	0.024

Berdasarkan tabel 4.1, hasil komposisi kimia yang dimiliki spesimen setelah diberikan perlakuan *hardfacing* memiliki nilai yang berbeda apabila dibandingkan dengan material standar JIS SS400. Namun tidak ada perbedaan komposisi kimia yang signifikan antara metode *stringing* dan *weaving*. Unsur karbon terlihat lebih rendah yaitu sebanyak 0.220% pada metode *stringing* dan 0.192% pada metode *weaving* namun pada unsur lain memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan material standar JIS SS400. Perbedaan signifikan dapat dilihat dari beberapa unsur seperti mangan, kromium dan molibdenum. Kandungan mangan pada permukaan paduan *hardfacing* memiliki nilai 1.114% pada metode *stringing* dan 1.126% pada metode *weaving*. Kandungan kromium pada permukaan paduan *hardfacing* menjadi unsur yang paling dominan memiliki kandungan sebanyak 2.812% pada metode *stringing* dan 2.834% pada metode *weaving*. Sedangkan pada unsur molybdenum, memiliki nilai kandungan sebesar 0.385% pada metode *stringing* dan 0.368% pada metode *weaving*.

Kromium merupakan salah satu unsur paduan yang terdapat pada baja paduan *hardfacing*. Keberadaan kromium pada baja paduan biasanya menjadi salah satu elemen pembentuk karbida. Selain kromium ada juga vanadium namun pada baja paduan ini nilai kandungan vanadium termasuk rendah. Kromium juga dapat menambahkan kekuatan dari material. Selain itu kromium juga dapat menambah sifat tahan aus akibat pembentukan karbida pada permukaan material. Dapat kita lihat juga terdapat unsur mangan sebagai unsur dengan kandungan yang cukup tinggi. Keberadaan mangan pada material ini dapat memengaruhi temperatur transformasi austenit. Dari nilai komposisi kimia ini dapat kita lihat bahwa perbedaan metode pengelasan tidak memengaruhi nilai komposisi kimia yang dihasilkan.

4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Weld Metal WT 650

Adapun hasil pengujian komposisi kimia spesimen yang diberikan *Filler Metal WT 650 Stringing* dan *Weaving* ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Data Pengujian Spektometri *Weld Metal* WT 650

Unsur	<i>Structural Steel</i> JIS SS400	WT 650 <i>Stringing</i>	WT 650 <i>Weaving</i>
C	0.233	0.437	0.422
Si	0.253	2.752	2.781
Mn	0.732	0.546	0.561
P	0.007	0.001	0.001
Ti	0.011	0.190	0.153
Ni	<0.001	0.026	0.030
Cr	0.373	7.486	7.516
Mo	0.134	0.450	0.441
Cu	0.002	0.003	0.007
V	0.002	0.047	0.046

Berdasarkan tabel 4.2, hasil komposisi kimia yang dimiliki spesimen setelah diberikan perlakuan *hardfacing* memiliki nilai yang berbeda apabila dibandingkan dengan material standar JIS SS400. Pada baja paduan ini nilai unsur mangan dan phosphor lebih rendah dibandingkan dengan baja standar JIS SS400 sedangkan unsur lain memiliki nilai lebih tinggi. Perbedaan signifikan dapat dilihat dari beberapa unsur seperti karbon, silika, dan kromium. Namun tidak ada perbedaan komposisi kimia yang signifikan antara metode *stringing* dan *weaving*. Kandungan karbon pada permukaan paduan *hardfacing* memiliki nilai 0.437% pada metode *stringing* dan 0.422% pada metode *weaving* sehingga baja ini dapat dikatakan sebagai baja karbon menengah. Kandungan unsur silika pada permukaan paduan *hardfacing* memiliki nilai 2.752% pada metode *stringing* dan 2.781% pada metode *weaving*. Kandungan kromium pada permukaan paduan *hardfacing* ini menjadi unsur yang paling dominan memiliki

kandungan sebanyak 7.486% pada metode *stringing* dan 7.516% pada metode *weaving*.

Pada baja hasil *hardfacing* ini, dapat dilihat kadar karbon memiliki nilai yang lebih tinggi. Penambahan unsur karbon dapat meningkatkan nilai kekerasan dari baja ini. Kromium merupakan unsur paduan yang paling banyak terdapat pada baja paduan ini. Keberadaan kromium pada baja paduan biasanya menjadi salah satu elemen pembentuk karbida. Selain kromium ada juga vanadium namun pada baja paduan ini nilai kandungan vanadium termasuk rendah. Kromium juga dapat menambahkan kekuatan dari material. Selain itu kromium juga dapat menambah sifat tahan aus akibat pembentukan karbida pada permukaan material. Dapat kita lihat juga terdapat unsur silika yang memiliki nilai yang besar. Keberadaan unsur silika dapat meningkatkan kekerasan dan sifat tahan aus material ini. Dari nilai komposisi kimia ini dapat kita lihat bahwa perbedaan metode pengelasan tidak memengaruhi nilai komposisi kimia yang dihasilkan.

4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Weld Metal* WT 13Mn dan WT13Mn+650

Adapun hasil pengujian komposisi kimia spesimen yang diberikan *Filler Metal* WT 13Mn *Stringing* dan WT 13Mn+650 *Stringing* ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Spektometri *Weld Metal* WT 13Mn dam WT 13Mn+650

Unsur	Structural Steel JIS SS400	WT 13Mn Stringing	WT 13Mn +650 Stringing
C	0.233	0.666	0.555
Si	0.253	0.259	1.962
Mn	0.732	11.228	4.432
P	0.007	0.009	0.001
Ti	0.011	0.003	0.109
Ni	<0.001	0.721	0.343
Cr	0.373	2.935	5.848
Mo	0.134	0.037	0.307
Cu	0.002	0.007	0.001
V	0.002	0.062	0.053

Berdasarkan tabel 4.3, hasil komposisi kimia yang dimiliki spesimen setelah diberikan perlakuan *hardfacing* memiliki nilai yang berbeda apabila dibandingkan dengan material standar JIS SS400 begitu pula dengan material yang diberikan satu dengan dua *layer*. Perbedaan signifikan dapat dilihat dari beberapa unsur seperti karbon, mangan, dan kromium. Kandungan karbon pada permukaan paduan *hardfacing* memiliki nilai 0.666% pada paduan satu *layer* dan 0.555% pada paduan dua *layer* sehingga baja ini dapat dikatakan sebagai baja karbon menengah. Kandungan unsur mangan pada permukaan paduan *hardfacing* memiliki nilai 11.228% sehingga membuat unsur ini paling banyak pada paduan satu *layer* dan 4.432% pada paduan dua *layer*. Kandungan kromium pada permukaan paduan *hardfacing* ini kandungan sebanyak 2.935% pada paduan satu *layer* dan 5.848% sehingga membuat unsur ini paling banyak pada paduan dua *layer*.

Pada baja hasil *hardfacing* ini, dapat dilihat kadar karbon memiliki nilai yang lebih tinggi. Penambahan unsur karbon dapat meningkatkan nilai kekerasan dari baja ini. Pada baja paduan satu

lapis (WT 13Mn) memiliki nilai mangan lebih tinggi daripada baja paduan dua lapis (WT 13Mn+650). Adanya unsur mangan ini dapat memengaruhi temperatur transformasi austenit sehingga menyebabkan austenit tetap stabil pada temperatur kamar. Sedangkan untuk unsur kromium lebih banyak dimiliki oleh baja paduan dua lapis. Keberadaan kromium pada baja paduan biasanya menjadi salah satu elemen pembentuk karbida. Kromium juga dapat menambahkan kekuatan dari material. Selain itu kromium juga dapat menambah sifat tahan aus akibat pembentukan karbida pada permukaan material. Dapat kita lihat juga pada baja paduan dua lapis terdapat unsur silika yang memiliki nilai yang besar. Keberadaan unsur silika dapat meningkatkan kekerasan dan sifat tahan aus material ini.

4.1.4 Ringkasan Komposisi Kimia *Weld Metal* Spesimen

Tabel 4.4 Hasil Data Pengujian Spektometri *Weld Metal*

Filler Metal	Unsur-unsur (%wt)									
	V	C	Si	Mn	P	Ti	Ni	Cr	Mo	Cu
WT 450 S	0.025	0.220	0.377	1.114	0.008	0.040	0.019	2.812	0.385	0.010
WT 450 W	0.024	0.192	0.388	1.126	0.008	0.043	0.019	2.834	0.368	0.004
WT 650 S	0.047	0.437	2.752	0.546	0.001	0.190	0.026	7.486	0.450	0.003
WT 650 W	0.046	0.422	2.781	0.561	0.001	0.153	0.030	7.516	0.441	0.007
WT 13 Mn S	0.062	0.666	0.259	11.228	0.009	0.003	0.721	2.935	0.037	0.007
WT 13 Mn+650 S	0.053	0.555	1.962	4.432	0.001	0.109	0.343	5.848	0.307	0.001

Pada tabel 4.4 dapat dilihat perbandingan komposisi kimia dari seluruh baja paduan *hardfacing*. Pada baja paduan dengan *filler metal* WT 450 memiliki nilai unsur Cu (tembaga) 0.010% sehingga menjadi nilai paling besar diantara keenam spesimen. Pada baja paduan dengan *filler metal* WT 650 memiliki nilai unsur Si 2.781%, Ti 0.190%, Cr 7.516%, dan Mo 0.450% sehingga menjadi nilai unsur paling besar diantara keenam spesimen. Pada baja paduan dengan *filler metal* WT 13Mn satu lapis memiliki nilai unsur V 0.062%, C 0.666%, Mn 11.228%, P 0.009%, dan Ni 0.721% sehingga menjadi nilai unsur paling besar diantara keenam spesimen. Sedangkan untuk baja paduan dua lapis WT13Mn + 650

tidak memiliki nilai unsur yang dominan diantara keenam spesimen.

Berdasarkan tabel 4.4 dapat kita lihat bahwa dari ketiga *filler metal* yang dipakai pada perlakuan *hardfacing* ini, permukaan hasil *hardfacing* memiliki nilai komposisi kimia berbeda satu sama lain sesuai dengan komposisi kimia *filler metal*. Jika kita lihat dari hasil pengujian komposisi kimianya baja paduan WT 650 menjadi baja paduan yang memiliki nilai kekerasan dan tahan aus paling besar diantara keenam spesimen. Hal ini dikarenakan paduan ini memiliki unsur kromium yang paling besar. Kromium pada paduan ini memiliki peran sebagai pembentuk karbida pada baja. Selain itu dari pengujian dapat kita lihat baja paduan WT 13 Mn memiliki unsur paduan Mn yang besar, unsur ini dapat menyebabkan fasa austenit akan stabil dan terlihat di struktur mikro pada temperatur kamar.

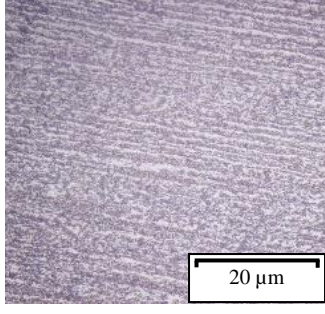
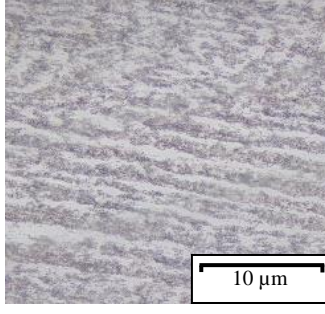
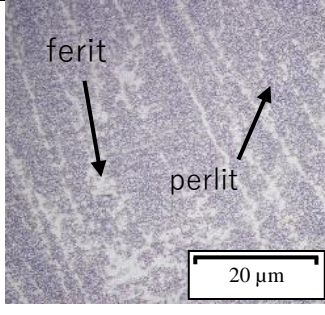
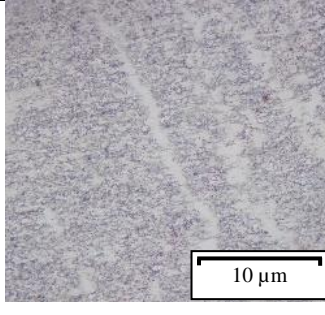
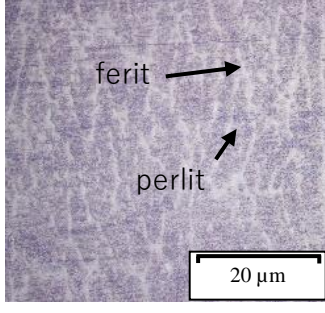
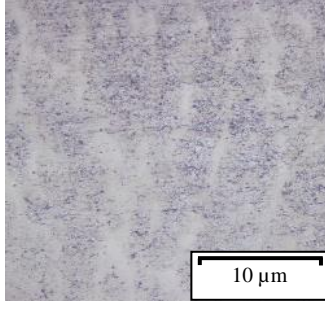
4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian *metallography* dilakukan untuk mengamati struktur mikro pada spesimen *hardfacing*. Spesimen yang disiapkan untuk pengujian *metallography* ada 6 spesimen yaitu spesimen hasil *hardfacing* dengan metode dan *filler metal* yang berbeda. Enam spesimen tersebut adalah WT 450 *Stringing*, WT 450 *Weaving*, WT 650 *Stringing*, WT 650 *Weaving*, WT 13Mn *Stringing*, dan WT 13Mn + 650 *Stringing*. Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu persiapan spesimen seperti pemotongan, *grinding and polishing*, lalu pemberian etsa. Setelah itu diamati menggunakan mikroskop *optic olympus* dengan perbesaran tertentu. Berikut hasil dari struktur mikro pada masing-masing spesimen.

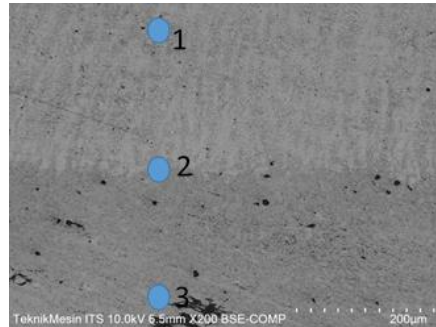
4.2.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *Hardfacing* WT 450

Pengamatan struktur mikro menggunakan teknik *metallography*. Spesimen diberi perlakuan pengelasan dengan *filler metal* WT 450 memakai metode *stringing* dan *weaving*.

Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT450

Metode	[200x]	[500x]
Base Metal		
String-ing		
Weav-ing		

Berdasarkan tabel 4.5 dapat kita lihat struktur mikro dari baja paduan hasil *hardfacing* WT 450 dengan perbesaran 200x dan 500x. Pengamatan dilakukan pada sisi samping dari baja paduan. Jika dilihat dari struktur mikro *base material* dan baja paduan *hardfacing* terdapat perubahan struktur mikro pada baja paduan. Pada bajuan *hardfacing* dapat terlihat fasa ferrit dan perlit. Ferrit ditunjukkan dengan area berwarna putih dan perlit terlihat berwarna gelap. Pada gambar diatas terlihat bahwa jumlah perlit lebih dominan dibandingkan dengan ferit. Namun tidak ada perbedaan struktur mikro antara paduan dengan metode *weaving* dan *stringing*.



(a)

Element	Weight %	Atomic %	Error %
S1 EDS Titik 1			
Cr K	1.86	1.84	5.01
Fe K	93.69	86.14	2.35
S1 EDS titik 2			
Cr K	1.68	1.67	5.28
Fe K	94.31	87.42	2.35
S1 EDS titik 3			
Al K	0.56	1.1	9.22
Fe K	96.79	91.55	2.34

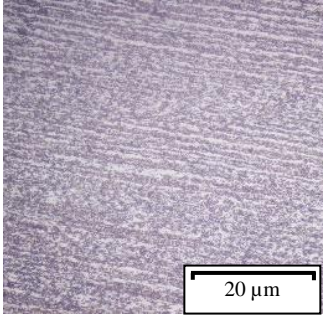
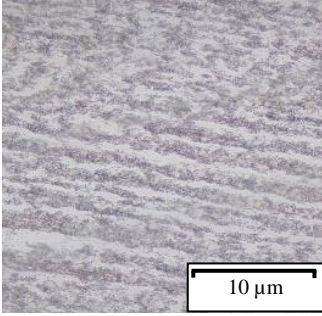
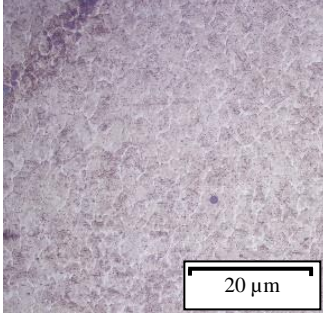
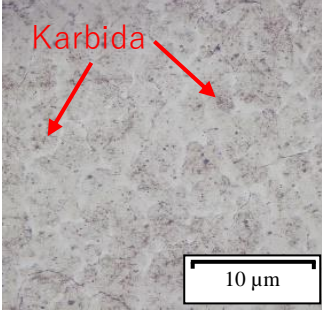
(b)

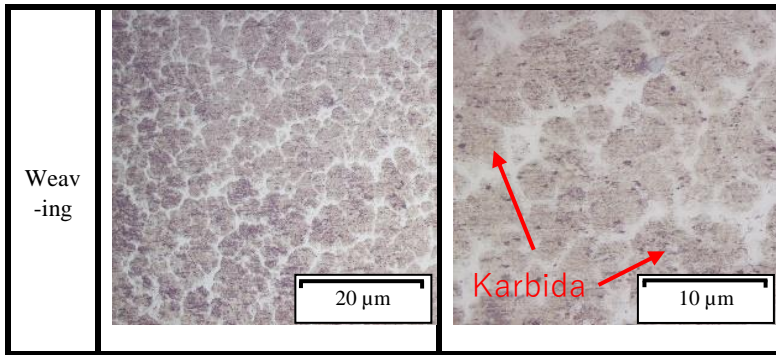
Gambar 4.2 Hasil Pengujian EDS pada WT 450 (a)
Mapping Titik EDS (b) Pengujian EDS

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.2(a) dapat dilihat terdapat tiga titik (1) HAZ, (2) *interface lapisan*, dan (3) *base metal*. Pada gambar 4.2(b) hasil pengujian EDS di lokasi HAZ dan *Base Material* spesimen WT 450 dapat terlihat bahwa nilai kandungan kromium pada HAZ mulai muncul dan semakin naik menuju ke arah *weld metal*.

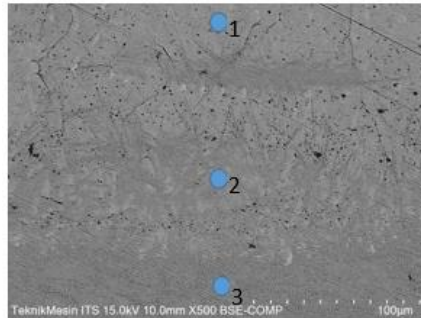
4.2.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *Hardfacing* WT 650

Tabel 4.6 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT 650

Metode	[200x]	[500x]
Base Metal		
Stringing		



Berdasarkan tabel 4.6 dapat kita lihat struktur mikro dari baja paduan hasil *hardfacing* WT 650 dengan perbesaran 200x dan 500x. Pengamatan dilakukan pada sisi samping dari baja paduan. Jika dilihat dari struktur mikro *base material* dan baja paduan *hardfacing* terdapat perubahan struktur mikro pada baja paduan. Pada bajuan *hardfacing* dapat terlihat adanya karbida pada struktur mikro paduan ini. Hal ini disebabkan oleh adanya unsur kromium sebagai pembentuk karbida pada paduan ini.



(a)

Element	Weight %	Atomic %	Error %
S4 EDS titik 1			
Si K	2.3	4.09	6.65
Cr K	5.98	5.74	3.72
Mn K	0.78	0.71	10.28
Fe K	86.29	77.22	2.41
S4 EDS titik 2			
Al K	0.53	0.97	10.56
Si K	2.05	3.63	6.73
Cr K	4.83	4.61	4.03
Mn K	0.7	0.64	10.61
Fe K	86.44	76.81	2.4
Cu K	0.47	0.37	39.15
S4 EDS titik 3			
Si K	0.94	1.73	7.42
Cr K	1.37	1.36	6.07
Fe K	93.76	86.31	2.35

(b)

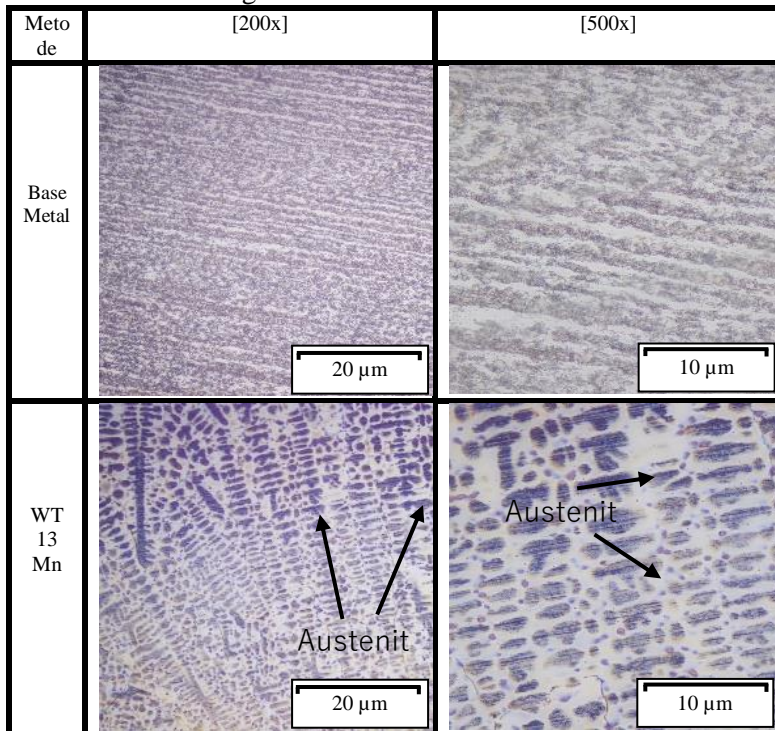
Gambar 4.3 Hasil pengujian EDS pada WT 650 (a)
Mapping titik EDS (b) Pengujian EDS

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.3(a) dapat dilihat terdapat tiga titik (1) HAZ, (2) *interface* lapisan, dan (3)

base metal. Pada gambar 4.3(b) hasil pengujian EDS di lokasi HAZ dan *base material* pada paduan WT 650 dapat terlihat bahwa nilai kandungan kromium dan silica pada HAZ mulai muncul dan semakin naik menuju ke arah *weld metal*. Kedua unsur ini yang menyebabkan adanya karbida pada baja paduan ini karena kedua unsur ini merupakan salah satu unsur pembentuk karbida.

4.2.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *Hardfacing* WT13Mn

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT13Mn

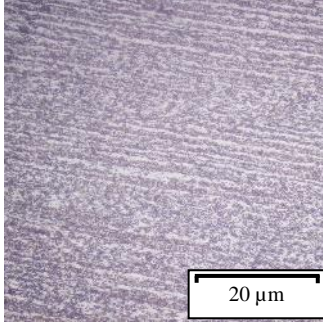
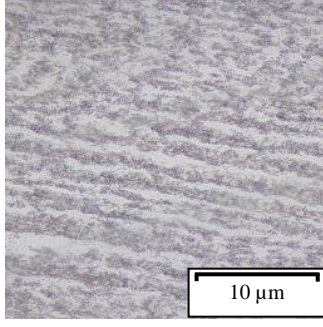
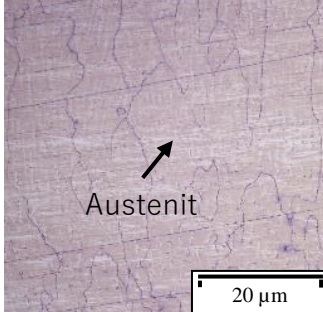
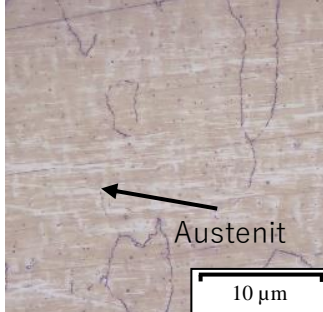


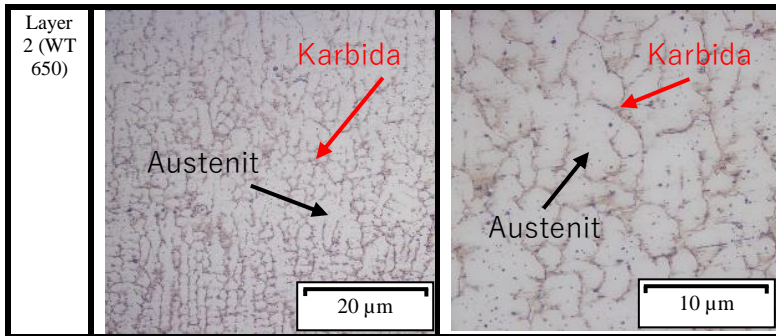
Berdasarkan tabel 4.7 dapat kita lihat struktur mikro dari baja paduan hasil *hardfacing* WT 13Mn dengan perbesaran 200x dan 500x. Pengamatan dilakukan pada sisi samping dari baja paduan. Jika dilihat dari struktur mikro *base material* dan baja

paduan *hardfacing* terdapat perubahan struktur mikro pada baja paduan. Pada bajuan *hardfacing* dapat terlihat fasa austenite berbentuk dendrit. Keberadaan austenit pada spesimen ini diakibat adanya unsur paduan mangan. Adanya unsur mangan pada material dapat menurunkan temperatur transformasi sehingga pada spesimen ini mangan berfungsi sebagai penstabil fasa austenit pada struktur mikro.

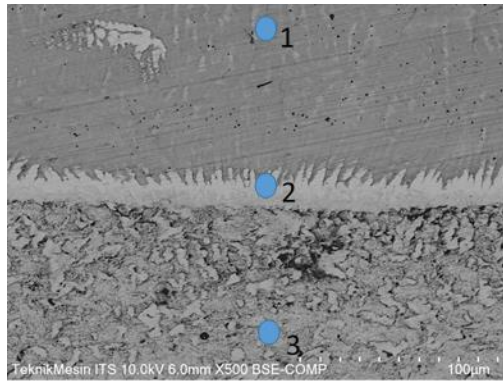
4.2.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro *Hardfacing* WT 13 Mn + 650

Tabel 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Mikro WT 13Mn + 650

Meto de	[200x]	[500x]
Base Metal		
Layer 1 (WT 13 Mn)		



Berdasarkan tabel 4.8 dapat kita lihat struktur mikro dari baja paduan hasil *hardfacing* WT 13Mn dengan perbesaran 200x dan 500x. Pengamatan dilakukan pada sisi samping dari baja paduan. Jika dilihat dari struktur mikro *base material* dan baja paduan *hardfacing* terdapat perubahan struktur mikro pada baja paduan lapisan pertama dan kedua. Pada bajuan *hardfacing* lapisan pertama dapat terlihat fasa austenite berbentuk dendrit. Keberadaan austenite pada spesimen ini diakibat adanya unsur paduan mangan. Adanya unsur mangan pada material dapat menurunkan temperatur transformasi sehingga pada spesimen ini mangan berfungsi sebagai penstabil fasa austenite pada struktur mikro. Sedangkan pada Lapisan kedua dengan *filler metal* WT 650 dapat terlihat adanya fasa austenite dan terdapat karbida di batas butirnya. Karbida pada batas butir ini diakibatkan karena adanya unsur kromium yang besar dan menjadi salah satu unsur pembentuk karbida.

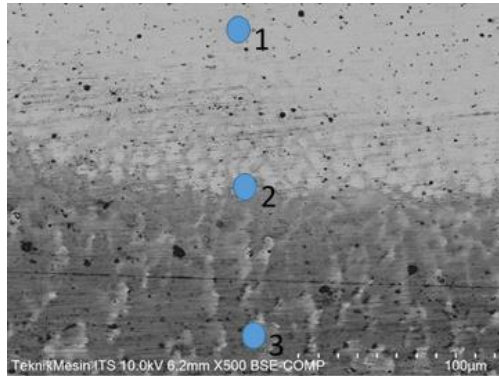


(a)

Element	Weight %	Atomic %	Error %
S2 Batas Bawah EDS Titik 1			
Cr K	3.07	2.99	4.77
Mn K	11.29	10.41	3.19
Fe K	80.89	73.35	2.4
S2 Batas Bawah EDS Titik 2			
Cr K	1.13	1.13	10.73
Mn K	3.91	3.7	4.48
Fe K	91.24	84.98	2.35
S2 Batas Bawah EDS Titik 3			
Fe K	96.86	91.29	2.34

(b)

Gambar 4.4 Hasil Pengujian EDS pada layer 1 (a)
Mapping Titik EDS (b)



(a)

Element	Weight %	Atomic %	Error %
S2 Batas Atas EDS Titik 1			
Si K	2.15	3.86	6.58
Cr K	6.57	6.37	3.52
Mn K	4.34	3.99	4.28
Fe K	82.79	74.77	2.43
S2 Batas Atas EDS Titik 2			
Si K	1.85	3.36	6.77
Cr K	5.64	5.53	3.73
Mn K	5.41	5.01	3.76
Fe K	83.31	75.96	2.42
S2 Batas Atas EDS Titik 3			
Cr K	3.19	3.07	4.76
Mn K	10.4	9.48	3.22
Ni K	1.3	1.11	12.54

(b)

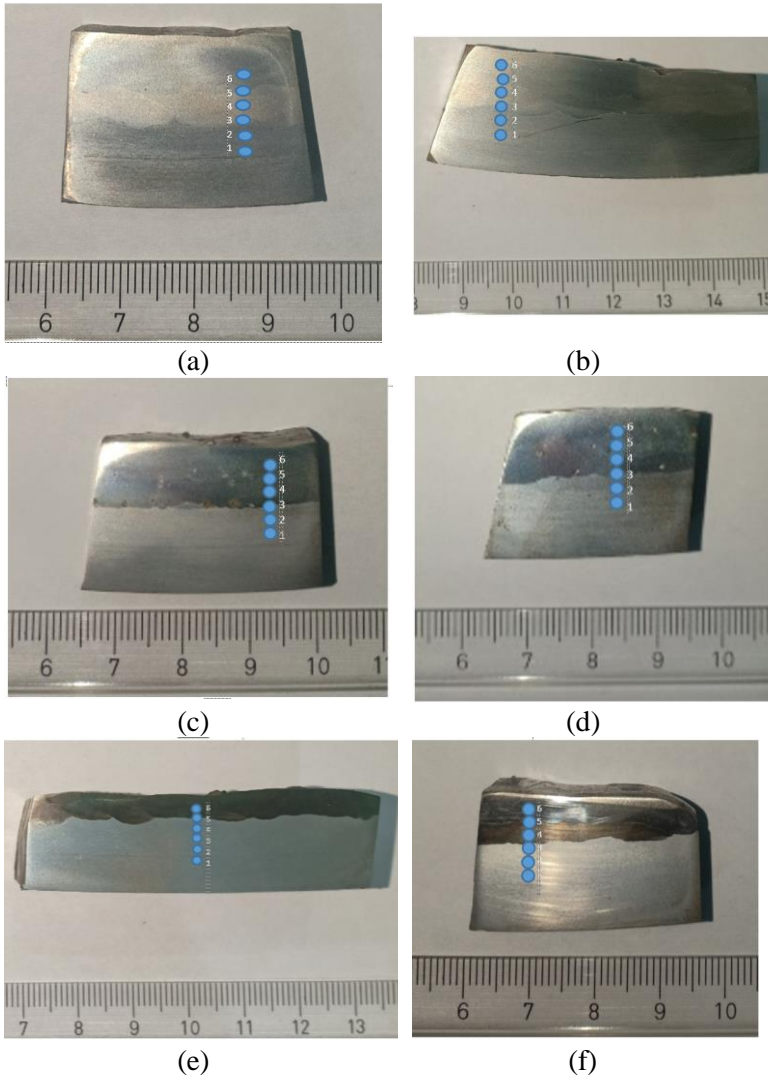
Gambar 4.5 Hasil Pengujian EDS pada layer 2 (a)
Mapping Titik EDS (b) Pengujian EDS

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.4 (a) dapat dilihat terdapat tiga titik (1) HAZ, (2) *interface lapisan*, dan (3) *base metal*. Pada gambar 4.4(b) EDS di lokasi HAZ dan Base Material pada layer 1 paduan WT 13Mn+650 dapat terlihat bahwa nilai kandungan kromium dan mangan pada HAZ mulai muncul dan semakin naik menuju ke arah *weld metal*. Lalu pada gambar

4.5 (b) layer 2 paduan WT 13Mn+650 dapat terlihat bahwa nilai kandungan mangan menurun tetapi kromium meningkat akibat penambahan *filler metal* WT 650. Selain itu mulai muncul kandungan silika dan meningkat searah menuju HAZ. Kedua unsur inilah yang menyebabkan adanya karbida yang terbentuk pada baja paduan.

4.3 Pengujian Kekerasan Mikro

Pengujian kekerasan mikro dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai kekerasan pada setiap spesimen yang sudah diberikan perlakuan *hardfacing*. Pengujian ini menggunakan *micro vickers hardness* dengan pembebanan 19.6N (2 HV) dalam kurun waktu sepuluh detik. Berikut gambar posisi indentasi pengujian *microhardness* pada masing masing spesimen uji, dengan jarak tiap titik indentasi sepanjang 2 mm.



Gambar 4.6 Posisi Indentasi Pengujian Kekerasan pada Sisi Samping Spesimen Baja Paduan *Hardfacing* (a) WT 450 *Stringing*, (b) WT 450 *Weaving*, (c) WT 650 *Stringing*, (d) WT 650 *Weaving*, (e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650

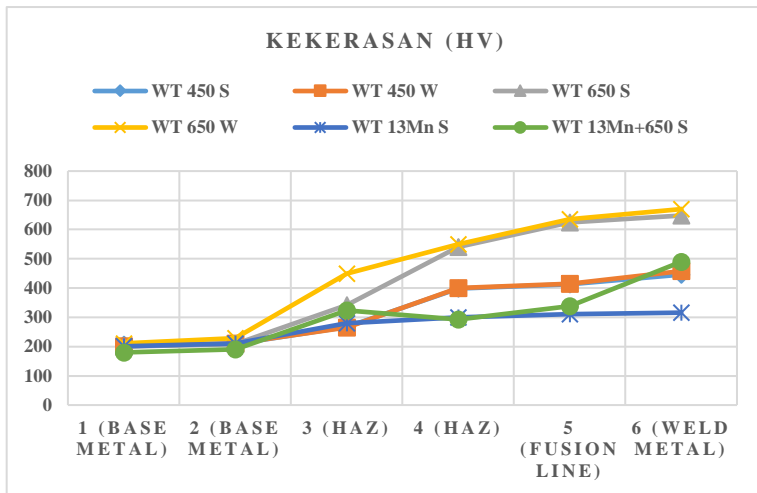
4.3.1 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Baja Paduan *Hardfacing*

Pengujian kekerasan mikro dilakukan pada spesimen hasil *hardfacing* dengan *filler metal* WT 450 Stringing, WT 450 Weaving, WT 650 Stringing, WT 650 Weaving, WT 13Mn, dan WT 13Mn+650. Pengujian dilakukan sebanyak 6 titik, titik pertama dilakukan pada lapisan *base material* menuju ke lapisan *weld metal* di titik keenam. Berikut hasil pengujian kekerasan pada masing-masing spesimen uji pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Baja Paduan *Hardfacing*

Titik Indentasi	Kekerasan (HV)					
	WT 450 Stringing	WT 450 Weaving	WT 650 Stringing	WT 650 Weaving	WT 13Mn Stringing	WT 13Mn +650 Stringing
1 (BM)	206	202	200	211	201	180
2 (BM)	209	210	208	228	211	190
3(HAZ)	267	266	341	450	280	324
4(HAZ)	398	400	541	550	300	293
5(Fusion)	413	415	624	635	310	338
6 (WM)	446	458	648	670	316	490

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh pada tabel 4.9 dapat dilihat data nilai kekerasan pada masing-masing spesimen baja struktural JIS SS400 hasil perlakuan *hardfacing*. Terlihat bahwa baja paduan dengan *filler metal* WT 650 memiliki nilai kekerasan paling tinggi. Pada WT 650 *weaving* memiliki nilai kekerasan 670 HV dan pada WT 650 *stringing* memiliki nilai kekerasan 648 HV. Sedangkan nilai kekerasan paling rendah dimiliki oleh baja paduan dengan *filler metal* WT 13Mn dengan nilai kekerasan sebesar 316 HV.



Gambar 4.7 Grafik *trendline* nilai kekerasan baja paduan *hardfacing*

Pada gambar 4.7 merupakan grafik dari *trendline* nilai kekerasan pada baja paduan *hardfacing*. Dapat kita lihat pada grafik bahwa *trendline* nilai kekerasan pada titik 1 menuju titik 6 naik. Titik satu merupakan titik pengujian pada lokasi *base material* sedangkan titik enam merupakan titik pengujian pada lokasi *weld metal*. Maka dapat kita lihat nilai kekerasan dari *base material* menuju *weld metal* akan meningkat.

Nilai kekerasan pada bagian *weld metal* lebih besar dari pada nilai kekerasan pada bagian *base metal*. Hal ini dikarenakan adanya penambahan *filler metal* dengan komposisi kimia yang berbeda dari komposisi kimia *base metal*. Beberapa nilai unsur-unsur paduan yang terdapat pada lapisan *weld metal* lebih besar dibandingkan dengan nilai unsur-unsur paduan pada lapisan *base metal*. Berdasarkan tabel 4.9 nilai kekerasan paling tinggi dimiliki oleh baja paduan dengan *filler metal* WT650. Hal ini disebabkan adanya peningkatan unsur-unsur paduan pembentuk karbida pada baja paduan ini. Salah satu unsur paduan pembentuk karbida ada kromium. Dapat kita lihat juga pada spesimen WT 13Mn memiliki

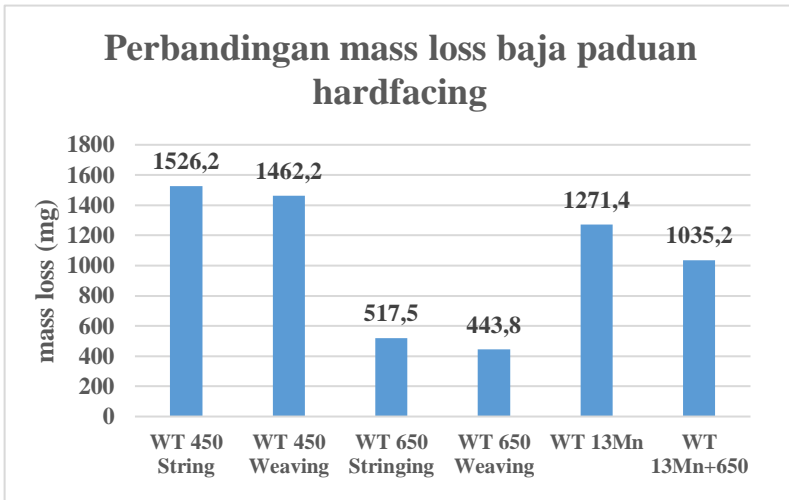
nilai kekerasan yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena fasa yang terbentuk pada spesimen ini adalah fasa austenit. Fasa austenit ini memiliki sifat yang lebih lunak.

4.4 Hasil Pengujian Keausan Baja Paduan *Hardfacing*

Pengujian keausan dilakukan pada spesimen hasil *hardfacing* dengan *filler metal* WT 450 *Stringing*, WT 450 *Weaving*, WT 650 *Stringing*, WT 650 *Weaving*, WT 13Mn, dan WT 13Mn+650. Pengujian dilakukan menggunakan alat *Dry Sand-Rubber Wheel Abrasion Test* yang menggunakan standar ASTM G65. Alat yang digunakan ini dalam kondisi yang baik dengan komponen-komponen yang masih baru dan belum terpakai sebelumnya. Pada pengujian ini digunakan pasir silika dengan ukuran 50/70 *mesh* dengan laju aliran 400g/menit. Pengujian ini dilakukan selama 5 menit dengan pembebanan sebesar 1 kilogram dan panjang keausan 1270.5 m. Pasir silika pada pengujian menjadi bahan yang lebih keras (*abrasive*) dibandingkan permukaan spesimen *hardfacing*. Pasir silika mengalir melalui *nozzle* menuju permukaan spesimen. Pada saat pasir silika mengalir, diberikan pembebanan pada lengan segitiga di alat. Pembebanan yang diberikan menyebabkan adanya gaya tekan spesimen terhadap *rubber wheel* sehingga pasir silika memiliki gaya tekan di permukaan pada saat mengalir melalui permukaan spesimen. Berikut hasil pengujian keausan pada masing-masing spesimen uji pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Keausan Baja Paduan *Hardfacing*

Spesimen	<i>Mass Loss</i> (mg)
WT 450 <i>Stringing</i>	1526.2
WT 450 <i>Weaving</i>	1462.2
WT 650 <i>Stringing</i>	517.5
WT 650 <i>Weaving</i>	443.8
WT 13Mn <i>Stringing</i>	1271.4
WT 13Mn+650 <i>Stringing</i>	1035.2

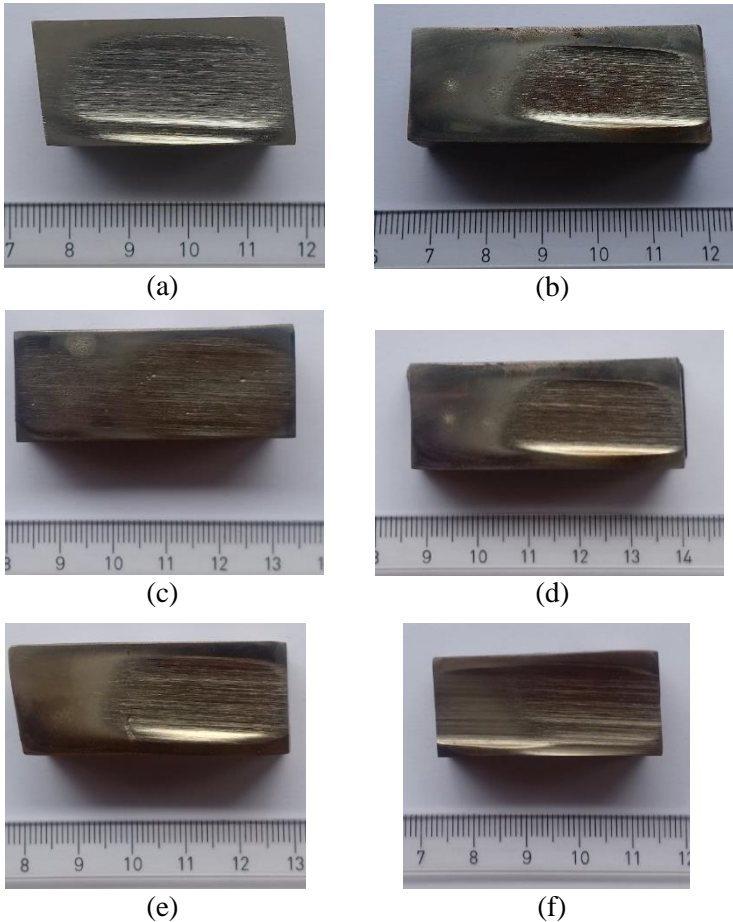


Gambar 4.8 Grafik Perbandingan *mass loss* baja paduan *hardfacing*

Berdasarkan hasil pengujian keausan yang diperoleh pada tabel 4.10 diperoleh nilai *mass loss* pada masing-masing spesimen JIS SS400 hasil *hardfacing* dengan beberapa *filler metal*, terlihat bahwa pada spesimen baja paduan WT 450 *stringing* memiliki nilai reduksi massa paling tinggi sebesar 1526.2 miligram. Sedangkan nilai reduksi massa paling rendah terdapat pada spesimen baja paduan dengan *filler metal* WT 650 *weaving* dengan nilai reduksi massa sebesar 443.8 miligram. Pada pengujian ini memakai satu sampel spesimen pada setiap variasi baja paduannya. Hal ini karena pada pengujian ingin melihat bagaimana perubahan massa dan bentuk permukaan setelah mengalami gesekan dengan perlakuan yang sama.

Spesimen baja paduan dengan *filler metal* WT 650 memiliki sifat tahan aus lebih besar dibandingkan dengan baja paduan dengan *filler metal* WT 450. Hal ini disebabkan dengan adanya kandungan unsur kromium yang lebih besar, kandungan kromium pada baja paduan *hardfacing* akan membentuk karbida M_7C_3 (Cr_7C_3) yang dapat menambah sifat tahan aus dari material

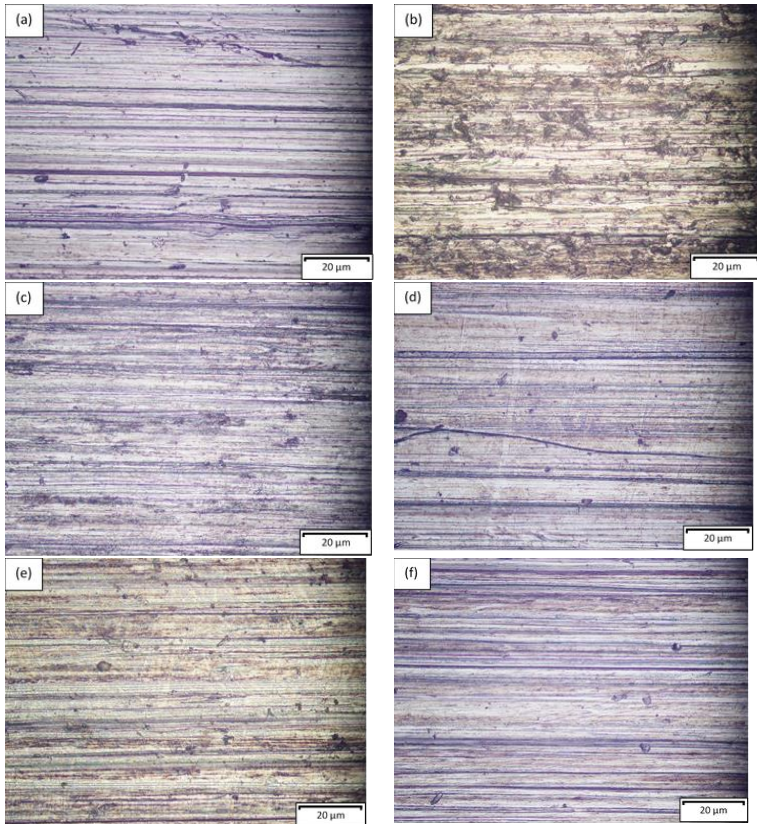
tersebut. Pada Baja paduan WT 13Mn memiliki nilai reduksi massa sebesar 1271.4 miligram dan baja paduan WT 13Mn+650 memiliki nilai reduksi massa sebesar 1035.2 miligram. Maka dapat dilihat bahwa paduan *hardfacing* dengan dua lapisan akan memiliki sifat tahan aus yang lebih tinggi. Pada lapisan kedua memiliki laju pendinginan lebih lambat sehingga Austenite yang terdapat pada struktur mikro membuat permukaan material ini menjadi lebih lunak (*ductile*). Hal ini dapat disebabkan juga oleh adanya penambahan *filler metal* WT650 pada lapisan kedua spesimen ini sehingga menyebabkan komposisi kimia permukaan yang dimiliki spesimen ini sama dengan spesimen WT650 itu sendiri. Lalu pada paduan WT 13 Mn memiliki sifat tahan aus lebih besar dari pada baja paduan WT 450. Sedangkan pada nilai kekerasannya baja paduan WT 13Mn memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan baja paduan WT450.



Gambar 4.9 Pengamatan makro permukaan hasil pengujian keausan pada spesimen (a) WT 450 *Stringing*, (b) WT 450 *Weaving*, (c) WT 650 *Stringing*, (d) WT 650 *Weaving*, (e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650

Pada gambar 4.9 merupakan pengamatan spesimen secara makro setelah dilakukan pengujian keausan ASTM G65. Terdapat *wear track* pada permukaan spesimen. Dapat dilihat secara makro

kedalaman *wear track* pada WT 650 sangat kecil, sedangkan pada WT 450 kedalaman *wear track* lebih besar.



Gambar 4.10 Pengamatan mikro perbesaran 200x pada permukaan hasil pengujian keausan spesimen (a) WT 450 *stringing*, (b) WT 450 *weaving*, (c) WT 650 *stringing*, (d) WT 650 *weaving*, (e) WT 13Mn, (f) WT 13Mn+650

Pada gambar 4.10 merupakan hasil pengamatan mikro pada permukaan spesimen WT 450 & WT 650. WT 450 adalah spesimen dengan nilai reduksi massa terbesar dan WT 650 adalah

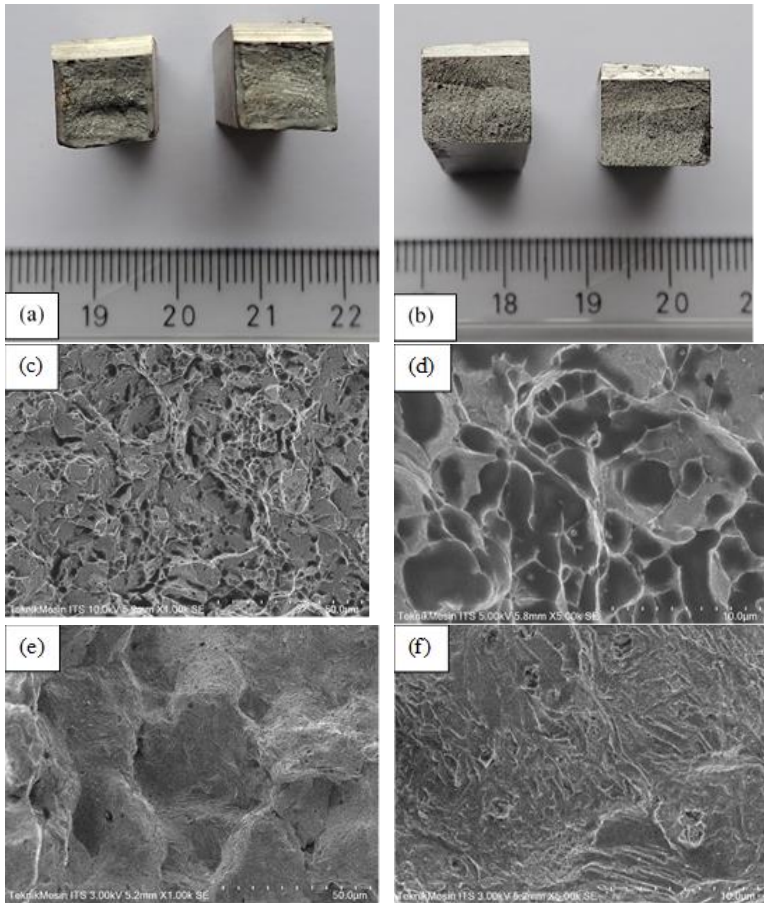
spesimen dengan nilai reduksi massa terkecil. Dapat dilihat mekanisme keausan yang terjadi pada spesimen ada dua yaitu *microploughing* dan *microcutting*. *Microploughing* biasanya sering terjadi pada spesimen dengan sifat lunak (*ductile*). *Microcutting* biasanya terjadi pada spesimen dengan sifat getas (*brittle*).

4.5 Hasil Pengujian *Impact* Baja Paduan *Hardfacing*

Pengujian *impact* dilakukan pada spesimen hasil *hardfacing* dengan *filler metal* WT 450 *Stringing* dan WT 650 *Stringing*. Pengujian hanya dilakukan pada dua spesimen karena pada metode *stringing* dan *weaving* tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada komposisi kimia dan struktur mikro sehingga memiliki sifat mekanik yang sama. Pengujian dilakukan menggunakan alat *Charpy-Impact Tester* tipe PW15L dari Wolpert Jerman yang dimiliki Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Alat ini mempunyai kapasitas 150 Joule dan dilakukan pengujian pada temperatur 26.8⁰C. Metode pengujian *impact* yang dilakukan adalah metode *charpy* dengan *notch* berbentuk *V-notch*. Spesimen yang diuji memiliki dimensi 10x10x55 mm. Berikut hasil pengujian keausan pada masing-masing spesimen uji pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Pengujian *Impact* Baja Paduan *Hardfacing*

Spesimen	<i>Impact Energy</i> (J)
WT 450 <i>Stringing</i>	23.0
WT 650 <i>Stringing</i>	5.0



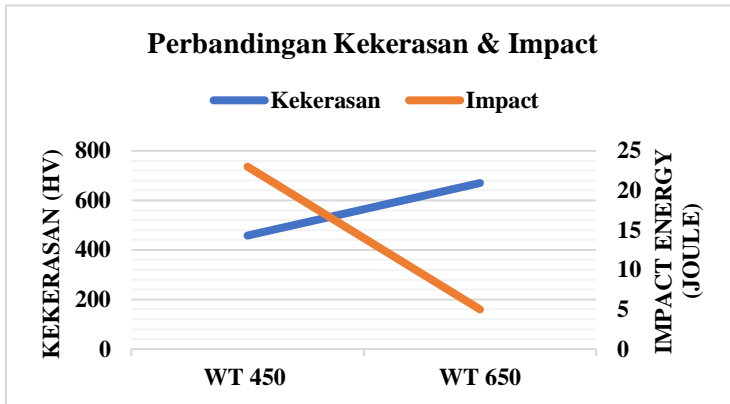
Gambar 4.11 Pengamatan makro spesimen pada permukaan patahan (a) WT 450, (b) WT 650. Pengamatan mikro dengan SEM pada permukaan patahan (c) WT 450 perbesaran 1000x, (d) WT 450 perbesaran 5000x, (e) WT 650 perbesaran 1000x, (f) WT 650 perbesaran 5000x

Berdasarkan hasil pengujian keausan yang diperoleh pada tabel 4.11 diperoleh nilai *impact energy* (*joule*) pada spesimen JIS

SS400 hasil *hardfacing* dengan *filler metal* WT 450 & 650. Dapat dilihat bahwa pada spesimen baja paduan WT 450 memiliki nilai *impact energy* sebesar 23 joule. Sedangkan nilai *impact* sebesar 5 joule. Nilai *impact energy* pada paduan WT 450 lebih besar dibandingkan paduan WT 650. Hal ini menandakan bahwa pada WT 450 dapat menerima energi lebih besar untuk terjadinya patah atau rusak pada material.

Setelah mengalami tumbukan kedua spesimen uji mengalami patah pada keseluruhan penampangnya. Pada gambar 4.11 (a) (b) dapat terlihat secara makro pada permukaan kedua sampel paduan memiliki kombinasi pola patahan. Area *ductile* (warna gelap) lebih sedikit dibandingkan area *brittle* (warna terang). Jika dibandingkan area *ductile* pada paduan WT 450 memiliki area lebih besar dibandingkan paduan WT 650. Sehingga pada paduan WT 450 memiliki sifat keuletan lebih besar dibandingkan paduan WT 650. Hal ini dapat dilihat pula pada patahan sampel WT 450 terlihat adanya *necking* di sepanjang sisi samping patahan sedangkan pada sampel WT 650 tidak ada *necking*. *Necking* pada patahan sampel menandakan adanya perubahan plastis terlebih dahulu sebelum terjadinya patah pada spesimen.

Gambar 4.11 (c) (d) (e) (f) merupakan gambar pada pengamatan secara mikro melalui alat SEM-EDS. Gambar 4.11 (c) (d) dapat dilihat pada sampel WT 450 terdapat *dimple* pada permukaan patahan dengan *void* yang besar yang menandakan terjadinya *intergranular fracture* pada mikrostruktur material. Gambar 4.10(e) (f) dapat dilihat pada sampel WT 650 terdapat *cleavage* yang menandakan terjadinya *transgranular fracture* pada mikrostruktur. Dari pola patahan dapat kita klasifikasi bahwa sampel WT 450 memiliki sifat keuletan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel WT 650.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan antara kekerasan dan *impact* baja paduan WT 450 & 650

Pada gambar 4.11 merupakan grafik dari perbandingan antara nilai kekerasan dan *impact* baja paduan WT 450 dengan WT 650. Dapat dilihat nilai kekerasan WT 650 lebih besar dibandingkan WT 450 hal ini ditandai oleh garis berwarna biru yang naik. Namun pada nilai *impact energy* WT 650 lebih kecil dibandingkan WT 450 yang ditandai oleh garis berwarna oranye yang menurun. Pada gambar 4.10 ini dapat kita simpulkan bahwa nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai *impact energy*. Semakin besar nilai kekerasannya maka *impact energy* nya semakin kecil. Hal ini terjadi akibat sifat getas dan ulet yang terdapat pada baja paduan. Ketika memiliki sifat getas yang besar maka nilai kekerasan akan meningkat namun akan semakin mudah terjadinya patah sehingga nilai *impact energy* nya kecil.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh *hardfacing* baja struktural JIS SS400 dengan variasi *filler metal* terhadap struktur mikro dan kekerasan yaitu:

1. Pada baja paduan *hardfacing* dengan variasi *filler metal* memiliki struktur mikro yang berbeda dibandingkan dengan material standar JIS SS400. Pada paduan WT450 memiliki struktur perlit yang dominan dibandingkan ferit. Pada paduan WT650 memiliki karbida pada struktur mikro. Namun tidak ada perbedaan struktur mikro di antara baja paduan dengan metode pengelasan *stringing* dan *weaving*.
2. Pada baja paduan satu lapis WT13Mn terdapat fasa austenite akibat adanya unsur mangan yang dominan, sedangkan pada baja paduan dua lapis terdapat dua struktur mikro yang berbeda. Pada lapisan pertama terdapat fasa austenit dan pada lapisan kedua terdapat fasa austenit dan karbida.
3. Nilai kekerasan paling besar dimiliki baja paduan WT 650 *weaving* dengan nilai 670 HV, sedangkan nilai kekerasan paling kecil dimiliki baja paduan WT 13Mn dengan nilai 316 HV.
4. Sifat tahan aus paling baik dimiliki baja paduan WT 650 *weaving* dengan reduksi massa sebesar 443.8 miligram, sedangkan sifat tahan aus paling buruk dimiliki baja paduan WT 450 *stringing* dengan reduksi massa sebesar 1526.2 miligram. Mekanisme keausan yang terjadi adalah *microploughing* dan *microcutting*.
5. Nilai *impact energy* paduan WT 450 lebih besar dibandingkan paduan WT 650. Nilai *impact energy* pada WT 450 sebesar 23 Joule dan WT 650 sebesar 5 Joule.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, didapatkan beberapa saran yaitu:

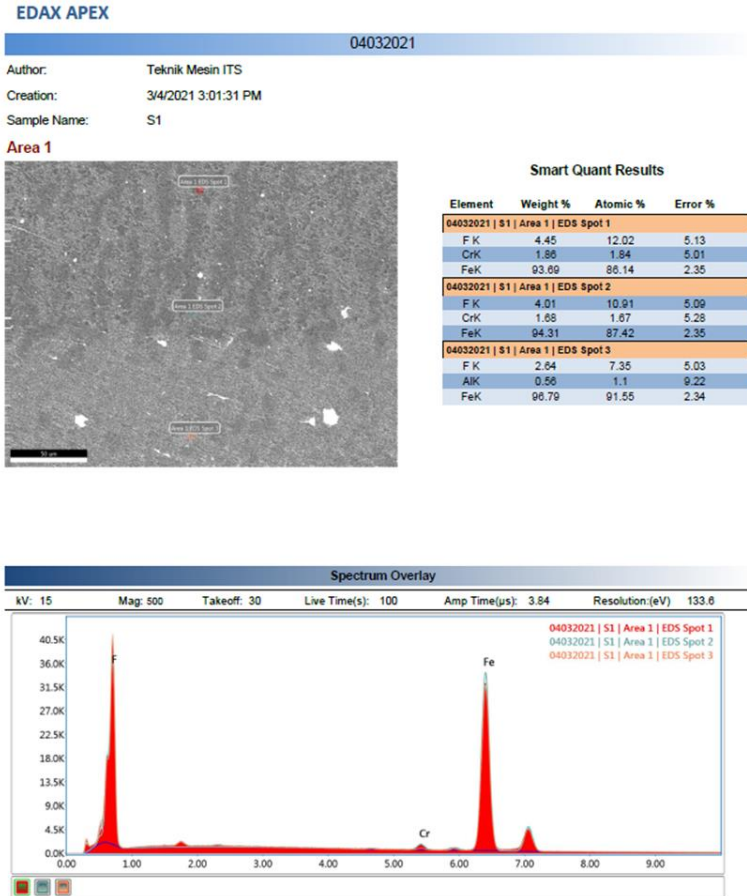
1. Menambah variasi paduan *hardfacing* dua lapis dengan *filler metal* yang sama agar mengetahui perubahan struktur mikro dan sifat mekanik akibat paduan dengan dua lapis *filler metal* yang sama.
2. Melakukan pengujian SEM pada permukaan material setelah dilakukan pengujian keausan untuk mengetahui mekanisme keausan secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Atamert, S. *Stability, Wear Resistance, And Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys*. University of Cambridge. 1988.
2. L. B. Larry Jeffus, *Welding Skills, Processes and Practices for Entry-Level Welders*, Canada, Nelson Education. 2010.
3. S. Kou, *Welding Metallurgy*, Canada. 2003.
4. J. W. E. Society, *Advanced Welding and Joining Technologies*, Japan: Japan Welding Society. 2006.
5. Kalpakjian S., Schmid S., *Manufacturing Engineering and Technology 6th Edition*. 2009.
6. Bringas J., *Handbook of Co-mparative World Steel Standards 3rd Edition*. USA. 2004
7. Suherman,W. Diktat Pengetahuan Bahan Teknik, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 1987
8. *Catalog Hankook Weldtek*. 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN



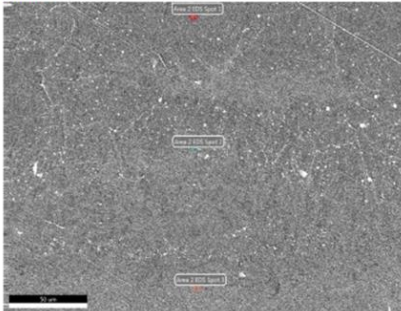
Gambar 1. SEM EDS WT 450

EDAX APEX

04032021

Author: Teknik Mesin ITS
 Creation: 3/4/2021 3:28:16 PM
 Sample Name: S4

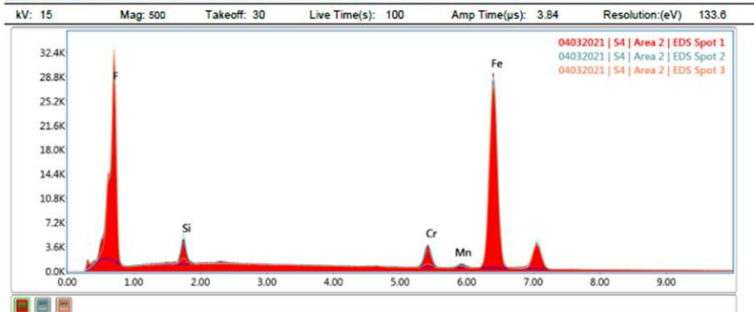
Area 2



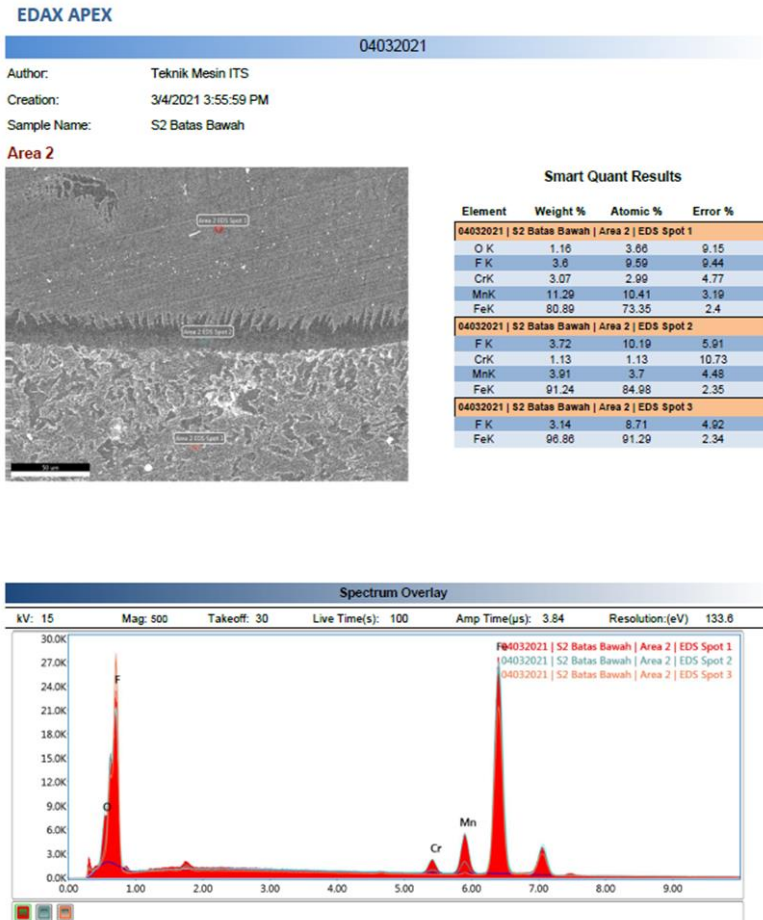
Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
04032021 S4 Area 2 EDS Spot 1			
F K	4.55	12.24	6.26
SiK	2.3	4.09	6.65
CrK	5.98	5.74	3.72
MnK	0.78	0.71	10.28
FeK	86.29	77.22	2.41
04032021 S4 Area 2 EDS Spot 2			
F K	4.97	12.98	6.01
AlK	0.53	0.97	10.56
SiK	2.05	3.63	6.73
CrK	4.83	4.61	4.03
MnK	0.7	0.64	10.61
FeK	86.44	76.81	2.4
CuK	0.47	0.37	39.15
04032021 S4 Area 2 EDS Spot 3			
F K	3.92	10.61	5.06
SiK	0.94	1.73	7.42
CrK	1.37	1.36	6.07
FeK	93.76	86.31	2.35

Spectrum Overlay



Gambar 2. SEM EDS WT 650



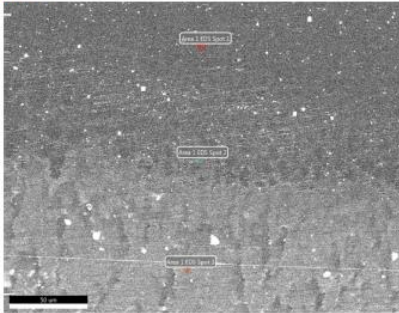
Gambar 3. SEM EDS WT 13Mn + 650 Batas Bawah

EDAX APEX

04032021

Author: Teknik Mesin ITS
 Creation: 3/4/2021 4:03:24 PM
 Sample Name: S2 Batas Atas

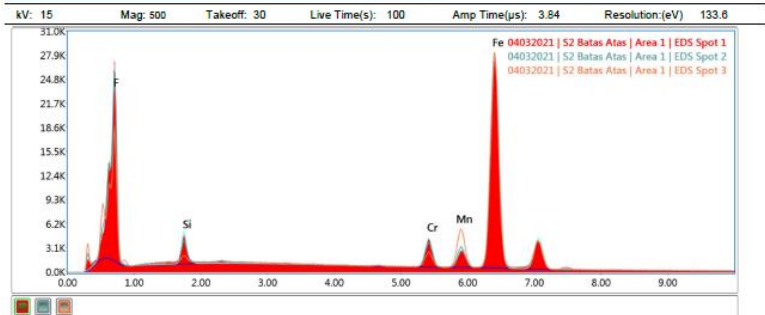
Area 1



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
04032021 S2 Batas Atas Area 1 EDS Spot 1			
F K	4.14	11	7.11
SiK	2.15	3.86	6.58
CrK	6.57	6.37	3.52
MnK	4.34	3.99	4.28
FeK	82.79	74.77	2.43
04032021 S2 Batas Atas Area 1 EDS Spot 2			
F K	3.79	10.15	6.99
SiK	1.85	3.36	6.77
CrK	5.64	5.53	3.73
MnK	5.41	5.01	3.76
FeK	83.31	75.96	2.42
04032021 S2 Batas Atas Area 1 EDS Spot 3			
O K	1.92	6.02	7.38
F K	3.3	8.7	7.69
CrK	3.19	3.07	4.76
MnK	10.4	9.48	3.22
FeK	79.88	71.62	2.41
NiK	1.3	1.11	12.54

Spectrum Overlay



Gambar 4. SEM EDS WT 13 Mn + 650 Batas Atas

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0.235	0.375	1.144	0.008	<0.001	0.018	0.004	2.829	0.393	0.020	0.025	0.038	0.024	0.011	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.002
2	0.205	0.380	1.108	0.008	<0.001	0.011	0.005	2.764	0.365	0.018	0.024	0.046	0.023	0.012	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
3	0.235	0.359	1.074	0.009	<0.001	0.007	0.005	2.783	0.395	0.017	0.026	0.035	0.023	0.008	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
4	0.205	0.385	1.097	0.008	<0.001	0.008	0.003	2.880	0.387	0.021	0.027	0.034	0.027	0.015	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
5	0.218	0.385	1.144	0.009	<0.001	0.009	0.005	2.803	0.384	0.020	0.025	0.046	0.023	0.010	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
avg	0.220	0.377	1.114	0.008	<0.001	0.010	0.004	2.812	0.385	0.019	0.025	0.040	0.024	0.011	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003

Gambar 5. Spektometri WT 450 Stringing

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS-6

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0.190	0.407	1.193	0.009	<0.001	0.005	0.005	2.867	0.382	0.019	0.025	0.049	0.027	0.019	0.007	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
2	0.199	0.409	1.180	0.008	<0.001	0.010	0.004	3.010	0.382	0.023	0.026	0.044	0.022	0.020	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
3	0.181	0.413	1.171	0.010	<0.001	<0.001	0.006	2.982	0.371	0.018	0.025	0.045	0.024	0.020	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
4	0.191	0.354	1.045	0.008	<0.001	<0.001	0.004	2.679	0.350	0.020	0.021	0.038	0.022	0.019	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003
5	0.197	0.359	1.043	0.008	<0.001	0.004	0.005	2.635	0.354	0.016	0.023	0.039	0.025	0.020	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.004
avg	0.192	0.388	1.126	0.008	<0.001	0.004	0.005	2.834	0.368	0.019	0.024	0.043	0.024	0.019	<0.001	<0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.003

BelecSpektrometrie
Opto-Elektronik

phone: +49 5401/8709-0

fax : +49 5401/8709-28

e-mail: info@belec.de

Hamburger Strasse 12

49124 Georgsmarienhütte

Internet: www.belec.de

Analysis - Report

Value:

no. C Si Mn P S Cu Al Cr Mo Ni V Ti Nb Co W Sn Pb B As Zr

average:

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
0,192	0,388	1,126	0,008	<0,001	0,004	0,005	2,834	0,368	0,019	0,024	0,043	0,024	0,019	<0,001	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,003

date:

Gambar 6. WT 450 Weaving

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS-3

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0.429	2,686	0,544	<0.001	<0.001	<0.001	0,032	7,422	0,442	0,025	0,044	0,178	0,042	0,016	<0.001	0,007	<0.001	<0.0001	<0.001	0,005
2	0.444	2,757	0,542	<0.001	<0.001	<0.001	0,037	7,637	0,449	0,023	0,045	0,190	0,041	0,008	<0.001	0,007	<0.001	0,0002	<0.001	0,006
3	0.442	2,741	0,537	<0.001	<0.001	<0.001	0,052	7,492	0,456	0,023	0,048	0,250	0,043	0,012	<0.001	0,006	<0.001	<0.0001	<0.001	0,006
4	0.440	2,790	0,560	<0.001	<0.001	0,008	0,033	7,421	0,455	0,028	0,050	0,169	0,051	0,022	<0.001	0,008	0,002	<0.0001	<0.001	0,007
5	0.432	2,786	0,548	<0.001	<0.001	0,009	0,032	7,460	0,449	0,029	0,047	0,162	0,046	0,022	<0.001	0,007	<0.001	<0.0001	<0.001	0,006
avg	0.437	2,752	0,546	<0.001	<0.001	0,003	0,037	7,486	0,450	0,026	0,047	0,190	0,045	0,016	<0.001	0,007	<0.001	<0.0001	<0.001	0,006

Analysis - Report

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
average:	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
	0,437	2,752	0,546	<0.001	<0.001	0,003	0,037	7,486	0,450	0,026	0,047	0,190	0,045	0,016	<0.001	0,007	<0.001	<0.0001	<0.001	0,006

date:

signature

Gambar 7. WT 650 Stringing

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS-4

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0.427	2.721	0.562	<0.001	<0.001	<0.001	0.033	7.458	0.440	0.026	0.045	0.159	0.043	0.018	<0.001	0.007	<0.001	0.0005	<0.001	0.007
2	0.419	2.789	0.559	<0.001	<0.001	0.013	0.035	7.440	0.447	0.031	0.046	0.157	0.048	0.023	<0.001	0.007	<0.001	<0.0001	<0.001	0.007
3	0.428	2.901	0.563	<0.001	<0.001	0.009	0.031	7.833	0.442	0.030	0.048	0.147	0.047	0.020	<0.001	<0.005	0.004	<0.0001	<0.001	0.007
4	0.411	2.734	0.569	<0.001	<0.001	0.004	0.035	7.393	0.444	0.034	0.046	0.156	0.048	0.030	<0.001	0.007	0.002	<0.0001	<0.001	0.007
5	0.427	2.762	0.553	<0.001	<0.001	0.010	0.032	7.658	0.432	0.027	0.045	0.148	0.040	0.019	<0.001	0.007	<0.001	0.0002	<0.001	0.006
avg	0.422	2.781	0.561	<0.001	<0.001	0.007	0.033	7.516	0.441	0.030	0.046	0.153	0.045	0.022	<0.001	0.007	<0.001	0.0002	<0.001	0.007

Analysis - Report

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
-----	---	----	----	---	---	----	----	----	----	----	---	----	----	----	---	----	----	---	----	----

average:

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
0.422	2.781	0.561	<0.001	<0.001	0.007	0.033	7.516	0.441	0.030	0.046	0.153	0.045	0.022	<0.001	0.007	<0.001	0.0002	<0.001	0.007

date:

signature

Gambar 8. WT 650 Weaving

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS-5

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0,663	0,338	11,244	0,009	0,011	0,012	0,019	2,827	0,033	0,686	0,061	0,003	0,048	0,081	<0,001	0,006	<0,001	<0,0001	<0,001	0,008
2	0,654	0,239	10,931	0,010	0,013	0,005	0,014	2,861	0,038	0,716	0,060	0,003	0,048	0,073	<0,001	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,008
3	0,626	0,220	10,743	0,009	0,011	0,006	0,013	2,854	0,034	0,709	0,056	0,002	0,041	0,072	0,052	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,008
4	0,709	0,253	12,076	0,009	0,014	0,003	0,015	3,170	0,040	0,761	0,066	0,003	0,049	0,071	0,027	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,009
5	0,677	0,243	11,144	0,007	0,012	0,009	0,015	2,964	0,042	0,735	0,064	0,003	0,051	0,079	0,029	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,009
avg	0,666	0,259	11,228	0,009	0,012	0,007	0,015	2,935	0,037	0,721	0,062	0,003	0,047	0,075	0,022	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,009

Analysis - Report

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
average:	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
	0,666	0,259	11,228	0,009	0,012	0,007	0,015	2,935	0,037	0,721	0,062	0,003	0,047	0,075	0,022	<0,005	<0,001	<0,0001	<0,001	0,009

date:

.....

Gambar 9. WT 13 Mn

Analysis - Report

Created by "Belec In-Spect"

sample: Test Sample ITS - SS400 LAS-2

date: 03/12/2020

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
1	0.597	1.927	4.985	<0.001	<0.001	<0.001	0.031	5.665	0.290	0.370	0.053	0.100	0.044	0.026	0.017	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.007
2	0.535	2.023	4.094	<0.001	<0.001	0.006	0.031	6.072	0.318	0.325	0.050	0.107	0.044	0.032	0.028	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.007
3	0.579	2.016	4.261	<0.001	<0.001	<0.001	0.033	5.914	0.326	0.330	0.054	0.116	0.046	0.025	<0.001	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.007
4	0.546	1.942	4.377	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	5.723	0.298	0.344	0.052	0.106	0.047	0.030	0.006	0.008	<0.001	<0.001	<0.001	0.007
5	0.520	1.901	4.441	<0.001	<0.001	<0.001	0.034	5.667	0.303	0.348	0.055	0.114	0.048	0.039	0.007	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.008
avg	0.555	1.962	4.432	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	5.848	0.307	0.343	0.053	0.109	0.046	0.031	0.012	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.007

Analysis - Report

Value:

no.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
average:	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Sn	Pb	B	As	Zr
	0.555	1.962	4.432	<0.001	<0.001	<0.001	0.032	5.848	0.307	0.343	0.053	0.109	0.046	0.031	0.012	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.007

date:

signature

Gambar 10. WT 13 Mn + 650



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA & PRODUKSI
 Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telepon (031) 5947186 . 5942887 Fax (031) 5942887
 Laman www.ppn.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor Number	: 0226 /PL19/BJP/2021
------------------------	------------------------------

PELANGGAN / Customer	
1. Nama Name	: Sdr. Amaldo Natanael
2. Alamat Address	: Bumi Marina Emas Selatan, Surabaya
BENDA UJI / Test Specimen	
1. Tanggal Diterima Date of Received	: 01 Maret 2021
2. Spesimen Uji Test Specimen	: Filler Metal
3. Identifikasi Material Identification of Material	: WT450 S dan WT650S
4. Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	: FCAW
5. Proyek Project	: -
PENGUJIAN / Testing	
1. Tanggal Pengujian Date of Testing	: 02 Maret 2021
2. Lokasi Pengujian Location of Testing	: Lab. Uji Bahan PPNs, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3. Jenis Pengujian Type of Testing	: Impact test
4. Kondisi Lingkungan Environmental Condition	: Suhu 26.8°C
5. Acuan Reference	: -
ALAT / Equipment	
1. Nama Name	: Charpy-Impact Tester
2. Tipe/Model Type/Model	: PW15L
3. Kapasitas Capacity	: 150 J
4. Merek/Buatan Manufacturer	: Wolpert/ Germany
5. Nomor Seri Serial Number	: 003064/0001
6. Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	: -
7. Keterelusuran Traceability	: LK-022-IDN
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing	: (Terlampir) (Attached)
DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue	: 02 Maret 2021

Kalab. Uji Bahan
 Head of PT & NDT Laboratory

Hendri Budi Kurniyanto, SST., MT
 NIP. 199003072019031010

Keterangan / Notes :

1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNs
 It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNs
2. Hasil pengujian ini tidak untuk dikonsumsi dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
 This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA & PRODUKSI
 Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telepon (031) 5947186 , 5942887 Fax (031) 5942887
 Laman www.ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
 ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor Number	: 0226 /PL19/BJP/2021
-----------------	-----------------------

No. SPK. 01-III/PL19/BJP/2021

F 04-LUB-PPNS

PENGUJIAN PUKUL TAKIK / IMPACT TEST									
No.	Specimen Stamp	Type of Notch	Location of Notch	Position	Test temp. (°C)	Impact Energy (J)	Average (J)	Specimen Size (mm)	Remark
1	WT450 S	V 45°	WM	-	26.8	23.0		10x10x55	
2	WT 650 S	V 45°	WM	-	26.8	5.0		10x10x55	

Note: WM = Weld Metal BM = Base Metal FL : Fusion Line HAZ = Heat Affected Zone

Surabaya, 02 Maret 2021


Diuji oleh,

 MUHARROK	Diverifikasi oleh  Hendri Budi K
---	---

Keterangan / Notes :

1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
2. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above


Halaman
2 dari 2

	Laboratorium Uji Bahan	No. Dok	:	
	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	No. Rev	:	0
	DATA PRIMER PENGUJIAN	Tanggal	:	16/07/2018
	PUKUL TAKIK (IMPACT TEST)	Halaman	:	-

No. SPK : 01-III/PL19/BJP/2021
 Perusahaan/Instansi : Sdr. Amado Natanael / T. Material ITS
 Data benda uji : Filler metal
 WT450 S & WT650 S
 Proses las/Posisi/Juru las : FCAW / -
 standar acuan : -

Peralatan:										
<input checked="" type="checkbox"/> Mesin uji impact PW15 SN. 003064/0001	<input checked="" type="checkbox"/> Jangka sorong Mitutoyo 300mm Analog SN. 3136092									
<input type="checkbox"/> Thermocouple TM-917 SN. L129350	<input type="checkbox"/> Jangka sorong Mitutoyo 300mm Digital SN. 1781									
Data pengujian:										
No.	Penandaan	Ukuran (mm)	Jenis takik	Lokasi takik	Posisi	Suhu uji (°C)	Energi Impak (J)	Rerata (J)	Lateral Exp. (mm)	Keterangan
1	WT450 S	10x10x55	V 45°	WM	-	26.8	23.0			
			V 45°							
			V 45°							
2	WT650 S	10x10x55	V 45°	WM	-	26.8	5.0			
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
			V 45°							
Catatan :		WM : Weld Metal	BM : Base Metal	FL : Fusion Line	HAZ : Heat Affected Zone					

Surabaya, 02 Maret 2021

Diuji oleh,	Disaksikan oleh,
	
M. H. A. R. 202	

Gambar 11. Impact WT 450

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Arnaldo Natanael Parmonangan Siburian lahir di Gresik, 17 April 1997. Merupakan anak keempat dari pasangan Toddy Siburian dan Erika Manik. Penulis menempuh Pendidikan di SD Anugerah tahun 2003, SMP Galatia 3 tahun 2009 selanjutnya sekolah menengah atas di SMAN 9 Jakarta tahun 2012. Penulis melanjutkan Pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS pada tahun 2015. Fokus Bidang Studi yang penulis ambil adalah bidang Metalurgi.

Pada masa perkuliahan, penulis mendapat amanah sebagai staf Departemen Organisasi HMM 2016/2017. Kepala Departemen Organisasi HMM 2017/2018 serta Koordinator Dewan Presidium Mesin 2018/2019. Selain kepanitian dan organisasi, penulis juga aktif sebagai asisten praktikum dan menjadi koordinator Laboratorium Metalurgi.

Penulis sangat terbuka untuk diskusi mengenai Tugas Akhir ini, melalui e-mail : arnaldonatanael@gmail.com.