



**PENGARUH VARIASI JARAK *NOZZLE* DAN KUAT ARUS
PELAPISAN KAWAT SS420 TERHADAP KARAKTERISASI PERMUKAAN
BAJA A36**

SKRIPSI

Oleh :

Wildan Widiyanto

171910101056

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022



**PENGARUH VARIASI JARAK NOZZLE DAN KUAT ARUS
PELAPISAN KAWAT SS420 TERHADAP KARAKTERISASI PERMUKAAN
BAJA A36**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Wildan Widiyanto

171910101056

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat serta kasih sayang-Nya sehingga dengan penuh rasa syukur skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua Orang Tua dan adik saya Ayahanda Jani Haribowo, Ibunda Endang Marliana dan Raihan Rahmadianto yang selalu mendukung dan mendoakan saya sepenuh hati.
2. Tim MaGNIFIED 3 (Hilman, Hasan, Fachruzi, Megi, Yousak, dan Ico) yang senantiasa bersama selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
3. Seluruh dosen dan staf Jurusan Akuntansi Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

"Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai kemampuannya"

(Q.S. Al-Baqarah Ayat 286)



PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wildan Widianto

NIM : 171910101056

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Pengaruh Variasi Jarak Nozzle Dan Kuat Arus Pelapisan Kawat Ss420 Terhadap Karakterisasi Permukaan Baja A36*” adalah berdasarkan hasil penelitian sendiri, kecuali kutipan yang sudah disebutkan sumbernya belum pernah diajukan pada institusi manapun. Kebenaran isinya dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya dalam keadaan sadar, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia menerima sanksi akademik jika dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Juli 2022

Menyatakan,

Wildan Widianto

NIM. 171910101056

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI JARAK NOZZLE DAN KUAT ARUS
PELAPISAN KAWAT SS420 TERHADAP KARAKTERISASI PERMUKAAN
BAJA A36**

Oleh:

Wildan Widiyanto

171910101056

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. IPM

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo
S.T.,M.Eng

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Pengaruh Variasi Jarak Nozzle Dan Kuat Arus Pelapisan Kawat Ss420 Terhadap Karakterisasi Permukaan Baja A36*”, telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Jumat, 29 Juli 2022

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota



Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., IPM
NIP 19751006200212 1 002

Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo
S.T., M.Eng

NIP 19670708199412 1 001

Penguji,

Dosen Dosen Penguji I

Dosen Dosen Penguji II



Ir. Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202199702 1 001

Ir. Digdo Listyadi Setyawan Msc.
NIP 19680617199501 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826199702 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Jarak Nozzle dan Kuat Arus Pelapisan Kawat SS420 Terhadap Karakterisasi Permukaan Baja A36; Wildan Widiyanto, 171910101056; 2022; 75 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Teknologi pelapisan material merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik suatu material. Material yang sering ditemukan sebagai substrat pada proses pelapisan adalah material logam tidak terkecuali baja karbon rendah seperti baja A36 yang sering digunakan sebagai bahan baku rotor pada *root blower*. Material pelapis juga sangat bervariasi tergantung kebutuhan seperti material *stainless steel* yang digunakan karena memiliki sifat *wear resistance* dan *corrosion resistance* yang cukup tinggi. Variasi jarak *nozzle* dan kuat arus pada proses pelapisan juga mempengaruhi kualitas hasil *coating* yang terbentuk pada substrat. Pada penelitian kali ini, substrat plat A36 yang telah diberi preparasi permukaan akan dilapisi dengan material SS420 menggunakan metode *wire arc spray coating* untuk mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap karakterisasi permukaan substrat A36. Hasil nilai presentase porositas tertinggi didapatkan pada variasi jarak 200mm dan kuat arus 100A dengan nilai sebesar 3,1%. Nilai kekerasan tertinggi didapat dengan nilai sebesar 83,8 HRB pada variasi jarak 100m dan kuat arus 200A. Nilai *pull of test* tertinggi sebesar 3 MPa juga didapatkan pada variasi jarak 100mm dan kuat arus 200A. Pengamatan struktur mikro juga menunjukkan penambahan jarak *nozzle* dan pengurangan kuat arus akan mengurangi ketebalan lapisan *coating*. Pengamatan SEM menunjukkan persebaran partikel *melt*, *unmelt* dan juga porositas yang terbentuk didalam lapisan *coating*.

SUMMARY

The Influence of Variation in Nozzle Distance and Current of SS420 Wire Coating on the Characterization of A36 Steel Surfaces; Wildan Widiyanto, 171910101056; 2022; 75 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Material coating technology is one method that is widely used to improve the mechanical properties and characteristics of a material. Materials that are often found as substrates in the coating process are metal materials, including low carbon steel such as A36 steel which is often used as a raw material for rotors in root blowers. The coating material also varies greatly depending on the needs such as the stainless steel material used because it has high wear resistance and corrosion resistance properties. Variations in nozzle distance and current strength in the coating process also affect the quality of the coating formed on the substrate. In this study, the A36 plate substrate which has been surface prepared will be coated with SS420 material using the wire arc spray coating method to determine the effect of variations in nozzle distance (100mm, 200mm) and current strength (100A, 150A, 200A) on the surface characterization of the A36 substrate. The results of the highest percentage of porosity were obtained at a distance variation of 200mm and a current of 100A with a value of 3.1%. The highest hardness value was obtained with a value of 83.8 HRB at a distance variation of 100mm and a current of 200A. The highest pull of test value of 3 MPa is also obtained at a distance variation of 100mm and a current of 200A. Microstructure observations also show that increasing the nozzle distance and reducing the current will reduce the thickness of the coating layer. SEM observations show the distribution of melt, unmelt particles and also the porosity formed in the coating layer.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Variasi Jarak Nozzle dan Kuat Arus Pelapisan Kawat SS420 Terhadap Karakterisasi Permukaan Baja A36*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tentunya melibatkan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia yang tidak pernah berhenti dirasakan oleh penulis setiap detik dalam hidup ini.
2. Kedua Orang Tua dan Adik saya Ayahanda Jani Haribowo, Ibunda Endang Marliana dan Raihan Rahmadianto yang senantiasa mendoakan dan pengorbanan selama penulis menempuh pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Mesin Universitas Jember.
3. Keluarga Besar Pakdhe Kusnindar (Budhe, Mbak Kiki, Mas Ahmad, dan Titi) yang telah membantu tenaga dan doa.
4. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. IPM selaku Dosen Pembimbing Utama dan pembimbing grup riset MaGNIFIED, Bapak Dr. Ir. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo S.T.M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang selalu memberikan arahan, bimbingan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Sumarji S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan Msc. selaku Dosen Penguji II yang tiada henti memberikan ilmu dan bimbingan.

6. Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan dukungan, bimbingan, semangat, dan doa untuk terus melangkah maju.
7. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu (S1).
8. Seluruh karyawan dan staff PT. Intidaya Dinamika Sejati Jember.
9. Teman-teman seperjuangan Tim Riset MaGNIFIed 3 (Hilman, Hasan, Fachruzi, Megi, Yousak, dan Ico) yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
10. Sahabat seperjuangan KRS (Hilman, Alifka, Aryya, Renald, Ambon, Reinaldi, Ico) atas kebersamaan dalam suka maupun duka selama menempuh masa studi di Universitas Jember.
11. Masyarakat Kos Andini dan Alpussi
12. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2017 Universitas Jember.
13. Semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini. Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat untuk pembaca.

Jember, 29 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR COVER.....	i
LEMBAR JUDUL.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iv
LEMBAR MOTTO.....	v
LEMBAR PERNYATAAN.....	vi
DAFTAR PEMBIMBING.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	viii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY.....	x
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB. 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Hipotesis.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pelapisan (<i>Coating</i>).....	6
2.1.1 <i>Thermal Spray Coating</i>	6
2.1.2 <i>Metode Thermal Spray Coating</i>	10
2.1.3 <i>Bahan pelapis dan Substrat</i>	12

2.1.4	<i>Wire Arc Spray Coating</i>	17
2.1.5	Preparasi permukaan	18
2.2	Mekanisme Bonding	20
2.3	Karakterisasi	23
2.3.1	Pengujian Densitas Porositas	23
2.3.2	Pengujian Kekerasan.....	24
2.3.3	<i>Pull Off Strength</i>	25
2.3.4	Pengamatan Struktur Mikro	26
2.3.5	SEM (Scanning Electron Microscope).....	28
2.4	Aplikasi Thermal Spray	30
2.5	Diagram Fishbone Penelitian Pelapisan SS420 Pada Plat Baja A36	33
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		34
3.1	Metode Penelitian	34
3.2	Variabel Penelitian	34
3.2.1	Variabel Bebas	34
3.2.2	Variabel Terikat	34
3.2.3	Variabel Kontrol	35
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.4	Alat dan Bahan	35
3.4.1	Alat.....	35
3.4.2	Bahan	39
3.5	Prosedur Penelitian	42
3.5.1	Preparasi Spesimen	42
3.5.2	Proses Pelapisan.....	42
3.6	Proses Pengujian	43
3.6.1	Densitas Porositas	43
3.6.2	Kekerasan.....	44
3.6.3	Uji Kerekatan / <i>Pull off test</i>	45
3.6.4	Stuktur Mikro.....	45

3.6.5	SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	46
3.7	Diagram Alir	47
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1	Pengujian Densitas-Porositas	49
4.1.1	Pengaruh Jarak <i>Nozzle</i> Terhadap Nilai Densitas-Porositas.....	50
4.1.2	Pengaruh Kuat Arus Terhadap Nilai Densitas-Porositas	53
4.2	Pengujian Kekerasan	56
4.2.1	Pengaruh Jarak <i>Nozzle</i> Terhadap Nilai Kekerasan.....	57
4.2.2	Pengaruh Kuat Arus Terhadap Nilai Kekerasan	60
4.3	Pengujian <i>Pull Of Test</i>.....	62
4.4	Pengamatan Struktur Mikro.....	64
4.5	Pengamatan SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	68
4.5.1	Analisa Permukaan <i>Coating</i>	68
4.5.2	Analisa <i>Cross Section Coating</i>	73
BAB 5.	PENUTUP.....	81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar <i>Thermal Spray</i> (Davis, 2004)	7
Gambar 2.2 Perbandingan suhu dan kecepatan partikel pada proses <i>thermal spray</i> (Davis, 2004).....	8
Gambar 2.3 Prinsip kerja flame spray coating (Smith, 2007).....	10
Gambar 2.4 Prinsip kerja plasma spray coating (Smith,2007).....	11
Gambar 2.5 Prinsip kerja High Velocity Oxygen Fuel (Smith, 2007).....	12
Gambar 2.6 Lapisan top coat, bond coat dan substrat (Clarke, 2003)	13
Gambar 2.7 Prinsip kerja wire arc spray coating (Smith, 2007).....	17
Gambar 2.8 Proses partikel grit blasting menumbuk permukaan substrat (Rocha et al, 2014)	20
Gambar 2.9 Ilustrasi ikatan mekanik antara splat dan permukaan substrat yang tidak rata (Pawloski, 2008)	21
Gambar 2.10 Skema pembentukan ikatan antara coating dan substrat (Irawan, 2016)	22
Gambar 2.11 Pengujian kekerasan menggunakan Rockwell	25
Gambar 2.12 Pull off test adhesion tester (Bimantara, 2019).....	27
Gambar 2.13 Mikroskop Optik (Bimantara, 2019).....	27
Gambar 2.14 Prinsip kerja SEM (Inkson, 2016).....	28
Gambar 2.15 Hasil citra SEM cross section stainless steel coating pada baja karbon rendah (Zeng et al, 2005)	29
Gambar 3.1 Mesin wire arc spray MEC P-400.....	35
Gambar 3.2 Mesin sand blasting.....	36
Gambar 3.3 Gerinda	37
Gambar 3.4 Alat pull of adhesion test.....	47

Gambar 3.5 Alat Uji Kekerasan	38
Gambar 3.6 Kawat stainless steel.....	39
Gambar 3.7 Kawat bonding NiAl	40
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 4.1 (a) Plat A36 (b) Plat Setelah Undercut (c) Plat Setelah Proses Sandblasting (d) Plat Setelah Proses Coating	47
Gambar 4.2 Grafik Presentase Nilai Porositas Variasi Jarak 100mm, 150mm dan 200mm	49
Gambar 4.3 Sebaran Partikel Unmelt dan Porositas Pada Lapisan (Sumber: Davis, 2004).	50
Gambar 4.4 Skema Potensi Terjadinya Oksidasi Pada Proses Thermal Spray (Sumber: Gan et al, 2013).	51
Gambar 4.5 Grafik Nilai Porositas Lapisan 97MXC Dengan Variasi Jarak (Sumber: Haraga et al,2020)	52
Gambar 4.6 Grafik Presentase Nilai Porositas Variasi Kuat Arus 100A, 150A, dan 200A.....	53
Gambar 4.7 Grafik Presentase Nilai Porositas Lapisan 97MXC Variasi Kuat Arus (Sumber : Haraga et al, 2019)	54
Gambar 4.8 Citra SEM Lapisan Coating 97MXC a. 220A; b. 250A (Sumber : Haraga et al, 2019).....	55
Gambar 4.9 Grafik Nilai Rata-Rata Kekerasan Substrat dengan Variasi Jarak 100mm Dan 200mm.....	57
Gambar 4.10 Grafik Nilai Rata-Rata Kekerasan Substrat SS 304 pelapisan 95MXC (Sumber: Fitriyana, et al, 2018)	58
Gambar 4.11 Grafik Nilai Rata-rata kekerasan substrat dengan variasi kuat arus 100A,150A dan 200A.	59
Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekerasan Lapisan 97MXC Dengan Variasi Kuat Arus (Sumber: Haraga et al, 2019)	60
Gambar 4.13 Grafik Nilai Pull Of Test.....	61

Gambar 4.14 Grafik Nilai Pull Of Test (Sumber: Haraga et al, 2019)	62
Gambar 4.15 Struktur Mikro Cross Section Spesimen Plat A36 Coating Stainless Steel Jarak 100mm A) Kuat Arus 100A, B) Kuat Arus 150A, C) Kuat Arus 200A..	
.....	63
Gambar 4.16 Struktur Mikro <i>Cross Section</i> Spesimen Plat A36 <i>Coating</i> Stainless Steel Jarak 200mm A) Kuat Arus 100A, B) Kuat Arus 150A, C) Kuat Arus 200A..	
.....	64
Gambar 4.17 Struktur Top Coat, Bond Coat dan Substrat (Lu <i>et al</i> , 2013)	65
Gambar 4.18 Grafik Nilai Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Terhadap Nilai Kekerasan...	66
Gambar 4.19 Uji SEM Perbesaran 100x	67
Gambar 4.20 Uji SEM Perbesaran 500x	68
Gambar 4.21 Sebaran partikel <i>unmelt</i> dan <i>porosity</i> pada permukaan coating (Sumber : Pratama, 2017)	69
Gambar 4.22 Uji SEM Perbesaran 1000x dengan Jarak <i>Nozzle</i> 200mm (Sumber : Suchaimi, 2017)	70
Gambar 4.23 Uji SEM Perbesaran 1000x dengan Jarak <i>Nozzle</i> 100mm	71
Gambar 4.24 Uji SEM <i>Cross Section</i> Perbesaran A) 100x B)250x.....	73
Gambar 4.25 Uji SEM <i>Cross Section</i> Perbesaran 1000x.....	74
Gambar 4.26 Hasil SEM <i>Cross Section</i> Jarak 150mm dan 75mm (Sumber : DePalma <i>et al</i> , 2021)	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan karakterisasi lapisan metode thermal spray coating (Dewi, 2009)	9
Tabel 2.2 Komposisi kimia baja A36.....	16
Tabel 2.3 Sifat mekanik baja A36.....	16
Tabel 2.4 Parameter Grit Blasting.....	20
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Wire Arc Spray MEC P-400	35
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Wipro Sand Blasting Tank SB-38	36
Tabel 3.3 Komposisi kimia kawat stainless steel.....	39
Tabel 3.4 Karakteristik Deposit	39
Tabel 3.5 Komposisi kimia kawat Ni-Al	40
Tabel 4.1 Data Densitas Aktual, Densitas Teoritis, dan Porositas Plat A36 Coating SS420	48
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	55

BAB. 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri logam saat ini mengalami perkembangan yang cukup pesat, dengan adanya persaingan dibidang ini maka industri-industri semakin dituntut untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produknya. Seringkali ditemui bahwa pada komponen suatu peralatan produksi atau hasil produksi itu sendiri yang berbahan dasar logam mengalami beberapa kerusakan atau kecacatan. Kerusakan tersebut dapat terjadi karena faktor lingkungan dan lamanya penggunaan barang/alat tersebut. Untuk itu diperlukan suatu proses perbaikan untuk meningkatkan nilai ekonomis maupun sifat-sifat mekanik logam tersebut. Salah satu teknik yang paling sering digunakan yaitu teknik *coating*/ pelapisan material.

Teknologi pelapisan material atau yang biasa disebut *coating*, merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik suatu material agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Teknologi pelapisan diterapkan dalam berbagai aplikasi baik untuk logam, keramik (karbida, nitride dan oksida) hingga dikembangkan untuk material baru dengan satu atau banyak lapisan pada substrat logam maupun non logam. Berdasarkan prinsip dasar terdapat dua metode dalam teknologi pelapisan/coating antara lain yaitu *cold spray* dan *thermal spray*. Dalam pelaksanaannya metode yang paling sering dijumpai yaitu menggunakan metode *thermal spray coating*. Secara sederhana pada proses *thermal spray coating* sumber panas yang memiliki temperature tinggi digunakan untuk melelehkan material pelapis agar dapat melapisi substrat. Dalam *thermal spray coating* sendiri terdapat beberapa macam metode yang dapat digunakan antara lain seperti *flame spray*, *wire arc spray*, *high-velocity oxy-fuel spray (HVOF)* dan *plasma spray* yang memiliki variasi dan detail spesifikasi yang berbeda namun prinsip dasar yang digunakan sama. *Wire arc Spray* adalah proses penyemprotan termal yang

membutuhkan busur listrik/ *electric arc*, dimana dua bahan pelapis berbentuk *wire* terus didorong menuju busur dengan kecepatan dan sudut tertentu. Busur listrik tercipta saat dua *wire* yang bersifat konduktif diberi tegangan pada ujungnya (Dorfman, 2018).

Stainless steel yang umumnya dikenal dengan sebutan baja nirkarat yang merupakan jenis baja yang tahan terhadap korosi karena memiliki unsur paduan minimal 18% chrom dan 8% nikel. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif Kromium(III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Sifat tahan korosi pada stainless steel tidak serta merta membuat stainless steel tidak dapat terserang korosi, karena pada kenyataannya stainless steel dapat mengalami korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi lubang (*crevice corrosion*), dan retakan korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) (Ornelasari, 2015).

Menurut Fauchais (2015) untuk dapat melakukan *coating* maka material atau bahan harus dalam kondisi *semimelted* atau *melted*, sehingga untuk dapat mendeposisikan *stainless steel wire* diperlukan temperatur yang tinggi. Penelitian yang telah dilakukan Saidah dan Basri (2020) membuktikan bahwa variasi jarak sangat berpengaruh pada proses pelapisan stainless steel dimana jarak spray yang terlalu dekat mengakibatkan partikel belum melting secara sempurna saat menumbuk substrat sehingga terbentuk *splat* partikel berukuran bulat besar dibanding jarak yang lebih jauh. Bentuk partikel tentu akan mempengaruhi rongga yang terbentuk diantara partikel yang akan mempengaruhi porositas lapisan.

Pada penelitian kali ini dilakukan variasi jarak *nozzle* dan kuat arus pada pelapisan *stainless steel wire* menggunakan metode *wire arc spray* terhadap substrat berupa plat baja A36. Pengujian dalam penelitian ini meliputi uji kerekatan, pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*), pengujian struktur mikro,

pengujian densitas porositas dan pengujian kekerasan. Dari hasil penelitian diharapkan dapat mengetahui pengaruh jarak *nozzle* dan kuat arus terhadap hasil *coating* pada substrat berdasarkan pengujian yang dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang di atas dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji densitas porositas plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm,200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji kekerasan plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*?
3. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm,200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji *pull off test* plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*?
4. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm,200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap struktur morfologi yang terbentuk pada plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*?
5. Bagaimana pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm,200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan diatas dan untuk membatasi pembahasan agar tidak melebar, maka perlu dibuat pembatasan masalah. Batasan-batasan masalah yang perlu digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Komposisi material substrat dianggap sama atau homogen.
2. Voltase yang digunakan yaitu 28V
3. Tidak mengukur temperature substrat selama proses pelapisan berlangsung
4. *Feedrate*/ kecepatan pengumpanan kawat dianggap stabil
5. Lama penyemprotan dilakukan selama 1 menit
6. Sudut *nozzel* pada proses pelapisan diasumsikan sama (90°)
7. Tekanan udara yang digunakan yaitu 3 Bar

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan proses pelapisan aluminium terhadap baja A36 menggunakan metode *wire arc spray* dengan menggunakan variasi jarak *nozzle* dan kuat arus. Penelitian ini memiliki tujuan khusus meliputi :

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji densitas porositas plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*
2. Mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji kekerasan plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*.
3. Mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji *pull off test* plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray* .
4. Mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap struktur morfologi yang terbentuk pada plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*.
5. Mengetahui pengaruh variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A) terhadap hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) plat A36 stainless steel *coating* dengan metode *wire arc spray*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dipaparkan, penelitian ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memperluas dan digunakan sebagai pertimbangan dalam penelitian-penelitian selanjutnya terutama dalam bidang pelapisan/*coating* menggunakan metode *wire arc spray*.
2. Pengaruh variasi jarak dan kuat arus yang digunakan dapat diketahui sehingga dapat mengetahui parameter yang akan menghasilkan hasil *coating* yang lebih baik untuk substrat.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri yang bergerak dalam bidang pelapisan/ *coating*.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan studi literatur dan kajian pustaka yang penulis lakukan, variasi jarak *nozzle* dan kuat arus pada proses pelapisan menggunakan metode *wire arc spray* dapat mempengaruhi deposit lapisan *coating* yaitu semakin dekat jarak *nozzle* maka bentuk partikel juga akan semakin halus. Seiring bentuk partikel yang semakin halus maka nilai porositas akan berkurang dan dapat menaikkan nilai kerekatan lapisan hasil *coating*. Perubahan jarak juga berpengaruh pada ketebalan lapisan yang nantinya mempengaruhi nilai kekerasan lapisan. Selain itu peningkatan kuat arus juga berperan dimana semakin besar kuat arus maka semakin tinggi temperatur yang dihasilkan untuk melelehkan partikel dengan baik.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelapisan (*Coating*)

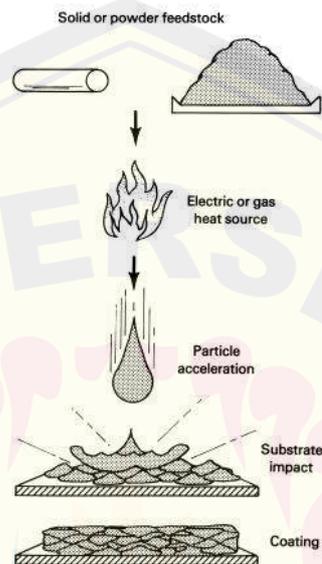
Coating adalah sebuah pelapisan yang diterapkan pada permukaan suatu benda. Tujuan penerapan lapisan mungkin dekoratif, fungsional, atau keduanya (Afandi *et al.*, 2015). Tujuan fungsional yang dimaksud adalah menambah atau meningkatkan sifat permukaan substrat/material yang akan dilapisi contohnya seperti ketahanan terhadap korosi, ketahanan pada temperature tinggi, ketahanan aus dan meningkatnya kekerasan material. Dengan tujuan tersebut maka diharapkan proses *coating* dapat menambah daya tahan dan nilai ekonomis dari suatu material. Pelapisan atau *coating* yang baik dapat ditandai dengan ciri-ciri memiliki adhesi yang baik, kompatibilitas dengan substrat, dan porositas yang rendah.

Pada proses *coating* sendiri terbagi lagi menjadi beberapa metode yang dapat digunakan pada pelapisan material berupa logam. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode *spray coating*. Mekanisme metode *spray coating* yaitu menyemprotkan serbuk/cairan prekursor menuju substrat menggunakan tekanan udara pada suhu tertentu yang menyebabkan material prekursor menumbuk substrat dan terdesposisi membentuk sebuah lapisan pelapis/*coating*. Metode *spray coating* sendiri dapat dibagi menjadi 2 yaitu antara lain *thermal spray coating* dan *cold spray coating*.

2.1.1 *Thermal Spray Coating*

Sejak penemuan Alat *Flame Torch* pertama kali oleh Dr Schoop di Swiss pada tahun 1910 teknologi *Thermal spray* telah berkembang pesat terutama pada tahun 1990an-sekarang (Espallargas, 2015). *Thermal spray* sendiri merupakan sebuah proses yang menggunakan sumber panas yang terkonsentrasi untuk melelehkan bahan baku material, selain itu proses ini juga menghasilkan energi kinetik yang berasal dari

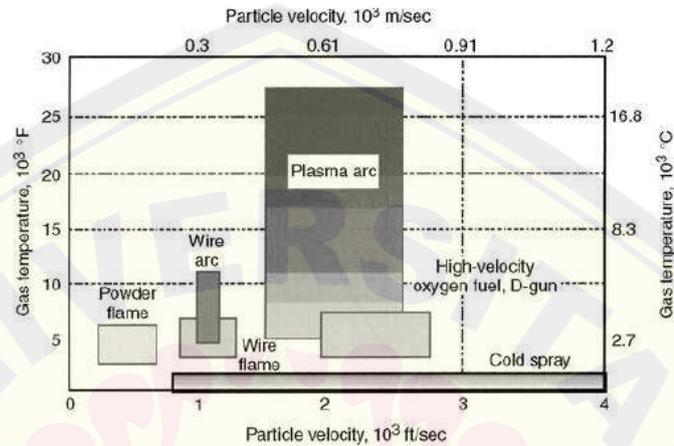
tekanan panas dan gas yang digunakan untuk mendorong material yang berbentuk *molten/semi molten* menuju permukaan substrat yang telah diberi perlakuan tertentu. Material yang meleleh menumbuk permukaan substrat dengan cepat, lalu mengeras dan membentuk suatu lapisan baru. Perangkat thermal spray yang biasa digunakan pada proses ini biasa disebut dengan *guns* atau *torches* (Davis, 2004).



Gambar 2.1 Prinsip Dasar *Thermal Spray* (Davis, 2004)

Penggunaan metode *thermal spray* pada proses *coating* disesuaikan dengan kebutuhan dan ketersediaan sumber daya yang dimiliki. Proses pelapisan dengan metode *Thermal Spray* digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan aus, kekerasan, perlindungan pada suhu yang tinggi (*Thermal barrier*) dan bahan kimia. Pada umumnya semakin tebal lapisan maka performa lapisan dalam menahan korosi, erosi dan gesekan semakin baik. Peningkatan sifat- sifat tersebut tergantung dari jenis bahan dan alat yang dipakai. Jenis dari proses *thermal spray* proses yang dapat ditemui antara lain adalah :

- *Flame spray*
- *Wire arc spray*
- *Plasma spray*
- *High velocity oxyfuel (HVOF)*



Gambar 2.2 Perbandingan suhu dan kecepatan partikel pada proses thermal spray (Davis, 2004)

Meskipun semua metode *thermal spray* memiliki mekanisme dasar yang sama satu sama lain namun terdapat beberapa parameter berbeda yang digunakan yang nantinya akan mempengaruhi temperature gas yang dihasilkan dan juga kecepatan partikel menumbuk substrat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Parameter yang berbeda tersebut antara lain adalah sumber panas, bahan bakar dan proses peleburan material *coating*. Selain temperature gas dan kecepatan partikel, karakter lapisan pada setiap metode juga memiliki karakter masing-masing seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan karakterisasi lapisan metode *thermal spray coating* (Dewi, 2009)

Tenkik Thermal Spray	Kecepatan Partikel (m/s)	Porositas (%)	Tebal Lapisan (mm)
Flame Spray	40	10-15 %	0,2-10
Wire Arc	100	10-20 %	0,2-10
Plasma Spray	200-300	1-3 %	0,2-2
High Velocity Oxygen Fuel (HVOF)	600-1000	1-2 %	0,2-2

Perbedaan tingkat porositas dan jumlah inklusi oksida pada hasil lapisan akhir merupakan pengaruh dari kecepatan partikel cair dan faktor lingkungan, udara dan gas inert. Secara khusus lapisan yang kondisinya akan menempel dan terikat pada substrat dengan ikatan mekanik (*mechanical interlocks*) (Dewi, 2009). Adapun beberapa kelebihan dari *thermal spray coating* yang menyebabkannya lebih banyak digunakan daripada metode lain seperti *cold spray coating* antara lain adalah :

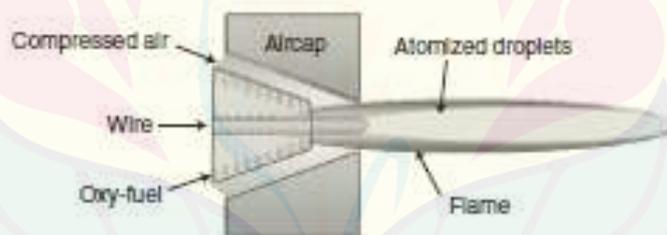
- Banyaknya variasi/jumlah material yang dapat digunakan untuk melapisi substrat, seperti logam, logam paduan, keramik dll.
- Menghasilkan *high deposition rates* yang cukup tinggi pada beberapa aplikasi
- Menghasilkan limbah yang relatif mudah dikendalikan dan tidak merusak lingkungan
- Biaya pengoperasian yang relatif murah dan mudah

2.1.2 Metode Thermal Spray Coating

Pada proses *thermal spray coating* terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, metode tersebut disesuaikan dengan sumber panas, material *coating*, ketersediaan alat, dan lain-lain. Metode tersebut antara lain yaitu :

a. *Flame Spray Coating*

Flame Spray merupakan proses deposisi material dengan menggunakan gas asetilen dan oksigen yang dicampur dengan perbandingan sedemikian rupa sehingga terjadi nyala api, pada saat proses timbul nyala api pembakaran, serbuk diinjeksikan pada *powder feeder* kemudian akan didorong menuju substrat oleh udara bertekanan. Pada saat partikel cair hasil semprotan tadi mengenai bagian permukaan substrat, partikel tersebut kemudian mengalami pendinginan yang membentuk struktur berupa lapisan (*lamellar*), dengan demikian akan membentuk lapisan atau endapan hasil spray. Pada umumnya metode ini menghasilkan kecepatan partikel yang cukup rendah yang dapat menyebabkan lapisan memiliki tingkat porositas dan oksida yang lebih tinggi dibanding metode *thermal spray* lainnya (Dorfman,2018).

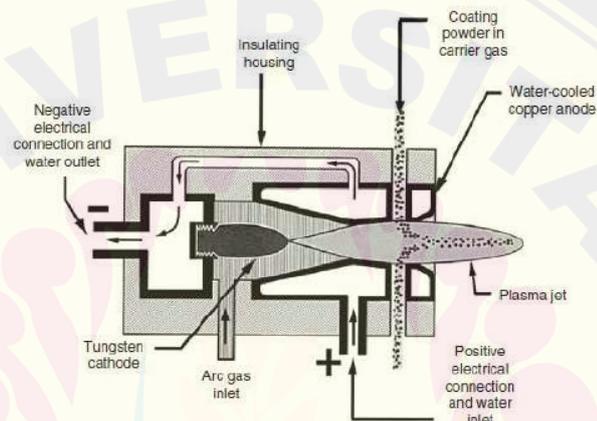


Gambar 2.3 Prinsip kerja flame spray coating (Smith, 2007)

b. *Plasma Spray Coating*

Plasma spray merupakan salah satu proses *thermal coating* yang umum digunakan. Pada metode *plasma spray coating* ini, gas konduktif terionisasi sebagian, yang dikenal sebagai 'plasma', digunakan untuk melelehkan dan mendorong bahan

baku bubuk ke atas substrat. Sumber energi plasma didapat melalui mesin dc menggunakan bahan bakar berupa gas seperti argon, helium, nitrogen ataupun campuran diantaranya. Hasil plasma yang bertekanan lalu mendorong powder yang sebelumnya diinjeksikan melalui *powder feeder* menuju substrat oleh udara bertekanan. Saat partikel serbuk melalui fase *semi molten/ molten* mengenai permukaan substrat, partikel lalu mengalami proses pendinginan sebelum membentuk struktur berupa lapisan (*lamellar*). Tingkat peleburan partikel yang tinggi dan kecepatan partikel plasma yang tinggi membuat kepadatan deposit dan kekuatan antar ikatan yang lebih tinggi dibanding dengan proses *flame* dan *arc spray* (Davis, 2004).

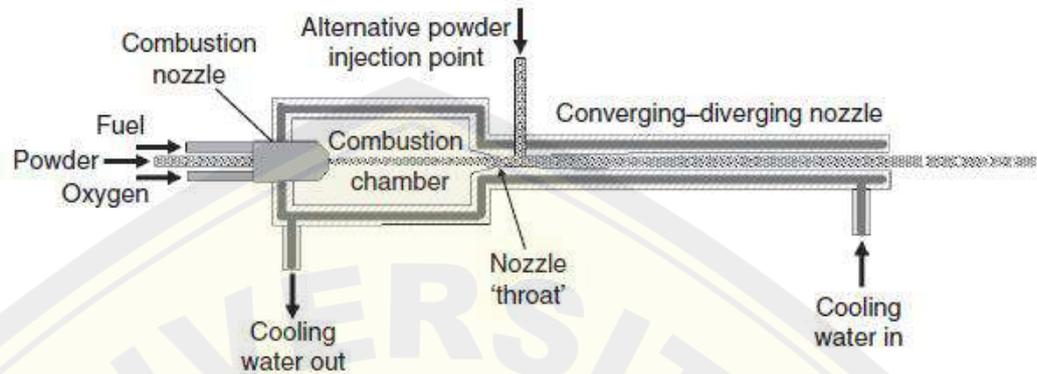


Gambar 2.4 Prinsip kerja plasma spray coating (Smith, 2007)

c. *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF)

Dalam proses HVOF, bahan bakar dan oksigen dimasukkan ke ruang bakar bersama-sama dengan serbuk prekursor. Pembakaran gas menghasilkan suhu dan tekanan tinggi pada *chamber*, yang menyebabkan aliran supersonik gas melalui nosel. Partikel bubuk meleleh atau meleleh sebagian di ruang bakar dan selama penerbangan melalui nosel. Nyala api suhu bervariasi dalam kisaran 2500°C hingga 3200°C , tergantung pada bahan bakar, rasio gas/bahan bakar dan tekanan gas. Dalam proses HVOF partikel mencair seluruhnya atau hanya sebagian, tergantung pada suhu nyala,

waktu tinggal partikel, titik leleh material dan termal konduktivitas. Karena menggunakan jet supersonik, kecepatannya *impact* partikel pada substrat jauh lebih tinggi, menghasilkan karakteristik lapisan yang lebih baik (Sagar, 2016).



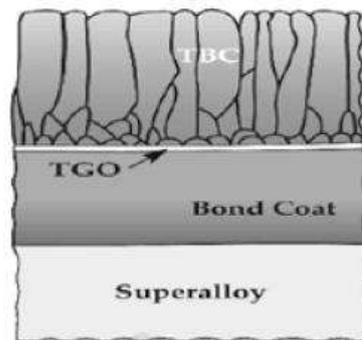
Gambar 2.5 Prinsip kerja High Velocity Oxygen Fuel (Smith, 2007)

2.1.3 Bahan pelapis dan Substrat

Proses pelapisan menggunakan metode *wire arc spray* sendiri terbagi menjadi dua tahap yaitu pelapisan pertama menggunakan kawat/ *wire* Ni-Al (*Nickel Aluminide*) dan pada proses selanjutnya menggunakan kawat stainless steel / *stainless steel wire*. Adapun substrat yang akan digunakan yaitu berupa plat baja karbon rendah dengan tipe baja A36.

2.1.3.1 Bahan Pelapis

Pelapisan pertama menggunakan Ni-Al *wire* atau yang sering disebut sebagai *bonding wire* dimaksudkan sebagai lapisan perantara antara substrat dengan lapisan coating agar lapisan melekat dengan baik. Setelah ketebalan dan hasil *bond coat* dirasa merata selanjutnya baru dilakukan pelapisan *stainless steel wire* atau biasa disebut sebagai *top coat*.



Gambar 2.6 Lapisan *top coat*, *bond coat* dan substrat (Clarke dan Levi, 2003)

a) Nikel Alumina Coating (Ni-Al)

Bond coat/ Primer coat merupakan dasar atau alas dimana sistem *coating* lainnya ditempatkan. Primer coat merupakan kunci daya adhesi dari seluruh sistem coating. Primer coat harus menempel kuat pada logam pada sistem *coating* atasnya adapun fungsi dari *coating* sistem primer, yaitu adhesi ikatan yang kuat pada logam, cohesion kekuatan internal yang tinggi, ketahanan yang kuat terhadap korosi dan kimia. Pada penelitian kali ini *bond coat* yang digunakan berupa NiAl berbentuk *wire*.

Nickel dan aluminum merupakan dua unsur yang mampu memberikan proteksi pada paduan yang terpapar temperatur tinggi. Nickel adalah unsur yang membentuk oksida yang stabil pada temperatur tinggi dalam bentuk NiO yang merupakan metal deficient semiconductor (p-type,). Selama oksidasi pada nikel murni, NiO terbentuk dari perpindahan ion Ni^{2+} yang bereaksi dengan O_2 pada permukaan logam. *Wire* NiAl umumnya memiliki komposisi Ni 80% dengan Al 20% dan Ni 95% dengan Al 5%.

Nickel aluminum coating merupakan salah satu jenis *coating* yang sangat potensial. Campuran Ni-Al pada *wire*, ketika *dispraying* bereaksi secara eksotermal

untuk membentuk *nickel aluminide* (Ni_3Al). Reaksi ini meningkatkan kekuatan adhesi ke substrat. Selain itu, *coating* jenis ini juga bisa digunakan untuk ketahanan aus dan *bond coat* pada material *coating* jenis keramik (Chaitanya, 2007).

b) Stainless Steel Coating

Top coat merupakan suatu lapisan resin penyekat (*a resinous seal*) di atas intermediet dan primer. Lapisan ini merupakan pertahanan pertama terhadap reaksi chemical yang agresif, air, atau lingkungan, yang berfungsi sebagai barrier pertama dalam coating sistem. *Top coat* lebih padat dibanding layer coat dibawahnya (*intermediate* dan *primer coat*) karena jumlah pigmentnya lebih kecil (Pratama, 2017).

Baja stainless merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja stainless mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan Stainless Steel terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) Krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif, Kromium(III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu Oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut Passivation dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada Aluminium dan Titanium.

Proses thermal spray dari Stainless Steel 420 biasa digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan permukaan keras dengan ketahanan aus dan korosi yang baik. Sifat penyusutan yang rendah dari Stainless Steel 420 memungkinkannya diaplikasikan hingga beberapa milimeter pada permukaan melengkung, seperti jurnal poros dan diameter internal. Selama proses pelapisan suhu komponen maksimum dipantau dan dikontrol agar tetap di bawah 70°C untuk mencegah distorsi. Suhu aplikasi pelapisan yang rendah memungkinkan perbaikan komponen yang rusak tanpa mempengaruhi dimensi atau sifat materialnya.

2.1.3.2 Substrat *Mild Steel*

Pada umumnya substrat memiliki peranan yang penting pada proses *thermal coating*, karena sifat dan karakteristik permukaan substrat akan mempengaruhi sput yang akan jatuh di atasnya sebelum menjadi lapisan *coating*. Kekerasan dan kebersihan substrat akan sangat mempengaruhi adhesi antara lapisan dan substrat. Substrat yang mempunyai bahan pengotor yang tinggi akan mempengaruhi deformasi lapisan pertama partikel yang dideposisi, sehingga mempengaruhi kohesi antara lapisan pertama dan berikutnya (Yin *et al*, 2011).

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Dengan penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya namun baja akan semakin getas / *brittle*. Menurut Surdia dan Shinroku (2000), baja karbon menurut komposisi kimianya dibedakan menjadi sebagai berikut :

- Baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05-0,3% (low carbon steel). Sifatnya mudah ditempa dan mudah dimesin. Biasanya digunakan untuk bodi mobil, bus dan lain-lain.
- Baja karbon menengah dengan kadar karbon 0,3-0,5% (medium carbon steel). Kekuatannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Penggunaannya untuk konstruksi bangunan, bahan pada komponen mesin, golok, pisau dan lain-lain.
- Baja karbon tinggi dengan kadar karbon 0,5-1,5%(high carbon steel). Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Penggunaannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir, pahat, dan gergaji.

Besi dapat terbentuk menjadi dua bentuk kristal yaitu *Body Center Cubic (BCC)* dan *Face 15 Center Cubic (FCC)*. Dalam susunan bentuk BCC, ada atom besi ditengah-tengah kubus atom, dan susunan FCC memiliki atom besi disetiap sisi pada enam sisi kubus atom. Penambahan unsur karbon juga akan menghasilkan beberapa perubahan penting terhadap fasa. Baja karbon rendah diproduksi biasanya dalam bentuk lembaran atau gulungan baja yang dibuat dengan proses canai dingin (*cold work*) dan *anneal*. Struktur mikro nya terdiri dari fasa ferit dan perlit yang membuat baja karbon rendah ini lunak dan kekuatannya lemah, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Baja karbon rendah sering digunakan untuk bagian-bagian mesin seperti : gear, rantai, skrup dan poros (Nofri dan Aceng, 2017).

Tabel 2.2 Komposisi kimia baja A36

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb/N	V/Mo
A36	0,1443	0,197	1,067	0,016	0,0024	0,2	0,005	0,006	0,002	0,004

(Sumber: Callister, 2000)

Tabel 2.3 Sifat mekanik baja A36

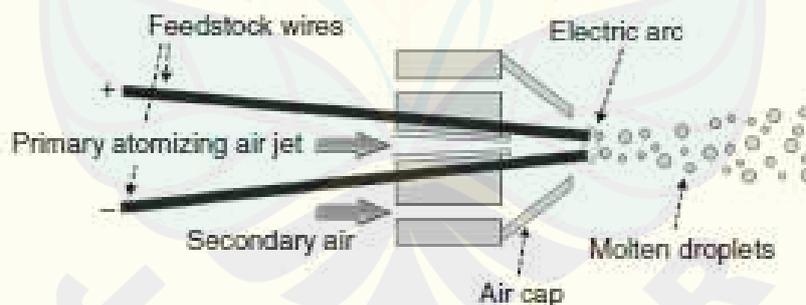
Sifat Mekanik	Keterangan
<i>Tensile strength</i> (MPa)	400-552
<i>Yield strength</i>	281-301
<i>Elongation</i> (%)	31
<i>Youngs modulus</i> (GPa)	200
<i>Density</i> (kg/m ³)	7800
<i>Hardness</i> (HRB)	60-83

(Sumber: Callister, 2000)

2.1.4 Wire Arc Spray Coating

Wire arc spray seperti gambar 2.7 menggunakan arus langsung (direct current) antara dua *conducting wires* untuk mencairkan *consumable wires*. Dua kawat bermuatan listrik dengan polaritas yang berlawanan dimasukkan ke dalam arc gun. Kabel tersebut dimasukkan ke spray torch. Hal itu membuat panas pada kabel sehingga cukup untuk terus mencairkan kawat saat sampai pada ujung kabel. Droplet kemudian didorong ke permukaan substrat oleh atom gas seperti udara, argon dan nitrogen (Kurniawati, 2017).

Partikel spray cair membentuk spat ketika membentur substrat karena efek temperatur dan energi kinetik yang tinggi. Partikel spray cair tersebut memipih, pecah, menyebar dan *ter-quech* pada rentang waktu yang pendek sekitar 10⁻⁸ dan 10⁻⁶ s. Meskipun temperature pemanasan partikel/*wire* dinaikan hingga berada diatas temperature solid substrat namun reaksi fusi tetap tidak terjadi karena laju pendinginan sangat cepat.



Gambar 2.7 Prinsip kerja *wire arc spray coating* (Smith, 2007)

Wire arc spray merupakan salah satu metode yang lebih murah dibanding metode lain seperti *HVOF* dan *plasma spray*. Material yang digunakan oleh *arc spray* hanya untuk kawat penghantar listrik seperti baja tahan karat, hastelloy, nickel aluminides, seng, aluminium, dan bronze (Yanto, 2010). *Arc spray* juga menghasilkan laju deposisi yang besar dan dapat digunakan untuk melapisi area yang luas. Adapun prinsip parameter pada proses *wire arc spray* menurut Pratama (2017) antara lain adalah :

a. *Electric Arc*

- Power elektrik : berkisar 5 – 10 kW
- Temperatur busur dan arus : 6100°K dengan arus busur 280A
- Tegangan busur : berkisar 20 – 40 V

b. *Wires*

- Jenis material kawat yang bersifat penghantar listrik (konduktif). Material yang pertama akan bertindak sebagai katoda dan material yang kedua sebagai anoda
- Diameter : 1,6 – 5,0 mm

2.1.5 Preparasi permukaan

Untuk hasil *coating* yang lebih maksimal substrat biasanya diberi perlakuan baik sebelum proses *coating* atau setelah proses *coating* selesai. Terdapat beberapa metode perlakuan sebelum proses *coating* berlangsung antara lain yaitu *sand blasting*, *degreasing*, atau perlakuan panas. Tujuan utama proses perlakuan sebelum *coating* yaitu untuk menghilangkan kotoran/partikel yang akan mengurangi kekuatan adhesi antara layer *coating* dan substrat seperti minyak, oli atau permukaan substrat yang cacat. Untuk perlakuan setelah proses *coating* lebih sering ditemui berupa

proses *heat treatment* seperti diletakkan dalam oven dan untuk memperbaiki dimensi dapat dilakukan proses *machining* seperti digerinda, dibubut dan lain-lain.

1. *Degreasing*

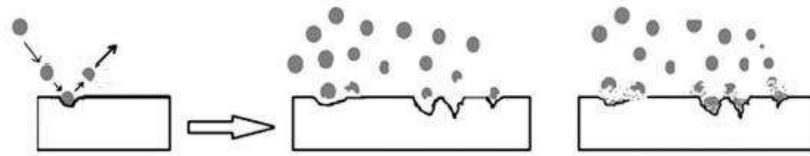
Langkah pertama dalam menyiapkan permukaan substrat untuk penyemprotan adalah menghilangkan kontaminan seperti oli, grease, cat, karat, kerak, dan kelembaban. Kontaminan yang tersisa di antara lapisan coating dan substrat akan berakibat meminimalkan kontak logam-ke-logam dan mengurangi adhesi. Adapun beberapa cairan yang biasa digunakan pada proses ini antara lain yaitu alcohol, *thinner*, detergen dan lain-lain.

2. *Undercutting*

Pada penelitian kali ini salah satu proses machining yang dilakukan sebelum proses coating yaitu proses *undercutting*. Proses *undercutting* sendiri bertujuan menghaluskan permukaan material dan memberi ruang bagi tempat coating nantinya. Proses ini nantinya akan mengurangi beberapa material serta permukaan yang rusak untuk memberikan permukaan datar yang seragam untuk menerima lapisan baru (Davis, 2004).

3. *Grit Blasting*

Grit blasting adalah proses penyemprotan material dengan bahan abrasif, biasanya berupa pasir silika atau steel grit dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan dengan tujuan untuk menghilangkan material-material seperti karat, cat, garam, dan oli yang menempel. Selain itu proses ini juga bertujuan untuk membuat kekasaran pada permukaan logam yang optimal sehingga bahan pelapis seperti cat lebih melekat (Setyarini *et al*, 2011) . Adapun beberapa parameter yang digunakan pada proses grit blasting seperti terlihat pada tabel 2.4.



Gambar 2.8 Proses partikel grit blasting menumbuk permukaan substrat
(Rocha *et al*, 2014)

Tabel 2.4 Parameter *Grit Blasting*

Parameter	Keterangan
Material	<i>Aluminium Oxide</i>
Ukuran mesh	24
Jarak <i>Nozzle</i> (mm)	200
Tekanan udara (Bar)	7
Sudut <i>Nozzle</i>	90
Lama penyemprotan (menit)	1

2.2 Mekanisme Bonding

Mekanisme yang lazim digunakan untuk menjelaskan pelekatan lapisan thermal spray adalah ikatan mekanik antara splat dengan permukaan substrat yang tidak beraturan. Permukaan yang tidak beraturan ini merupakan hasil dari sand blasting atau metode lainnya yang digunakan pada proses pengkasaran benda kerja. Ikatan mekanik atau lebih dikenal dengan *mechanical interlocking* adalah ikatan coating dengan substrate dikarenakan adanya penguncian secara mekanik (*mechanical interlocking*) pada bagian permukaan yang berkontak secara langsung antara substrat dan pelapis.

Ikatan adhesif secara efektif, terjadi pada kontak area antara partikel dengan substrate. Partikel yang disemprotkan oleh nosel *Thermal spray* berada di kondisi temperatur tinggi yang mengakibatkan partikel ini bersifat sangat ulet dan bahkan meleleh. Pada saat partikel ini bersentuhan dengan substrat maka terjadi pendinginan cepat hingga muncul tegangan pada daerah tersebut. Daerah kontak antara splat dengan substrat disebut *active zone*. Kekuatan adhesi lapisan bertambah seiring dengan bertambahnya luas daerah *active zone*. Splat dengan bentuk pancake dapat digunakan untuk memperluas daerah *active zone* (Pawloski, 2008). Luas daerah *active zone* dapat berkurang karena

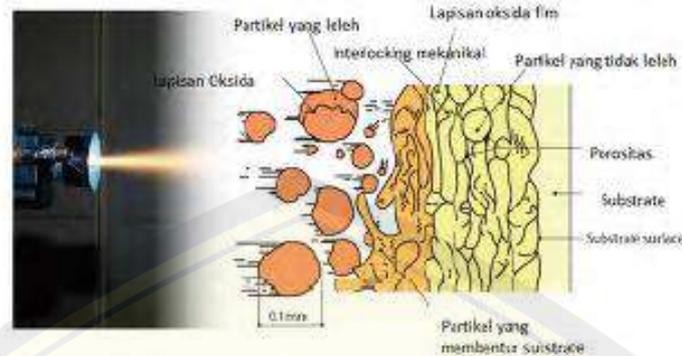
- a) Oksida pada lapisan logam dan paduan
- b) Udara yang bereaksi dengan partikel cair saat melayang
- c) Udara yang mengisi lubang porous dan terjebak pada saat partikel tiba di permukaan substrat.



Gambar 2.9 Ilustrasi ikatan mekanik antara splat dan permukaan substrat yang tidak rata (Pawloski, 2008)

Tegangan pada daerah *active zone* berhubungan dengan energi yang menarik ikatan atom bila partikel berada pada keadaan leleh. Kekuatan adhesif antara substrat dan material pelapis sebagian besar ditentukan dengan ikatan tersebut (Knotek, 2001). Ikatan yang terjadi antar partikel tidak hanya dipengaruhi oleh suhu partikel,

tetapi juga oleh suhu permukaan substrat atau lapisan yang sudah didepositkan oleh tumbukan partikel.



Gambar 2.10 Skema pembentukan ikatan antara coating dan substrat (Irawan, 2016)

Gaya yang bekerja pada ikatan ini adalah gaya gerak atomik pada bidang padat kristalin, disaat partikel tersebut saling mendekat hingga sangat dekat mencapai level jarak atomik membuat peluang terjadinya ikatan van der Waals dan ikatan valensi menjadi besar. Antara spray partikel dengan spray partikel disekitarnya, dan juga antara spray partikel dengan substrate, leleh dan berdifusi dalam dimensi mikro tetap terjadi meskipun laju pendinginan sangat tinggi (Irawan, 2016).

2.3 Karakterisasi

Pengujian merupakan upaya yang dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari sebuah penelitian yang didasarkan oleh standar pengujian yang berlaku. Terdapat beberapa pengujian untuk mengetahui keberhasilan dalam pelapisan material dengan metode *wire arc spray*.

2.3.1 Pengujian Densitas Posositas

Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (m) dengan volume benda (V). Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan atau bulk digunakan metode Archimedes. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan teoritis digunakan persamaan (Surdia, dkk., 1995).

Persamaan densitas aktual :

$$\rho_m = m_s / (m_s - m_g) \times \rho_{H2O} \quad (1)$$

Persamaan densitas teoritis :

$$\rho_{th} = \rho_{NiAl} \cdot V_{NiAl} + \rho_{Plat} \cdot V_{Plat} + \rho_{SS} \cdot V_{SS} \quad (2)$$

dimana :

- ρ_m : densitas aktual gram/cm³)
- m_s : massa sampel kering (gram)
- m_g : massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- ρ_{H2O} : massa jenis air = 1 gram/cm³
- ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)
- ρ_{Al} : densitas NiAl (gram/cm³)
- ρ_m : densitas Plat (gram/cm³)
- ρ_{SS} : densitas *Stainless Steel* (gram/cm³)
- V_{Al} : fraksi massa NiAl (gram)
- V_{Mg} : fraksi massa Plat (gram)

V_{SS} : fraksi massa *stainless steel* (gram)

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan (Surdia, dkk., 1995).

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}} \quad (3)$$

Dimana:

ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)

ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)

Dengan diketahuinya densitas aktual dan densitas teoritis, maka porositas material dapat ditentukan dengan persamaan (3)

2..3.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan suatu bahan dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metoda atau teknik yang umum dilakukan yaitu metoda Brinell, Rockwell dan Vickers (Callister, 2000). Uji kekerasan Rockwell sering dipakai untuk meterial yang keras. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian bagian yang mendapatkan perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan.



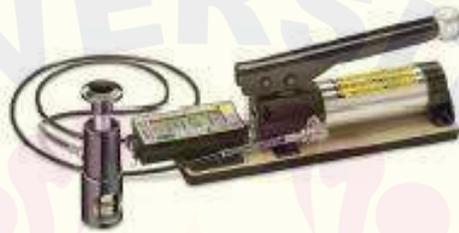
Gambar 2.11 Pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell* (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Prinsip pengujian pada metoda Rockwell adalah dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman indentasi akan memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan minor.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja (HRB) ataupun kerucut intan (HRC) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Pengukurannya dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (indenter).

2.3.3 *Pull Off Strength*

Pengujian adhesi *pull off* Strength adalah pengujian yang dilakukan guna mengukur ketahanan lapisan terhadap pemisahan dari substrat ketika gaya tarik tegak lurus diterapkan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan lem, epoksi atau resin poliester, dengan sifat adhesi yang lebih kuat dari ikatan yang akan diuji Substrat yang dilapisi biasanya mencakup logam, plastik, beton, kayu, keramik, kaca. pelapis sangat bervariasi dan termasuk film cat, pelapis bubuk, UV cured, keramik, epoxies, bitumen (enamel tar, master aspal), resin termoplastik (polietilen, vinil dan plastisol), laminasi, pernis, resin khusus (uretan, fluorokarbon, fenolik dan poliester), elastomer, dan anorganik (kaca, seng, dan timah hitam).



Gambar 2.12 Pull off test adhesion tester (Bimantara, 2019)

Standart lulus atau gagalnya kuat lapisan yang terbentuk dan semuanya tergantung dalam standar yang digunakan. Pengujian adhesi dilakukan untuk tujuan kontrol kualitas dan biasanya digunakan untuk mematuhi standar. Besar atau kecilnya standar nilai yang tentukan dari hasil pelapisan Bergantung pada aplikasinya.

2.3.4 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- Ukuran dan bentuk butir
- Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- Pengotor yang terdapat dalam material

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan. Langkah-langkah proses metalografi secara garis besar adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13 Mikroskop Optik (Bimantara, 2019)

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan merupakan pemindahan material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan spesimen ukuran kecil.

b. Pembedaan (*Mounting*)

Pembingkaiian dilakukan pada bentuk spesimen yang ukurannya kecil atau tidak beraturan berguna untuk memudahkan dalam memegang spesimen pada proses pengamplasan dan pemolesan. Biasanya dilakukan dengan penambahan resin pada spesimen.

c. Penggrindaan, Pengamplasan, Pemolesan

Tahap penggrindaan, pengamplasan dan pemolesan ini bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen agar benar-benar rata. Pengamplasan dilakukan dengan cara menggosok spesimen pada mesin hand grinding yang diberi kertas gosok dengan ukuran grid yang paling kasar sampai yang paling halus. Sedangkan pemolesan sendiri dilakukan dengan menggosokkan spesimen diatas mesin polishing machine yang dilengkapi dengan kain wool yang diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1-0,05 mikron

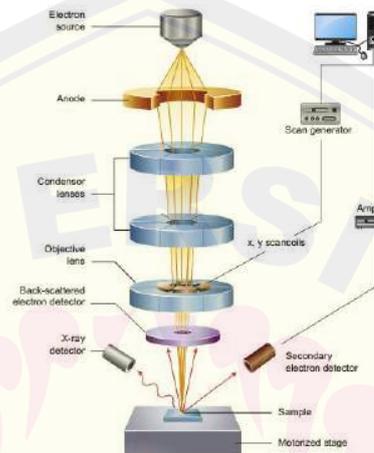
d. Pengetsaan (*Etching*)

Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi atau mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses grinding dan polishing menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda, sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Pada proses etsa dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pada cairan etsa dan setiap jenis logam mempunyai cairan etsa (*etching reagent*) sendiri-sendiri.

2.3.5 SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengamati meterial dimana alat ini memancarkan sinar elektron dari katoda dengan tegangan 0.5-30 Kv yang diarahkan pada permukaan material dengan bantuan 2 lensa

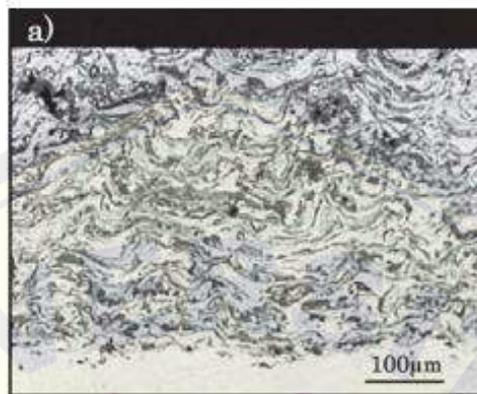
yaitu lensa kondensor dan obyektik yang memfokuskan pada permukaan spesimen sehingga dapat menghasilkan gambar yang sangat tajam.



Gambar 2.14 Prinsip kerja SEM (Inkson, 2016)

Scanning Electron Microscope (SEM) menggunakan konsep pantulan elektron sebagai prinsip kerjanya. *Electron gun* yang berada dalam SEM berfungsi menembakkan elektron ke arah sampel. Dalam *electron gun* ini terdapat filamen yang berfungsi sebagai katoda. Filamen ini dipanaskan dengan cara dialiri arus listrik sehingga menghasilkan cahaya serta awan elektron di sekitar filamen. Untuk menembakkan elektron bisa ditembakkan, maka ditempatkan anoda yang berlubang di dekat filamen. Elektron yang bermuatan negatif akan tertarik oleh anoda yang ada

di bawahnya yang kemudian ditembakkan melalui lubang di anoda. Pengaturan kecepatan elektron ini dilakukan dengan mengatur tegangan (*accelerating voltage*) dari anoda dan katoda. Syarat untuk menghasilkan citra yang baik pada SEM adalah permukaan benda harus mampu memantulkan elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder sewaktu ditembak oleh berkas elektron. Berikut merupakan salah



satu contoh hasil SEM pada *cross section* hasil pelapisan stainless steel *wire* pada baja karbon rendah.

Gambar 2.15 Hasil citra SEM *cross section* stainless steel coating pada baja karbon rendah (Zeng *et al*, 2005)

2.4 Aplikasi Thermal Spray

Aplikasi proses semprotan termal sangat bervariasi. Namun, penggunaannya secara umum adalah untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sifat keausan permukaan. Aplikasi lainnya adalah penggunaan dalam perbaikan dimensi, ketahanan panas (*Thermal barrier*), konduktor termal, konduktor listrik atau resistor, untuk

elektromagnetik shield. Selain itu Thermal spray juga diaplikasikan pada beberapa sektor luar angkasa, otomotif, pertanian, pertambangan, industri kertas, proteksi korosi pada sektor minyak dan gas, kimia dan plastik (Dorfman, 2005).

a. *Wear Resistance*

Wear atau keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. Definisi gesekan itu sendiri adalah gaya tahan yang menahan gerakan antara 2 permukaan solid yang bersentuhan maupun solid dengan liquid. Keausan pada dasarnya memiliki beberapa mekanisme, yaitu abrasi, erosi, adhesi, fatik dan korosi. Keausan sendiri dapat terjadi pada beberapa bagian/ part pada mesin produksi ataupun kendaraan. Agar keausan tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan tahan aus dan juga tahan terhadap panas. Akan tetapi penggunaan bahan yang tahan aus serta tahan panas akan mengakibatkan biaya produksi akan semakin meningkat (Arthana *et al*, 2014).

Salah satu contoh *part* yang sangat mudah mengalami aus pada kendaraan adalah *cylinder liner*, karena pada bagian dinding dalam *cylinder* terjadi gesekan dengan piston akibat gerakan bolak-balik dari piston yang menimbulkan penambahan kelonggaran antara piston dengan dinding silinder.

b. *Corrosion Resistance*

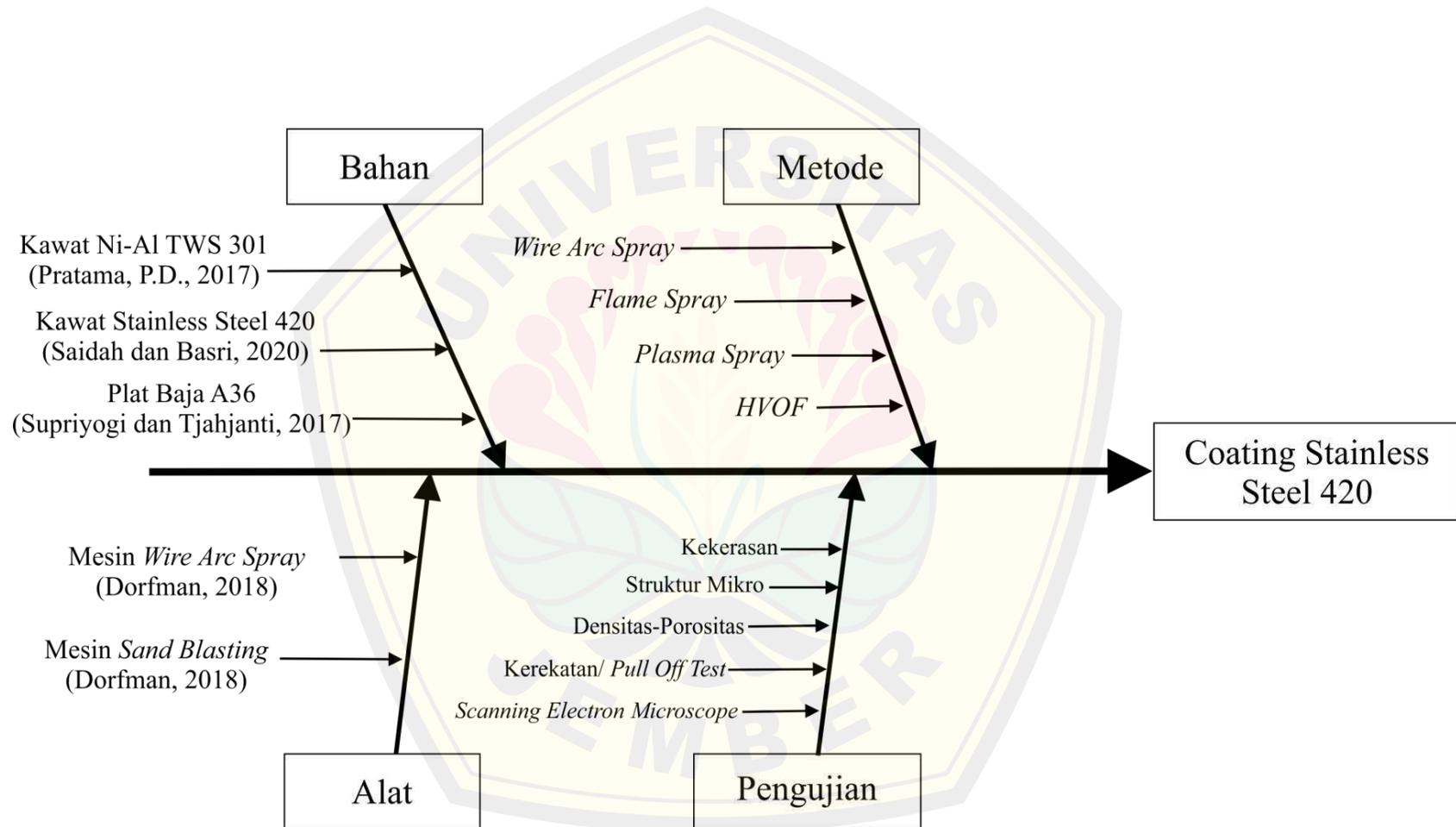
Korosi merupakan proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya (Utomo, 2009). Proses korosi dapat terjadi dimana saja bila beberapa faktor penyebabnya sudah terpenuhi seperti konsentrasi H_2O dan O_2 , pH, dan keberadaan larutan elektrolit. Salah satu sektor yang sangat membutuhkan sistem proteksi korosi yaitu industri perkapalan, karena hampir setiap part/bagian pada kapal tidak mudah terkorosi baik oleh lingkungan maupun air laut yang memiliki salinitas

yang tinggi. Komponen kapal, baik di atas maupun di bawah dek, biasanya menggunakan stainless steel sebagai pelapis agar tahan terhadap korosi. Berbagai aplikasi *coating* juga menggunakan seng atau stainless steel, misalnya bendungan dan pintu air. Interior tangki penyimpanan air juga disemprot dengan zinc untuk memberikan perlindungan korosi pada baja tanpa ancaman kontaminasi air dengan pelarut yang mungkin ada di sistem pelapisan epoksi spray (Davis, 2004).

c. High Temperature Protection

Merupakan Kemampuan material untuk menahan panas, kemampuan ini biasa digunakan pada permukaan logam yang beroperasi pada suhu tinggi seperti Boiler, Turbin gas, Turbine blade mesin pesawat, dan mesin Otomotif. Material Al_2O_3 , BeO , CaO , ZrO_2 , TiC , Diamond, MgO , Y_2O_3 , Mulite, Titania adalah kategori material yang dapat digunakan sebagai bahan untuk *Thermal Barrier Coating* (Saini *et al*, 2012). Penggunaan material tersebut mampu menahan panas yang tinggi sehingga material yang dilapisi terlindungi dan memiliki umur pakai yang lebih lama. Material ini sebagian besar adalah bahan keramik atau *superalloy coating* yang merupakan konduktor panas yang buruk sehingga logam dasar terlindungi dari efek beban termal yang tinggi. Perubahan suhu yang terus menerus pada material memainkan peran penting dalam menentukan umur pelapisan.

2.5 Diagram Fishbone Penelitian Pelapisan SS420 Pada Plat Baja A36



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang akan digunakan yakni menggunakan metode eksperimental. Metode pelapisan/coating yang akan digunakan yaitu *wire arc spray coating* dengan menggunakan *wire stainless steel* dan Ni-Al sebagai bahan *coating* serta menggunakan substrat berupa plat baja A36. Proses coating juga mengaplikasikan variasi jarak nozzle sebesar 100mm, 200mm dan kuat arus sebesar 100A, 150A, 200A. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap plat hasil *coating* dengan pengujian *Pull off strength*, SEM, struktur mikro, densitas porositas dan kekerasan.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variable yang nilainya telah ditentukan sebelum melakukan penelitian. Pada penelitian kali ini variable bebas yang akan digunakan yaitu jarak nozzle dan kuat arus saat proses coating berlangsung antara lain :

- 1) Jarak nozzle sebesar 100 mm dan 200 mm
- 2) Kuat arus sebesar 100A, 150A dan 200A

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel variabel lain, sering disebut juga sebagai variabel respon. Pada penelitian kali ini yang dijadikan sebagai variabel yaitu pengujian plat baja A36 hasil coating menggunakan *wire arc spray* melalui pengujian uji pull off strength, *Scanning*

Electron Microscopy (SEM), pengujian struktur mikro dan pengujian densitas porositas.

3.2.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat tetap atau konstan. Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu :

1. Sudut *nozzle* 90°
2. Lama penyemprotan 1 menit
3. Tekanan udara sebesar 3 Bar
4. Voltase sebesar 28 V

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT.Intidaya Dinamika Sejati, Jember selama 2 bulan mulai 20 Oktober 2021 hingga 21 Desember 2021. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium SEM, Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sedangkan pengujian mikro dan porositas dilakukan di Laboratorium Material Maju, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1) Mesin *wire arc spray*

Mesin ini digunakan untuk aplikasi proses pelapisan material berbentuk *wire* ke material substrat, dimana untuk melelehkan kedua *wire* yang berada pada sisi katoda dan anoda menggunakan daya listrik dan udara

bertekanan untuk mendorong droplet. Mesin ini juga terdiri dari beberapa part yang menjadi satu rangkaian yaitu antara lain :

- Power source with in-bult control panel MEC P-400
- Portable Wire Feed & Gun Stand
- ARCJET – 96 Gun with Air Cooled Arc Head
- Interconnecting Hoses & Cables



Gambar 3.1 Mesin *wire arc spray* MEC P-400 (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Wire Arc Spray MEC P-400

Spesifikasi	Keterangan
<i>Supply voltage</i> (V)	415
<i>Main supply</i> (Hz)	50 Hz
<i>Max capacity</i> (kW)	15
<i>Open circuit voltage</i> (V)	19 – 52
<i>Current</i> (A)	400 (75 % duty cycles)

	300 (continuous operation)
Wire size (mm)	1.6 – 3.17
Weight (kg)	225

2) Mesin *sand blasting*

Alat ini digunakan untuk membersihkan permukaan material *substrate* dari kontaminasi seperti karat, cat, tanah, serta digunakan sebagai *surface preparation* yaitu memberikan kekasaran pada permukaan material. Dalam penelitian kali ini mesin sand blasting yang digunakan yaitu merk Wipro Sand Blasting Tank SB-38 dan memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 3.2.



Gambar 3.2 Mesin *sand blasting* (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Wipro Sand Blasting Tank SB-38

Spesifikasi	Keterangan
Model number	SB-38
Volume (L)	38
Hose Length (m)	2.5
Working Pressure (PSI)	60-125
Working Pressure (CFM)	6-25

Pressure (Bar)	7
----------------	---

3) Gerinda

Gerinda dipakai untuk memotong substrat sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan penelitian.



Gambar 3.3 Gerinda (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4) Alat *Pull off test/ Adhesion Tester*

Alat digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat coating pada permukaan substrat. Adapun alat yang digunakan memiliki tipe dan merk Elcometer 106.



Gambar 3.4 Alat *pull of adhesion test* (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5) *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Digunakan untuk mengetahui morfologi substrat setelah dicoating. Morfologi yang diamati dibagi menjadi 2 bagian yaitu permukaan plat dan *cross section* dengan perbesaran tertentu.

6) Mikroskop Optik

Mikroskop digunakan untuk melihat dan mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada hasil coating substrat dengan perbesaran tertentu.

7) Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan yang digunakan terdapat pada Laboratorium Uji Bahan Material, Fakultas Teknik, Universitas Jember dengan merk *Mitutoyo Hardness* tipe HR210MR963-220-30E.



Gambar 3.5 Alat Uji Kekerasan (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan untuk penelitian proses *coating* kawat stainless steel *wire* dan Ni-Al dengan metode wire arc spray terhadap baja A36 antara lain adalah :

1) Plat Baja A36

Plat baja A36 digunakan sebagai substrat atau benda yang akan dilapisi dengan bahan *coating*. Sebelumnya plat terlebih dahulu dipotong sesuai dimensi yang dibutuhkan menggunakan gerinda.

2) *Stainless steel wire*

Bahan yang digunakan pada lapisan top coat merupakan kawat stainless steel yang sering digunakan pada produk berbentuk poros dengan merk dagang AMS-7201 dengan diameter 1.6mm dan memiliki komposisi kimia seperti tabel dibawah.

Tabel 3.3 Komposisi kimia kawat stainless steel.

Komposisi	Cr	Si	Mn	C	Fe	Ni
Wt%	13.0	1.0	1.0	0.32	Balance	0.25

Tabel 3.4 Karakteristik Deposit

Hardness (HRB)	100-111
Bond Strength (psi)	6500
Deposit Rate (lbs/hr)	10
Deposit Eficiency (%)	70
Coating Shrink Rate	Low



Gambar 3.6 Kawat stainless steel (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3) Ni-Al wire

Bahan yang digunakan pada lapisan bond coat merupakan kawat Ni-Al yang sering digunakan pada proses metal spraying untuk coating perekat dengan merk dagang TSW-NA301 dengan diameter 1.6mm dan memiliki komposisi kimia seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Komposisi kimia kawat Ni-Al

Unsur	Presentase (%)
Ni	95
Al	5



Gambar 3.7 Kawat bonding NiAl (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Preparasi Spesimen

Untuk mendapatkan hasil yang baik maka dalam penelitian ini baik dilakukan preparai dari material substrate, adapun prosedur preparasi sebagai berikut :

- a. Pemotongan spesimen berupa substrat plat baja A36 dengan ukuran 80 x 35 mm menggunakan gerinda
- b. Proses *undercutting* pada plat yaitu mengurangi ketebalan lapisan substrat dengan menggunakan gerinda agar menghasilkan permukaan yang seragam.
- c. Melakukan proses *degreasing* terhadap substrat dengan menggunakan cairan *thinner* untuk menghilangkan kotoran/kontaminan.
- d. Sebelum proses pelapisan, permukaan substrat dilakukan *abrasive grit blasting* untuk membuat permukaan menjadi kasar menggunakan *aluminum oxide* 24 mesh dengan tekanan sebesar 7 bar dan jarak *nozzle* 100 mm.

3.5.2 Proses Pelapisan

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti plat substrat, kawat bonding, dan kawat coating
- b. Meletakkan substrat pada jig
- c. Menyalakan kompresor dan mengatur tekanan udara yang akan digunakan yaitu 3 Bar
- d. Memasang 2 buah gulungan kawat pada stand off sebelum dimasukkan menuju *spray gun*, proses pelapisan terlebih dahulu menggunakan kawat bonding Ni-Al, untuk proses pelapisan Ni-Al parameter yang digunakan tetap seperti arus 150 A, jarak 100 mm, dan voltase 28 V.
- e. Selanjutnya baru dilakukan proses coating menggunakan kawat stainless steel

dengan merata dan waktu yang sama pada setiap substrat.

- f. Lakukan pengulangan pada step a dan seterusnya menggunakan variasi jarak dan arus yang digunakan yaitu, 100mm;100A, 100mm;150A,100mm;200A, 200mm;100A, 200mm;150A, dan 200mm;200A
- g. Mematikan mesin dan kompresor udara ketika selesai

3.6 Proses Pengujian

3.6.1 Densitas Porositas

Pengujian densitas-porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88 yang mengacu pada hukum Archimedes. Tahapan pengujian densitas-porositas pada Plat baja A36 stainless steel coating adalah sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan sampel yang akan diuji
- b. Mempersiapkan timbangan, *beaker glass*, benang dan *aquadest*
- c. Menimbang dan mencatat berat kering sampel
- d. Menimbang berat sampel dalam air dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air
- e. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel
- f. Menghitung volume sampel dengan rumus :

$$V_{\text{sampel}} = \frac{W_{\text{di fluida}}}{\rho_{\text{fluida}}} \quad (1)$$

dimana,

V_{sampel} : Volume sampel (cm^3)

$W_{\text{di fluida}}$: Massa di fluida (gram)

ρ_{fluida} : Densitas fluida (gram/cm^3)

- g. Menghitung densitas sampel hasil percobaan menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{W_{\text{kering}}}{V_{\text{sampel}}} \quad (2)$$

dimana,

ρ_{sampel} = Densitas sampel (gram/cm³)

W_{kering} = Massa di udara (gram)

V_{sampel} = Volume sampel (cm³)

- h. Menghitung densitas teoritis sampel menggunakan rumus :

$$\rho_{\text{coating}} = (V_{\text{f plat baja karbon}} \times \rho_{\text{plat baja karbon}}) + (V_{\text{f Ni-Al}} \times \rho_{\text{Ni-Al}}) + (V_{\text{f stainless steel}} \times \rho_{\text{stainless steel}}) \quad (3)$$

- i. Menghitung nilai porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{Porositas} = \left(\frac{\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{aktual}}}{\rho_{\text{teoritis}}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

dimana,

ρ_{teoritis} = densitas teoritis (gram/cm³)

ρ_{aktual} = densitas aktual (gram/cm³)

3.6.2 Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada semua sampel hasil pelapisan dan menggunakan standar ASTM E18, setiap pengujian diambil 5 titik tempat uji yang berbeda, pengujian *Rockwell Hardness* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji.

- b. Mempersiapkan alat pengujian dan indentor *Rockwell Hardness Tester*.
- c. Memasang indentor
- d. Menyalakan alat uji
- e. Meletakkan spesimen pada *anvil* agar indentor dapat melakukan pembebanan dengan tepat
- f. Menekan tombol *start*.
- g. Mencatat nilai kekerasan yang muncul pada *Rockwell Hardness Tester*.

3.6.3 Uji Kerekatan / *Pull off test*

Pengujian *Pull Off Test* digunakan untuk mengukur kekuatan lekat coating stainless steel dengan tahapan pengujian yang sesuai dengan standar ASTM D4541 sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan sesuai standar
2. Dolly diberi lem Araldite dan dipasang pada hasil coating
3. Setelah 24 jam lem menempel sempurna, alat pull off test Adhesion tester dipasang
4. Putar batang hidrolik secara berulang sampai coating lapisan tertarik
5. Catat hasil pengujian

3.6.4 Stuktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic Olympus BX41M perbesaran 100 dan 200x. pengamatan difokuskan pada bagian cross section dari lapisan coating dengan substrat dan disesuaikan dengan standar ASTM E407-7. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan bahan sekitar 1-2 cm

2. Mounting dengan menggunakan resin
3. Pengamplasan dengan grit 100, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000, dan dilakukan proses polishing menggunakan aluminium polish.
4. Etsa menggunakan media swabbing dengan larutan campuran 2,5ml HNO₃, 1,5 ml HCL, 1 ml HF dan 95 ml air. Lama proses etsa 14-17 detik.
5. Bilas atau bersihkan cairan etsa dengan air mengalir dan keringkan sampel menggunakan heat gun.
6. Sampel dilakukan proses pengamatan serta pengambilan data yang diperlukan pada mikroskop optik.

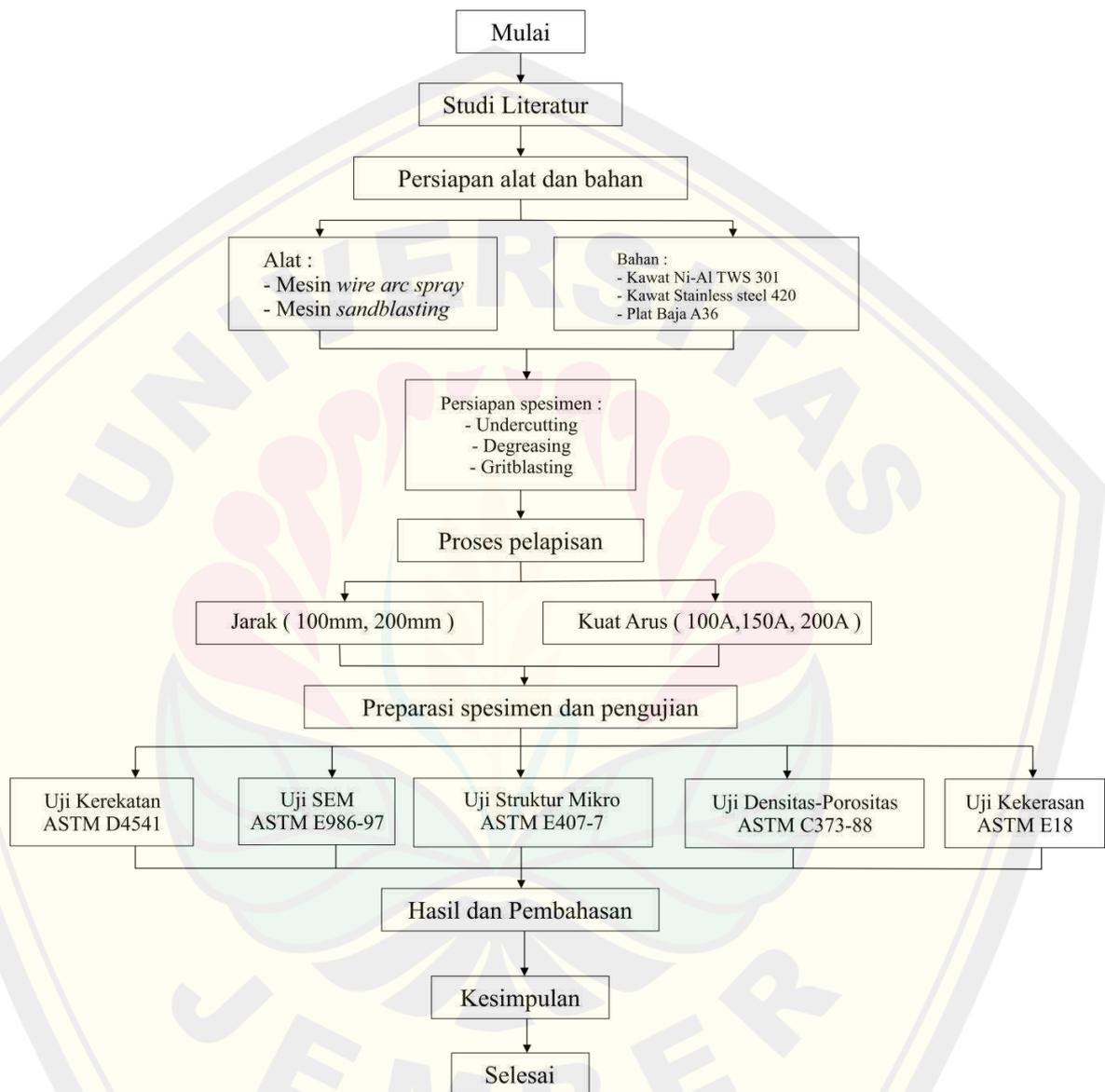
3.6.5 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pada proses pengamatan dengan SEM plat baja A36 *stainless steel coating* ini menggunakan alat SEM tipe merk *HITACHI FLEXSEM 1000* yang sesuai dengan standar ASTM E986-97 dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

1. Alat pengujian *SEM Phenom™ G2 Pro* dipersiapkan.
2. Sampel dibagi menjadi dua kategori yaitu pengamatan pada permukaan dan bagian *cross section*
3. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 200 hingga 1000 pada bagian *cross section* dan 500 hingga 10000 pada bagian lapisan
3. Sampel yang sudah siap diuji ditempatkan pada *stage*
4. *Stage* dimasukkan kedalam alat *SEM Phenom™ G2 Pro*.
5. Kemudian sampel siap di uji dengan pembesaran yang diinginkan
6. Setelah sampel yang diamati didapat, kemudian gambar disimpan pada PC

3.7 Diagram Alir

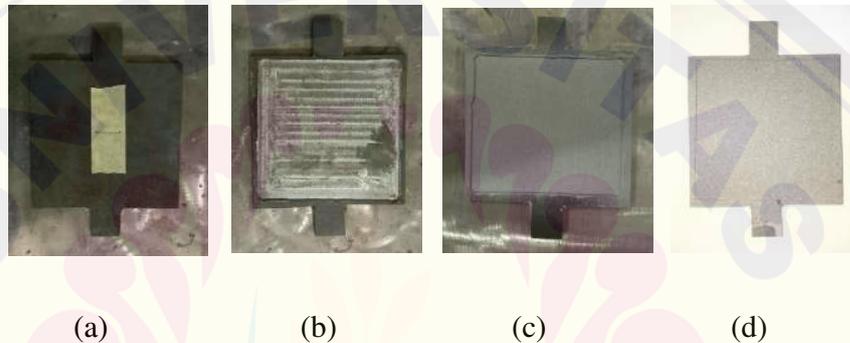
Diagram Alir pada penelitian pelapisan *stainless steel* dan Ni-Al *wire* dengan metode *wire arc spray* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *coating* yang digunakan pada proses pelapisan penelitian ini yaitu metode *wire arc spray* dimana dua kawat digunakan sebagai *top coat* dan *bond coat*. Plat baja A36 digunakan sebagai substrat dalam penelitian kali ini kemudian mengamati hasil pelapisan dan pengaruh dari variasi yang digunakan yaitu kuat arus dan jarak *nozzle*.



Gambar 4.1 (a) Plat A36 (b) Plat Setelah *Undercut* (c) Plat Setelah Proses *Sandblasting* (d) Plat Setelah Proses *Coating*

Hasil permukaan pada Gambar 4.1 dilihat secara visual menunjukkan permukaan yang kasar dan tidak rata, baik saat substrat dilakukan sandblasting dan setelah dilakukan proses *coating*. Perbedaan nampak pada warna permukaan yang berwarna keabu-abuan setelah proses *sand blasting* dan semakin gelap pada permukaan substrat yang telah dilapisi *stainless steel 420* dengan beberapa bintik hitam. Spesimen hasil *coating* menggunakan varias jarak *nozzle* dan kuat arus selanjutnya akan dilakukan beberapa pengujian seperti pada pembahasan berikut .

4.1 Pengujian Densitas-Porositas

Tujuan dari pengujian densitas porositas yaitu untuk membandingkan nilai densitas teoritis dan aktual yang didapat dari penimbangan sampel Plat A36 yang telah dilapisi *coating* SS420. Selanjutnya hasil perbandingan nilai densitas aktual dan teoritis akan digunakan untuk mengetahui tingkat porositas yang terdapat pada sampel. Hasil dari pengujian densitas-porositas plat A36 *coating* SS420 ditunjukkan pada tabel 4.2 di bawah ini.

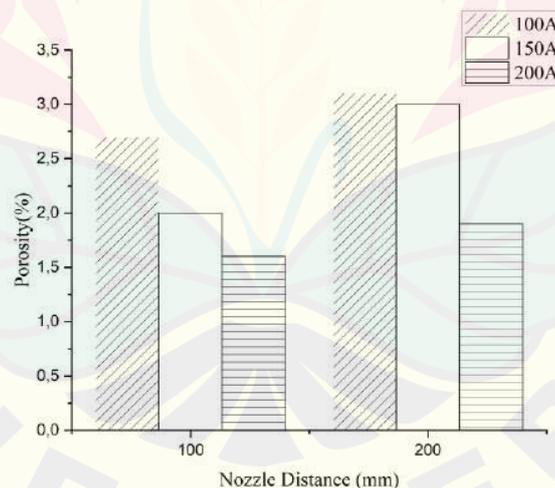
Tabel 4.1 Data Densitas Aktual, Densitas Teoritis, dan Porositas Plat A36 *Coating* SS420

Spesimen	Densitas Teoritis (gram/mm ³)	Densitas Aktual (gram/mm ³)	Rata-Rata Densitas Aktual (gram/mm ³)	Porositas (%)	Rata-Rata Porositas (%)
Jarak (100mm),Kuat Arus (100A)	7,84	7,70 7,54 7,66	7,63	1,83 3,93 2,39	2,7
Jarak (100mm),Kuat Arus (150A)	7,84	7,67 7,70 7,69	7,68	2,22 1,85 2,05	2,0
Jarak (100mm),Kuat Arus (200A)	7,84	7,72 7,67 7,75	7,71	1,53 2,28 1,24	1,6
Jarak (200mm),Kuat	7,85	7,70 7,57	7,6	1,92 3,49	3,1

Arus (100A)		7,53		4,00	
Jarak		7,40		5,73	
(200mm),Kuat	7,84	7,75	7,61	1,22	3,0
Arus (150A)		7,68		2,05	
Jarak		7,75		1,19	
(200mm),Kuat	7,84	7,60	7,68	3,11	1,9
Arus (200A)		7,70		1,63	

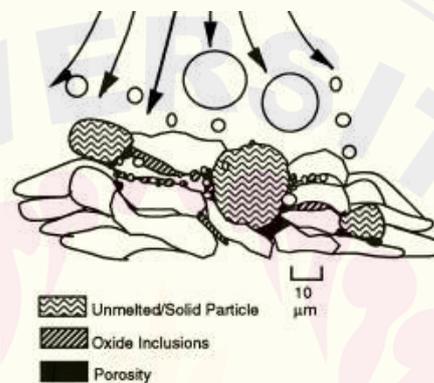
Diketahui bahwa terdapat selisih antara nilai densitas aktual dan densitas teoritis sampel plat A36 yang telah dilakukan proses pelapisan menggunakan kawat SS420. Perbedaan nilai tersebut disebabkan adanya porositas yang terbentuk selama proses pelapisan berlangsung baik saat menggunakan variasi jarak sebesar 100mm dan 200mm dan juga menggunakan variasi kuat arus sebesar 100A, 150A, dan 200A.

4.1.1 Pengaruh Jarak *Nozzle* Terhadap Nilai Densitas-Porositas



Gambar 4.2 Grafik Presentase Nilai Porositas Variasi Jarak 100mm, 150mm dan 200mm

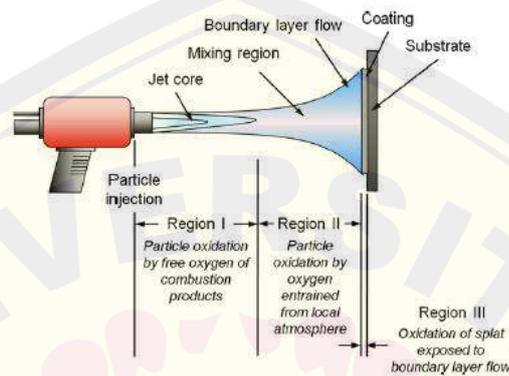
Pengaruh variasi jarak *nozzle* terhadap nilai densitas-porositas dapat dilihat pada Gambar 4.6 Grafik nilai densitas aktual, teoritis dan porositas dibatas ini. Gambar 4.2 menunjukkan grafik naiknya nilai porositas pada saat pelapisan menggunakan variasi jarak sebesar 200mm, baik untuk kuat arus sebesar 100A, 150A dan juga 200A dengan nilai porositas masing-masing yaitu sebesar 3,1%, 3% dan 1,9%. Nilai porositas didapatkan semakin kecil saat menggunakan variasi jarak 100mm dengan nilai terkecil yaitu 1,6% untuk kuat arus 200A dan nilai paling tinggi yaitu sebesar 2,7%. untuk kuat arus 100A.



Gambar 4.3 Sebaran Partikel *Unmelt* dan Porositas Pada Lapisan (Sumber: Davis, 2004).

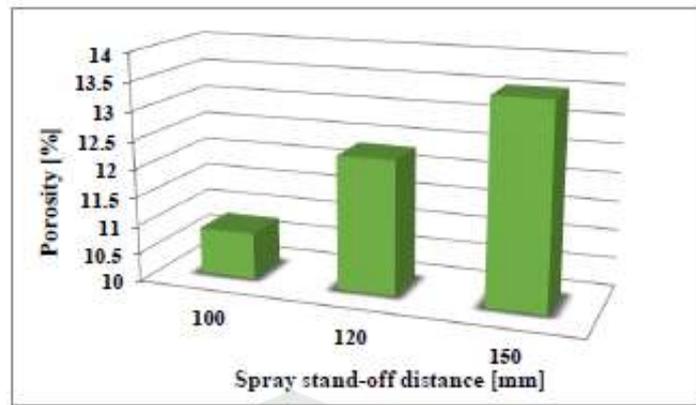
Selisih tingkat nilai porositas antara variasi jarak *nozzle* 100mm dengan variasi jarak *nozzle* 200mm terjadi diakibatkan oleh banyaknya partikel yang tidak meleleh dengan sempurna/*unmelt*, dimana nantinya disekitar partikel *unmelt* tersebut akan tercipta ruang-ruang yang tidak terisi oleh lapisan *coating* yang baru seperti tampak pada Gambar 4.3. Selain itu jarak *nozzle* yang terlalu jauh akan meningkatkan tingkat oksidasi partikel *coating* karena *droplet* akan terekspos pada *in-flight oxidation* terlalu lama. Dengan bertambahnya jarak *nozzle* yang digunakan maka waktu *droplet* bersinggungan dengan udara akan semakin lama ditambah dengan

kondisi kelembapan ruang/area *spray coating* juga akan mempengaruhi hasil lapisan nantinya (Gan dan Christopher, 2013). *In-flight oxidation* paling sering terjadi pada area yang terbentuk antara ujung busur *nozzle* dengan permukaan substrat seperti pada region 2 gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Skema Potensi Terjadinya Oksidasi Pada Proses Thermal Spray (Sumber: Gan dan Christopher, 2013).

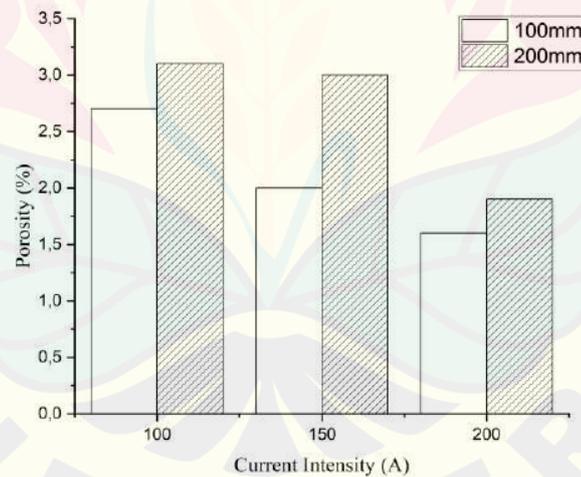
Fenomena peningkatan nilai porositas seiring dengan bertambahnya jarak *nozzle* juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Haraga, *et al* (2020) bahwa penambahan jarak *nozzle* sebesar 100mm, 120mm dan 150mm pada pelapisan kawat 97MXC. Dalam penelitian tersebut ditemukan nilai porositas paling besar yaitu terdapat pada variasi jarak terjauh 150mm dengan nilai porositas sebesar 14,2% dan nilai porositas terkecil sebesar 11% pada jarak terdekat 100mm.



Gambar 4.5 Grafik Nilai Porositas Lapisan 97MXC Dengan Variasi Jarak (Sumber: Haraga *et al*,2020)

4.1.2 Pengaruh Kuat Arus Terhadap Nilai Densitas-Porositas

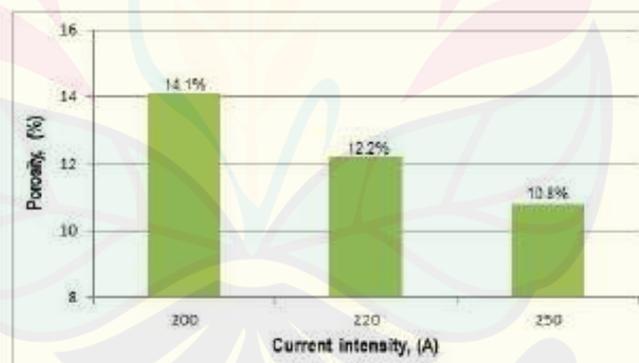
Pengaruh variasi kuat arus terhadap nilai densitas-porositas dapat dilihat pada Gambar 4.6 Grafik nilai densitas porositas dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik Presentase Nilai Porositas Variasi Kuat Arus 100A, 150A, dan 200A

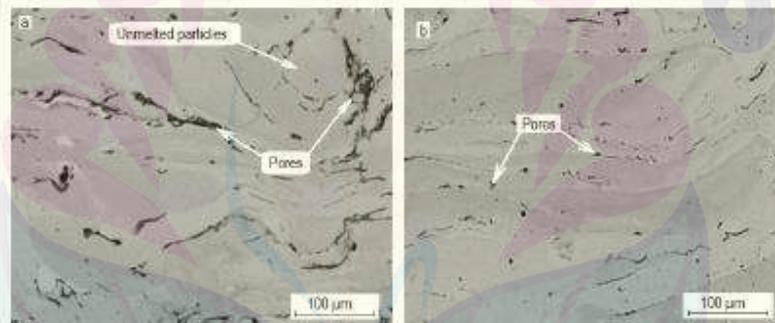
Grafik diatas menunjukkan adanya penurunan nilai densitas porositas pada setiap kenaikan level kuat arus pada kedua jarak ketika proses *coating* berlangsung. Pada variasi kuat arus sebesar 100A baik pada jarak 100mm dan 200mm terlihat bahwa keduanya memiliki nilai densitas porositas yang paling tinggi yaitu sebesar 2,72% dan 3,14%. Selanjutnya pada variasi kuat arus sebesar 150A mengalami penurunan dari nilai densitas porositas sebelumnya yaitu menjadi 2,04% untuk jarak 100mm dan 3% untuk jarak 200mm. Nilai densitas porositas terkecil didapatkan ketika variasi kuat arus yang digunakan sebesar 200A. Pada jarak 100mm nilai densitas porositas yang muncul yaitu 1,68% dan untuk jarak 200mm sebesar 1,98%.

Pada penelitian yang lain juga ditemukan fenomena yang sama, yaitu terjadinya penurunan nilai porositas spesimen hasil *coating* seiring dengan meningkatnya kuat arus. Penelitian yang dilakukan oleh Haraga et al, (2019) dimana pada penelitian tersebut mendapatkan nilai porositas pelapisan kawat 97MXC paling tinggi pada kuat arus paling kecil 200A dengan presentase 14,1%, lalu pada kuat arus 220A presentase porositas yaitu 12,2% dan nilai presentase paling kecil yaitu 10,% pada kuat arus 250A.



Gambar 4.7 Grafik Presentase Nilai Porositas Lapisan 97MXC Variasi Kuat Arus (Sumber : Haraga et al, 2019)

Pengaruh variasi kuat arus yang menyebabkan penurunan nilai atau presentase porositas pada suatu lapisan hasil *arc spray coating* dapat disebabkan karena pada kuat arus yang lebih tinggi maka temperatur yang dihasilkan akan lebih tinggi pula (Toma *et al*, 2013). Dengan temperatur yang tinggi maka busur listrik dapat melelehkan dengan lebih baik material *coating* yang umumnya memiliki tingkat leleh cukup tinggi, seperti kawat stainless steel. Bentuk lapisan yang baik dalam sebuah *coating* sendiri adalah bentuk *lamella* dimana partikel yang berhasil menuju permukaan substrat sebagian besar akan meleleh dengan sempurna dan membentuk lapisan menyerupai lembaran-lembaran (Davis, 2004). Selain dari Gambar 4.7, penurunan tingkat porositas dan partikel unmelt akibat kenaikan kuat arus pada penelitian Haraga (2019) juga dapat diamati melalui citra SEM pada Gambar 4.8. Pada gambar dibawah nampak lebih banyak porositas dan partikel unmelt yang terbentuk pada Gambar 4.8 a daripada Gambar 4.8 b.



Gambar 4.8 Citra SEM Lapisan *Coating* 97MXC a. 220A; b. 250A (Sumber : Haraga *et al*, 2019)

4.2 Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan pada substrat berupa plat baja A36 yang telah dilapisi menggunakan kawat *bonding* NiAl dan kawat *coating* SS420 dengan variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A). Proses pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, alat yang digunakan Hardness Tester THI20B, dengan metode Rockwell Hardness.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan pemberian beban penekanan indenter pada spesimen, menggunakan alat Hardness Tester THI20B dengan menunjukkan hasil nilai kekerasan, dari pengujian ini dapat diketahui sifat kekuatan suatu material tersebut. Berikut merupakan tabel hasil pengujian kekerasan dari substrat plat A36 yang telah dilapisi menggunakan kawat NiAl dan SS420 dengan variasi jarak *nozzle* (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A).

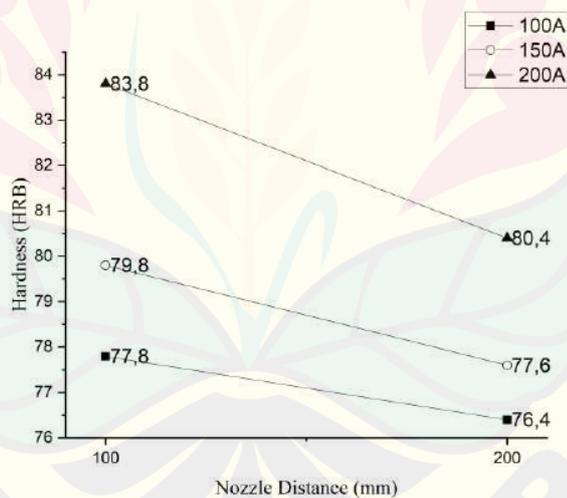
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen	Nilai Kekerasan Tiap Indentasi (HRB)					Rata-rata Nilai Kekerasan (HRB)
	Jarak (100mm), Kuat arus (100A)	81	76	77,5	80	74,5
Jarak (100mm), Kuat arus (150A)	82,5	82	74	83,5	77,5	79,8
Jarak (100mm), Kuat arus (200A)	84,00	82,50	85,00	83,00	84,50	83,80

Jarak (200mm), Kuat arus (100A)	78,00	77,00	76,50	73,00	77,50	76,40
Jarak (200mm), Kuat arus (150A)	81,50	76,00	74,50	76,00	78,00	77,60
Jarak (200mm), Kuat arus (200A)	81,00	82,00	84,00	78,00	77,00	80,40

4.2.1 Pengaruh Jarak *Nozzle* Terhadap Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan mengalami penurunan pada setiap kenaikan jarak *nozzle* yang digunakan, baik untuk variasi kuat arus sebesar 100A, 150A dan 200A. Penurunan nilai kekerasan pada setiap peningkatan variasi jarak *nozzle* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Rata-Rata Kekerasan Substrat dengan Variasi Jarak 100mm Dan 200mm

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa variasi peningkatan jarak *nozzle* cukup berpengaruh pada penurunan nilai kekerasan substrat baik pada variasi kuat arus 100A, 150A, dan 200A. Untuk nilai kekerasan pada variasi jarak *nozzle* sebesar 100mm rata-rata nilai kekerasan masing-masing untuk variasi kuat arus yaitu sebesar 77,8 HRB untuk kuat arus 100A, 79,8 HRB untuk kuat arus 150A dan yang paling besar yaitu untuk variasi kuat arus 200A sebesar 83,8 HRB. Sedangkan untuk variasi jarak *nozzle* 200mm didapat nilai rata-rata tertinggi sebesar 80,4 HRB untuk kuat arus 200A dan nilai rata-rata kekerasan paling kecil yaitu sebesar 76,4 HRB untuk kuat arus 100A.

Perbedaan jarak *nozzle* cukup berpengaruh terhadap nilai kekerasan dari substrat yang telah *dicoating*, karena pada jarak *nozzle* yang dekat *deposit* yang didapatkan pada proses *coating* cenderung homogen. Tidak seperti jarak *nozzle* yang lebih jauh, *deposit* memiliki struktur yang tidak homogen, mengandung banyak partikel *unmelt* dan memiliki porositas (Haraga *et al*,2020). Struktur lapisan yang tidak homogen karena partikel *unmelt* dan porositas itulah yang mengurangi kerapatan antar partikel dan mengakibatkan rendahnya nilai kekerasan suatu lapisan.

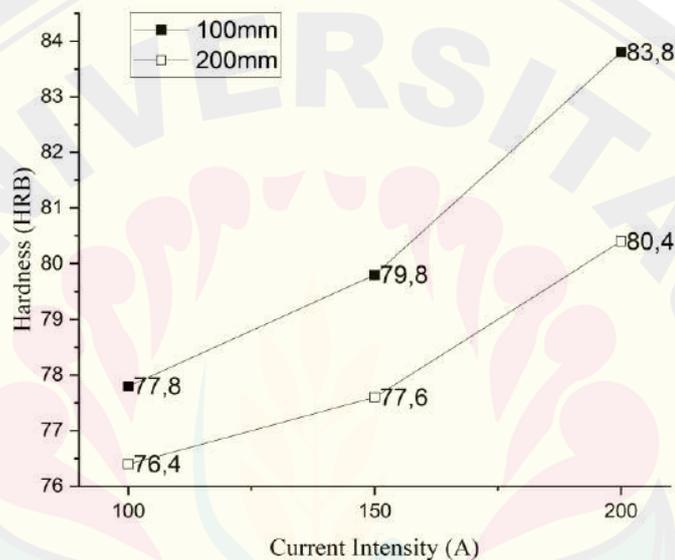


Gambar 4.10 Grafik Nilai Rata-Rata Kekerasan Substrat SS 304 pelapisan 95MXC (Sumber: Fitriyana, *et al*, 2018)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fitriyana, *et al* (2018) mengenai pengaruh variasi jarak penembakan pada pelapisan 95MXC pada substrat SS 304 juga terlihat bahwa terjadi penurunan nilai rata-rata kekerasan seiring dengan bertambahnya jarak penembakan. Hal itu disebabkan pada jarak yang lebih dekat partikel yang terbentuk pada lapisan *coating* cenderung lebih kecil sehingga ruang antar partikel semakin rapat dan padat. Selain itu partikel *unmelt* yang terbentuk pada lapisan *coating* dipengaruhi oleh jarak penembakan yang terlalu jauh, mengakibatkan partikel mengalami solidifikasi dan penurunan temperatur sebelum menumbuk permukaan substrat. Semakin banyak jumlah porositas dan partikel *unmelt* akan menurunkan nilai kekerasan suatu lapisan. (Haraga, *et al*, 2020).

4.2.2 Pengaruh Kuat Arus Terhadap Nilai Kekerasan

Nilai rata-rata kekerasan untuk variasi kuat arus sebesar 100A, 150A dan 200A mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada setiap level, baik pada variasi jarak 100mm dan 200mm. Grafik hasil nilai rata-rata kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.

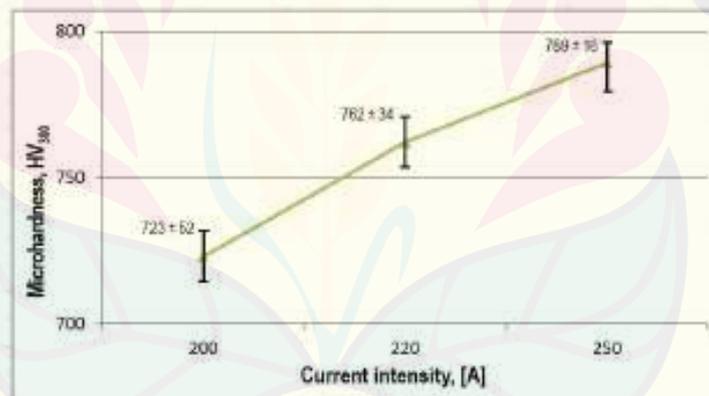


Gambar 4.11 Grafik Nilai Rata-rata kekerasan substrat dengan variasi kuat arus 100A,150A dan 200A.

Sesuai dengan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kekerasan mengalami kenaikan yang cukup signifikan seiring dengan meningkatnya kuat arus yang digunakan pada proses *coating*, baik yang menggunakan variasi jarak sebesar 100mm dan 200mm. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi diperoleh dengan

menggunakan variasi kuat arus 200A dan jarak 100mm dengan nilai sebesar 83,8 HRB. Sedangkan nilai rata-rata kekerasan terendah diperoleh pada penggunaan variasi kuat arus 100A dan jarak 200mm dengan nilai sebesar 76,4 HRB.

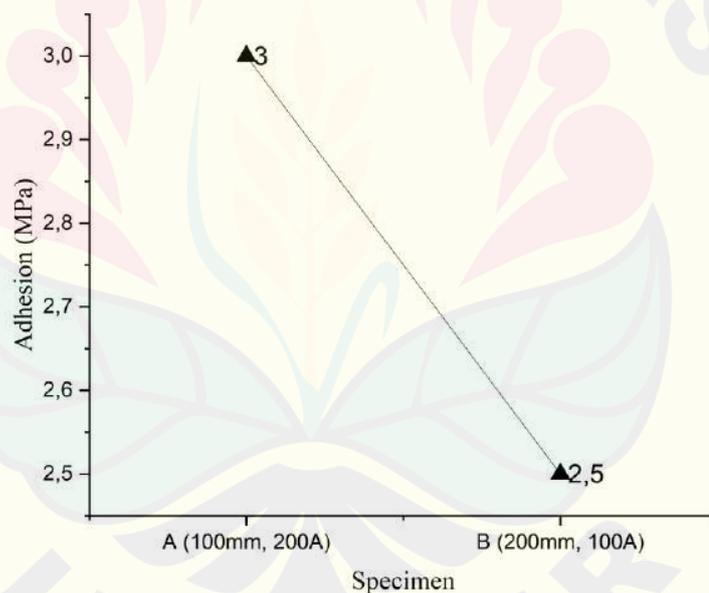
Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Haraga, *et al* (2019) dimana dalam penelitian tersebut peningkatan kuat arus yang digunakan dalam proses *spray coating* lapisan kawat 97MXC dapat meningkatkan nilai kekerasan, hal itu terjadi karena dengan kenaikan kuat arus yang digunakan dapat menghasilkan lapisan *coating* yang bersifat homogen. Selain itu, dengan meningkatnya kuat arus yang digunakan maka semakin tinggi pula temperatur yang terbentuk pada *arc* yang membakar kedua kawat sebelum *splat* menumbuk permukaan substrat. Dengan mempertahankan suhu tinggi partikel di sepanjang *arc*, maka dapat mempertahankan nilai viskositas dari partikel dalam momen tumbukan menuju permukaan substrat (Toma *et al*, 2013).



Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekerasan Lapisan 97MXC Dengan Variasi Kuat Arus (Sumber: Haraga *et al*, 2019)

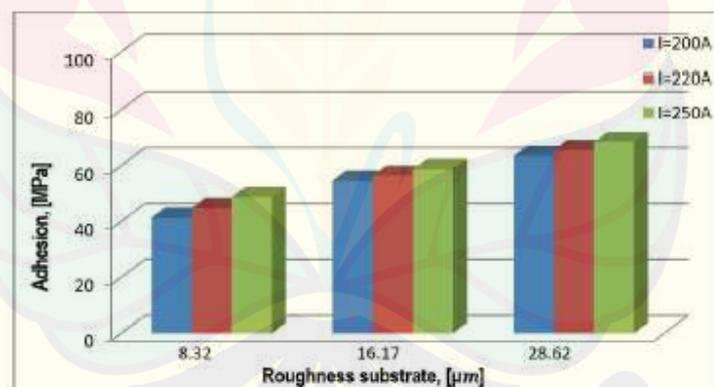
4.3 Pengujian *Pull Of Test*

Pengujian *Pull Of Test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan *bonding* antara substrat dengan material *coating*. Pengujian dilakukan dengan menempelkan pin (dolly) pada permukaan *coating* menggunakan lem polimer araldite. Setelah didiamkan pin akan ditarik menggunakan alat uji hingga pin tertarik dan sebagian *coating* terlepas dari substrat. Angka yang terukur (MPa) pada alat uji tersebut yang menunjukkan kekuatan *bonding* dari spesimen. Pada gambar dibawah ini menunjukkan hasil kekuatan *bonding* pada masing-masing spesimen dengan variabel jarak *nozzle* dan kuat arus.



Gambar 4.13 Grafik Nilai *Pull Of Test*

Spesimen A menggunakan variabel jarak 100mm dan kuat arus 200A sedangkan spesimen B menggunakan variabel jarak 200mm dan kuat arus 100A. Kedua spesimen digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel dengan nilai tertinggi dan terendah terhadap daya lekat permukaan *coating*. Dari gambar terlihat bahwa spesimen A memiliki daya lekat sebesar 3 MPa sedangkan spesimen B memiliki daya lekat sebesar 2,5 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak *nozzle* yang terlalu jauh dan juga kuat arus yang rendah akan menyebabkan penurunan terhadap daya lekat *coating*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fitriyana *et al* (2018) juga menunjukkan bahwa semakin jauh jarak *nozzle* akan meningkatkan porositas dan partikel *unmelt*. Peningkatan porositas dan partikel *unmelt* akan mengakibatkan penurunan daya lekat *coating* terhadap substrat. Hal ini sejalan dengan pengujian densitas-porositas yang sebelumnya dilakukan dimana pada variasi jarak *nozzle* 200mm menghasilkan presentase porositas yang lebih besar daripada variasi jarak *nozzle* 100mm.

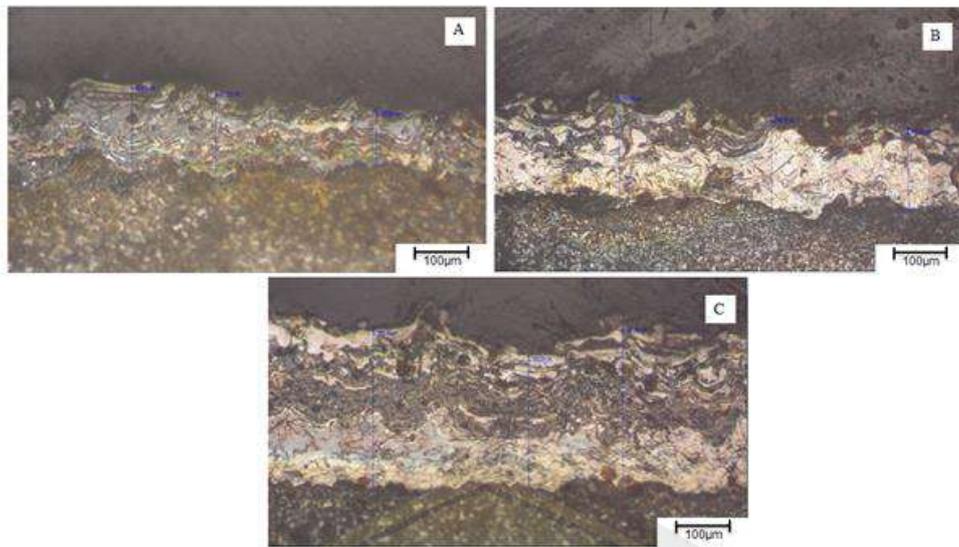


Gambar 4.14 Grafik Nilai *Pull Of Test* (Sumber: Haraga *et al*, 2019)

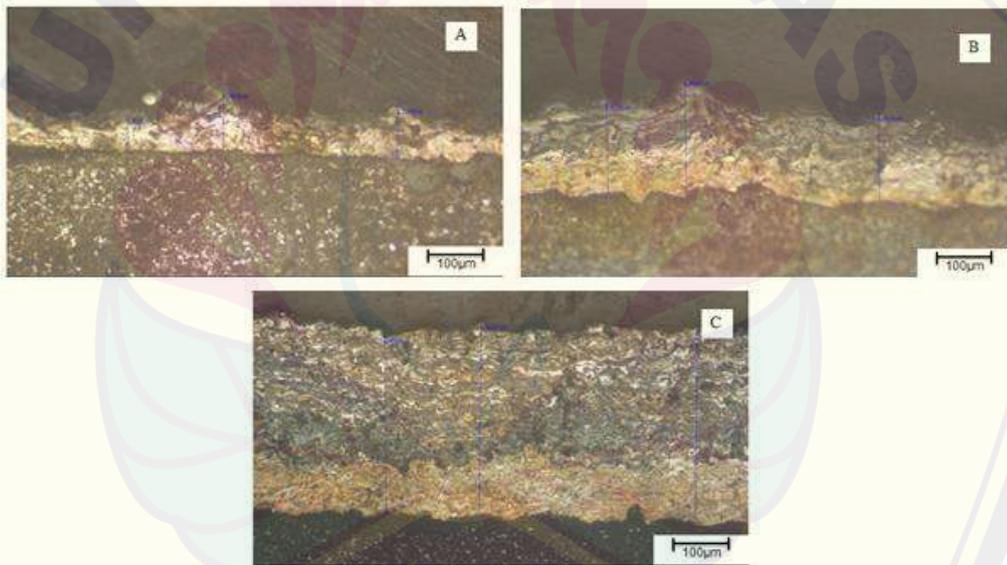
Variasi kuat arus juga berpengaruh terhadap hasil lapisan *coating* yang terbentuk pada permukaan substrat. Pada penelitian yang dilakukan Haraga *et al* (2019) menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus pada proses *coating* akan mengurangi presentase porositas dan partikel *unmelt*. Hal itu disebabkan karena pada kuat arus yang tinggi maka akan menghasilkan temperatur yang tinggi juga. Temperatur yang tinggi akan melelehkan partikel *coating* dengan lebih baik dan membentuk struktur lapisan yang homogen. Struktur lapisan yang homogen dan berbentuk *lamella* akan menghasilkan daya lekat pada permukaan substrat yang lebih baik.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

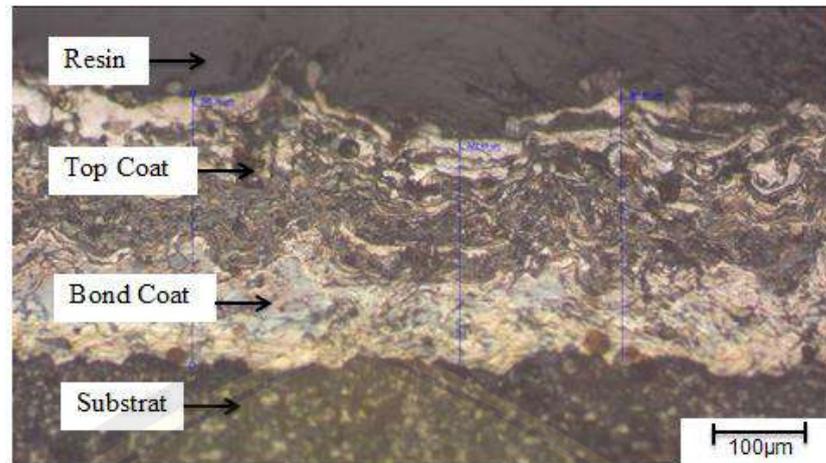
Pengujian pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat kondisi antara lapisan *coating* dengan substrat yang terbentuk pada sampel plat A36 hasil *coating* menggunakan kawat SS420 dengan menggunakan variasi jarak (100mm, 200mm) dan kuat arus (100A, 150A, 200A). Fokus pengamatan struktur mikro dari spesimen yaitu pada daerah *cross section* yang akan memperlihatkan batas-batas lapisan dengan ketebalan tertentu yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam proses pengujian SEM. Adapun hasil pengujian pengamatan struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.15 Struktur Mikro *Cross Section* Spesimen Plat A36 *Coating* Stainless Steel Jarak 100mm Perbesaran 100x A) Kuat Arus 100A, B) Kuat Arus 150A, C) Kuat Arus 200A



Gambar 4.16 Struktur Mikro *Cross Section* Spesimen Plat A36 *Coating* Stainless Steel Jarak 200mm Perbesaran 100x A) Kuat Arus 100A, B) Kuat Arus 150A, C) Kuat Arus 200A

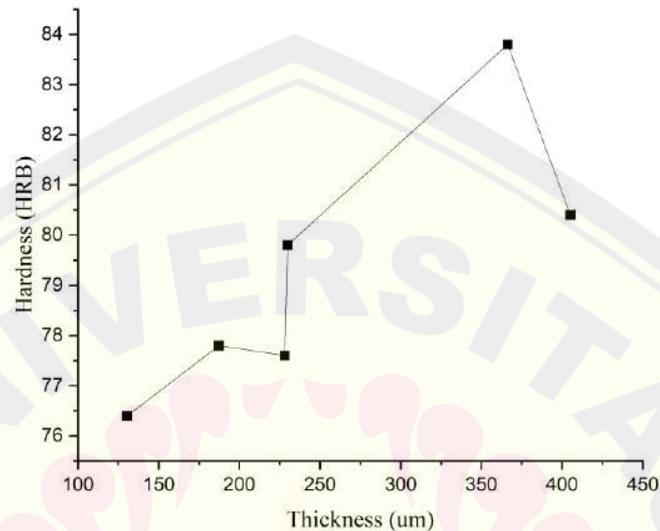


Gambar 4.17 Struktur Top Coat, Bond Coat dan Substrat

Gambar 4.15 dan 4.16 merupakan hasil pengujian pengamatan *digital microscope* dengan perbesaran 100 kali menggunakan variasi jarak *nozzle* dan kuat arus yang berbeda. Kedua gambar menunjukkan bahwa partikel material *coating* telah terdeposisi secara sempurna dimana dapat terlihat bahwa kedua material pelapis yaitu *bond coat* dan *top coat* telah tersebar dan menempel pada permukaan substrat. Ketebalan *coating* dapat diamati menggunakan 3 garis yang ditarik dari ujung *interface* sampai ujung permukaan *coating* lalu diambil rata-rata dari nilai tersebut. Adapun ketebalan masing-masing coating untuk variasi jarak 100mm yaitu 187,31µm pada kuat arus 100A, 230 µm pada 150A dan 366,38 µm pada 200A. Untuk variasi jarak 200mm antara lain 130,49 µm pada 100A, 228,19 µm pada 150A dan 405,08 µm pada 200A.

Ketebalan lapisan *coating* terlihat lebih seragam dan lebih tebal pada gambar 4.15 dibandingkan gambar 4.16 hal itu terjadi karena pada gambar 4.15 jarak *nozzle* yang digunakan lebih kecil, dimana menurut Suwignyo (2018) yaitu pada jarak *nozzle* yang lebih dekat maka hasil material *coating* yang terdeposisi akan semakin tebal dan merata. Selain dipengaruhi oleh jarak *nozzle*, hasil pelapisan juga sedikit terpengaruh dengan variasi kuat arus. Hal itu dapat dilihat pada kedua gambar bahwa dengan

menggunakan kuat arus 100A dan 150A hasil ketebalan yang didapat tidak terlalu berbeda, namun pada penggunaan kuat arus sebesar 200A hasil yang didapat yaitu lapisan *coating* terlihat sedikit lebih tebal dan merata.



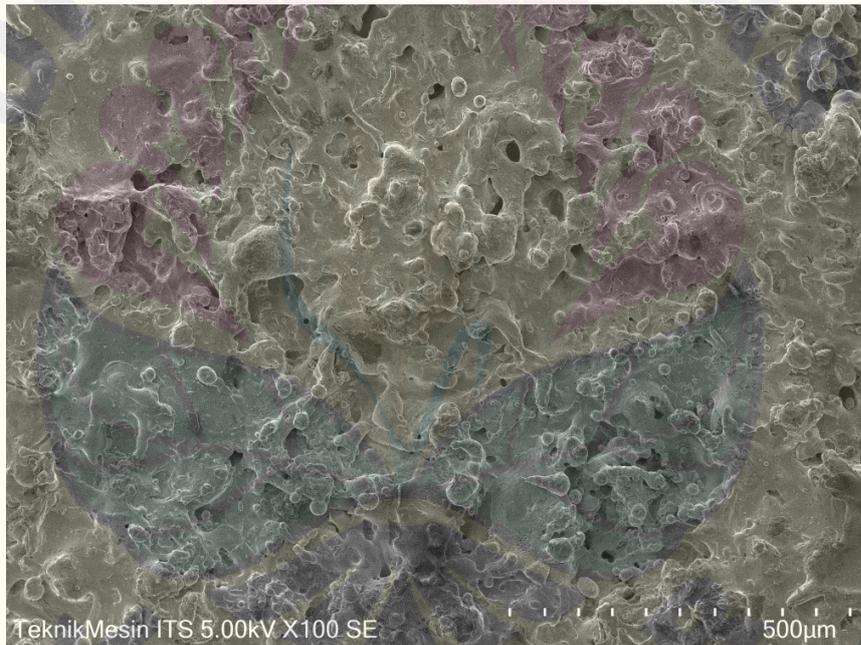
Gambar 4.18 Grafik Nilai Ketebalan Lapisan *Coating* Terhadap Nilai Kekerasan

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa peningkatan nilai kekerasan sejalan dengan peningkatan ketebalan lapisan *coating*, karena pada lapisan *coating* yang lebih tebal partikel material *coating* akan tersebar secara merata dan semakin rapat sehingga meningkatkan nilai kekerasan. Namun terdapat penurunan nilai kekerasan pada sampel dengan ketebalan 228,19 μm dan 405,08 μm . Penurunan nilai kekerasan terjadi karena kedua sampel menggunakan variasi jarak *nozzle* paling jauh sebesar 200mm. Menurut Haraga (2020), peningkatan jarak *nozzle* akan meningkatkan presentase partikel *unmelt* akibat solidifikasi partikel sehingga terbentuklah porositas didalam lapisan. Porositas tersebutlah yang akan menurunkan nilai kekerasan suatu lapisan.

4.5 Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui dan mengamati struktur morfologi yang terbentuk pada lapisan *coating*. Pengujian dilakukan pada permukaan dan penampang melintang (*cross section*) baja A36 yang telah dilapisi *coating*. Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan perbesaran sebesar 100x hingga 1000x pada setiap penampang spesimen. Pengamatan SEM dilakukan pada sampel yang memiliki nilai *pull of test* paling tinggi dan porositas paling rendah untuk mengetahui morfologi permukaan *coating* terbaik.

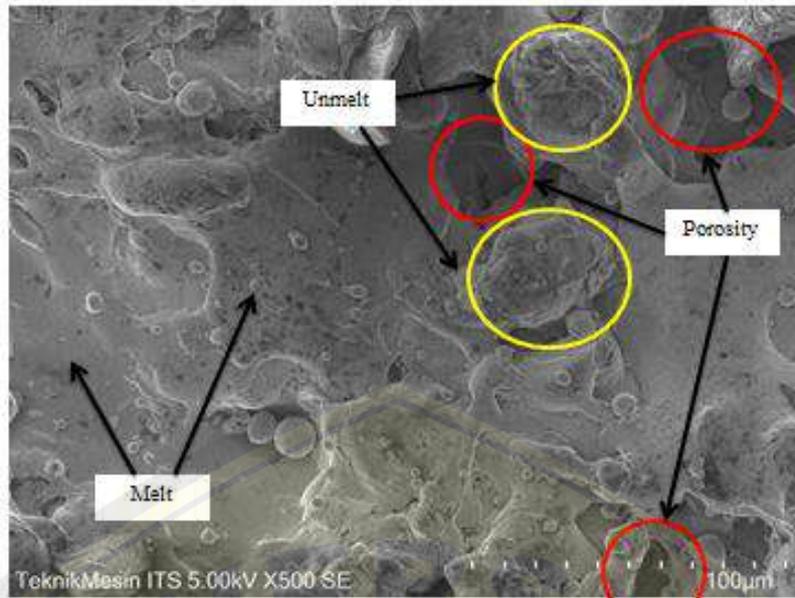
4.5.1 Analisa Permukaan *Coating*



Gambar 4.19 Uji SEM Perbesaran 100x

Gambar 4.18 menunjukkan hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 100x, hasil yang terlihat pada permukaan substrat A36 jarak *nozzle* 100mm dan kuat arus 200A yaitu terdapat partikel *coating* yang meleleh dengan sempurna, partikel *unmelt* berupa gumpalan kasar yang terbentuk akibat tidak dapat meleleh dengan sempurna selain itu juga dapat ditemukan beberapa porositas akibat celah yang terbentuk antar partikel.

Morfologi permukaan *coating* dapat diamati lebih jelas dengan menggunakan perbesaran 500x. Partikel *unmelt* yang ditunjukkan pada gambar dapat terbentuk ketika jarak *nozzle* terlalu jauh sehingga partikel mengalami solidifikasi ketika mencapai permukaan substrat (Haraga *et al*,al 2020). Selain itu kuat arus yang rendah akan menghasilkan temperatur yang rendah pula dimana tidak akan melelehkan partikel *coating* yang memiliki titik leleh cukup tinggi secara sempurna (Toma *et al*, 2013). Porositas yang terdapat pada lapisan *coating* juga terbentuk ketika terlalu banyak partikel *unmelt* yang memiliki bentuk bulat besar dan kasar sehingga menciptakan ruang didalam lapisan *coating*. Bentuk lapisan *coating* yang baik akan berbentuk lamella karena sangat sedikit partikel *unmelt* dan porositas yang terbentuk didalamnya (Davis, 2004).

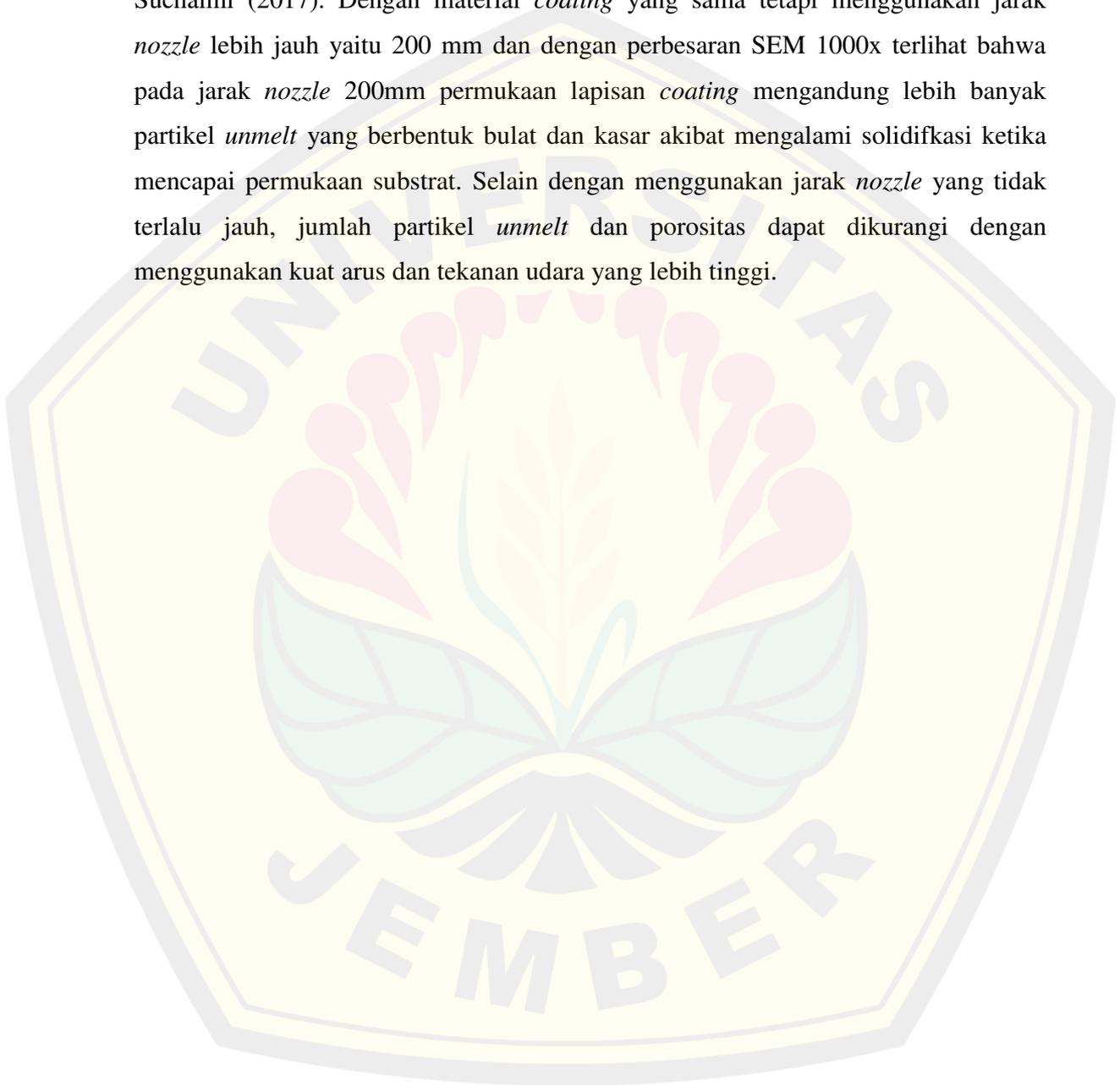


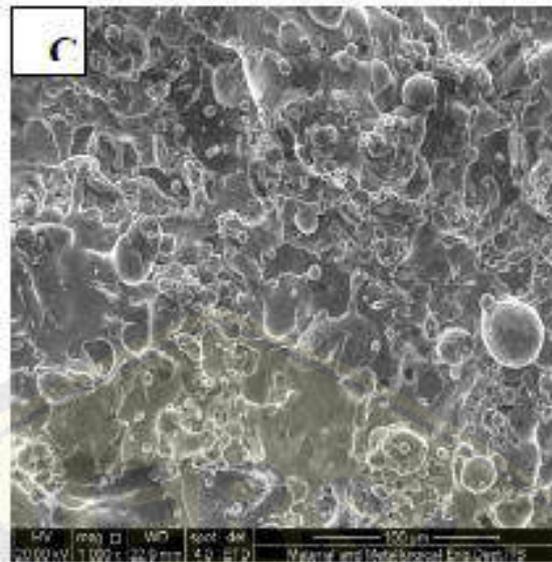
Gambar 4.20 Uji SEM Perbesaran 500x



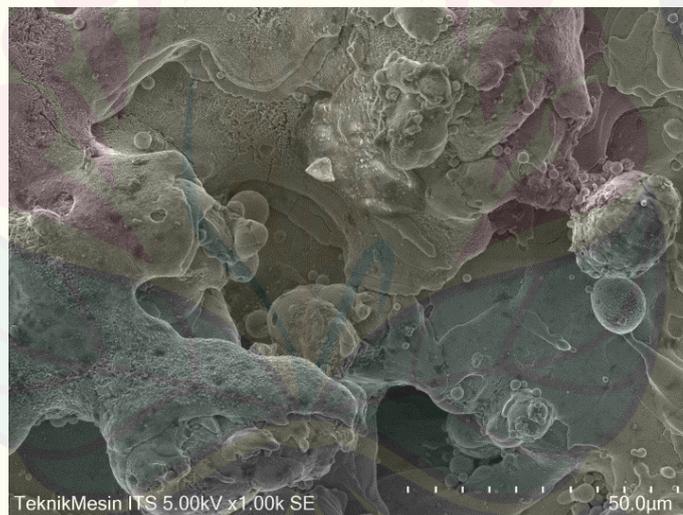
Gambar 4.21 Sebaran partikel *unmelt* dan *porosity* pada permukaan coating (Sumber : Pratama, 2017)

Peningkatan kuat arus dan jarak akan memperkecil ukuran splat dan melelehkan partikel *coating* secara sempurna, dengan berkurangnya ukuran rongga, maka porositas pada lapisan *coating* menurun dengan ditandai semakin halusya permukaan lapisan *coating*. Pengaruh jarak *nozzle* terhadap bentuk morfologi permukaan *coating* dapat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Suchaimi (2017). Dengan material *coating* yang sama tetapi menggunakan jarak *nozzle* lebih jauh yaitu 200 mm dan dengan perbesaran SEM 1000x terlihat bahwa pada jarak *nozzle* 200mm permukaan lapisan *coating* mengandung lebih banyak partikel *unmelt* yang berbentuk bulat dan kasar akibat mengalami solidifikasi ketika mencapai permukaan substrat. Selain dengan menggunakan jarak *nozzle* yang tidak terlalu jauh, jumlah partikel *unmelt* dan porositas dapat dikurangi dengan menggunakan kuat arus dan tekanan udara yang lebih tinggi.





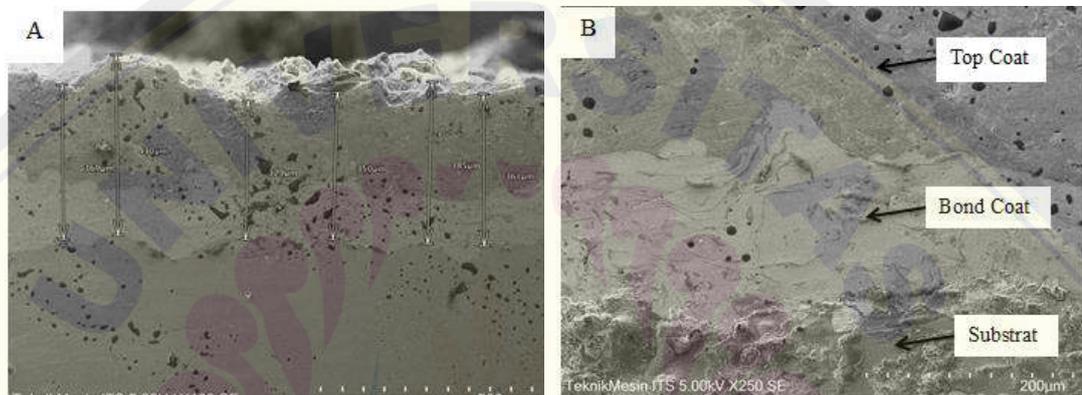
Gambar 4.22 Uji SEM Perbesaran 1000x dengan Jarak *Nozzle* 200mm (Sumber : Suchaimi, 2017)



Gambar 4.23 Uji SEM Perbesaran 1000x dengan Jarak *Nozzle* 100mm

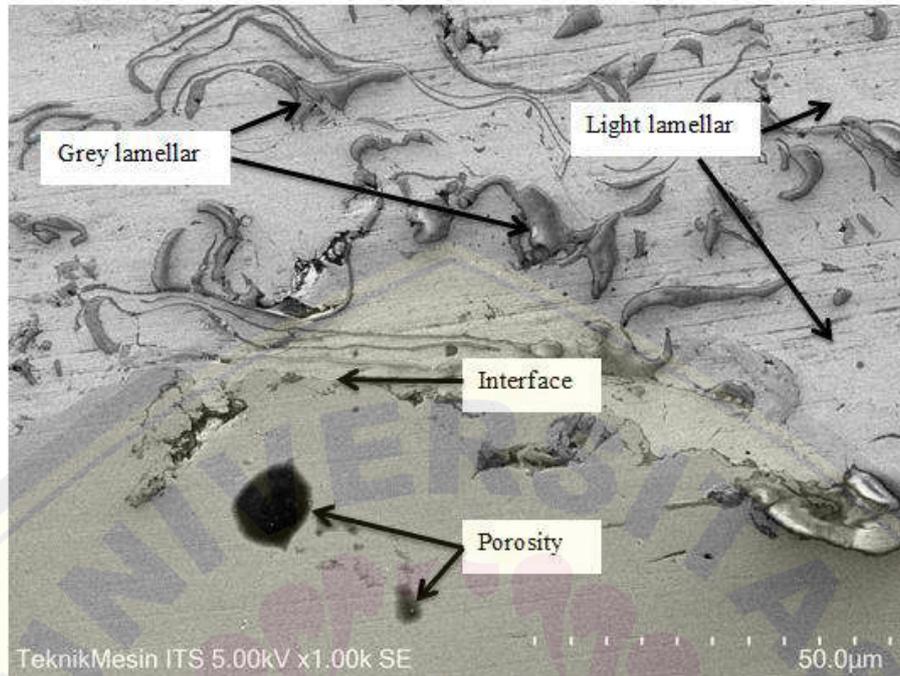
4.5.2 Analisa *Cross Section Coating*

Pengamatan penampang melintang / *cross section* pada sampel juga dilakukan menggunakan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dan ketebalan lapisan *coating* sebagai pembuktian lanjutan dari pengujian struktur mikro sebelumnya. Pengamatan *cross section* sampel dilakukan dengan perbesaran 100x hingga 1000x. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.24 Uji SEM *Cross Section* Perbesaran A) 100x B) 250x

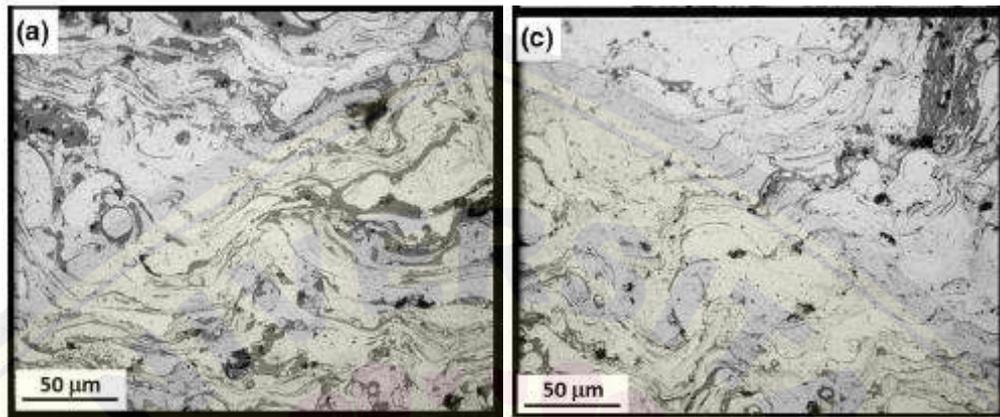
Hasil dari pengujian SEM menunjukkan partikel material *coating* telah terdeposisi secara sempurna dimana dapat terlihat bahwa kedua material pelapis yaitu *bond coat* dan *top coat* telah tersebar dan menempel pada permukaan substrat. Selain itu *interface* antara lapisan *top coat* dengan *bond coat* dan *bond coat* dengan substrat terlihat cukup jelas. Pengukuran ketebalan juga dapat dilakukan pada gambar *cross section*, dimana didapatkan hasil rata-rata ketebalan yaitu sebesar 370,66 μm . Hasil pengukuran ketebalan juga sejalan dengan yang dilakukan pada proses pengamatan struktur mikro. Selain mengamati *interface* dan juga ketebalan lapisan *coating*, hasil pengujian SEM *cross section* juga dapat digunakan untuk mengamati fase *light lamellar* dan *grey lamellar* yang terbentuk seperti pada gambar dibawah.



Gambar 4.25 Uji SEM Cross Section Perbesaran 1000x

Fasa *light lamellar* mengandung unsur Fe yang cukup tinggi dan umumnya area yang terbentuk lebih besar daripada fasa *grey lamellar*. Dalam fasa ini juga sering ditemukan sebaran unsur-unsur lain yang ikut melebur seperti unsur Cr, Mn dan Si. Sedangkan fasa *grey lamellar* terbentuk karena banyaknya oksida yang terbentuk selama proses pelapisan berlangsung (Suchaimi *et al*, 2017). Selain kedua fasa tersebut juga terdapat porositas yang terbentuk didalam lapisan *coating*, munculnya porositas dapat disebabkan beberapa hal seperti terlalu besarnya *dwell time* yang diakibatkan oleh jauhnya jarak *nozzle* sehingga waktu yang dibutuhkan *droplet* untuk menumbuk substrat menjadi lebih lama, sehingga *droplet* telah tersolidifikasi sebelum mencapai permukaan substrat dan membentuk rongga dalam lapisan (Davis, 2004). Munculnya fasa *light lamellar*, *grey lamellar* dan porositas

juga ditemukan pada spesimen lapisan stainless steel pada penelitian yang dilakukan oleh DePalma, *et al* (2021). Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa pada spesimen dengan jarak *nozzle* terjauh memiliki fase *grey lamellar* dan porositas yang lebih banyak.



Gambar 4.26 Hasil SEM *Cross Section* Jarak 150mm dan 75mm (Sumber : DePalma *et al*, 2021)

4.6 ANOVA

Dalam desain Taguchi, ukuran ketahanan digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor kontrol yang mengurangi variabilitas dalam produk atau proses dengan meminimalkan efek dari faktor tak terkendali (*noise factor*). Faktor kontrol adalah desain dan proses parameter yang dapat dikendalikan (*signal*). *Signal to noise ratio* merupakan rasio yang mengukur dampak faktor kontrol terhadap faktor gangguan. Dimana faktor kontrol dihitung berdasarkan dengan nilai rata-rata dan faktor gangguan dihitung berdasarkan standar deviasi variabel respons.

4.6.1 Perhitungan *Signal to Noise (S/N) Ratio*

Karakteristik yang dipakai pada pendekatan Taguchi ini adalah *larger is better* dimana merupakan *signal to noise ratio* yang berguna untuk identifikasi faktor-faktor *scaling*, yakni faktor-faktor yang memiliki perbedaan rata-rata dan standar deviasi yang proporsional. Pada penelitian ini menggunakan karakteristik *nominal is best*, hal ini dikarenakan nilai kekerasan yang memenuhi standar produk ASTM A36 sebesar 70 HRB. Sehingga, hal itu dijadikan sebagai target perhitungan *signal to noise (S/N) ratio*. Adapun rumus yang digunakan pada karakteristik *larger is better* adalah $S/N = -10 \log \left(\frac{\sum \left(\frac{1}{y_i^2} \right)}{n} \right)$ Dengan menggunakan *software* Minitab 19 maka diperoleh hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel dibawah.

Tabel 4.3 Data hasil uji kekerasan permukaan

No.	Parameter kendali		Replikasi Kekerasan Permukaan (HRB)					Rata-rata	S/N Ratio
	Jarak <i>Nozzle</i> (mm)	Kuat Arus (A)	1	2	3	4	5		
1	100	100	81	76	77,5	80	74,5	77,8	37,81
2	100	150	82,5	82	74	83,5	77,5	79,8	38,04
3	100	200	84	82,5	85	83	84,5	83,8	38,46
4	200	100	78	77	76,5	73	77,5	76,4	37,66
5	200	150	81,5	76	74,5	76	78	77,6	37,79
6	200	200	81	82	84	78	77	80,4	38,10

4.6.2 Kombinasi Variasi Optimal

Pada percobaan ini menggunakan optimasi metode Taguchi matrik orthogonal untuk mengetahui pengaruh setiap level parameter yang berbeda. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai rata-rata S/N rasio nilai kekerasan permukaan pada parameter jarak *nozzle* level 1 sebagai berikut :

$$\bar{x} = \frac{37,819 + 38,040 + 38,464}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{114,323}{3}$$

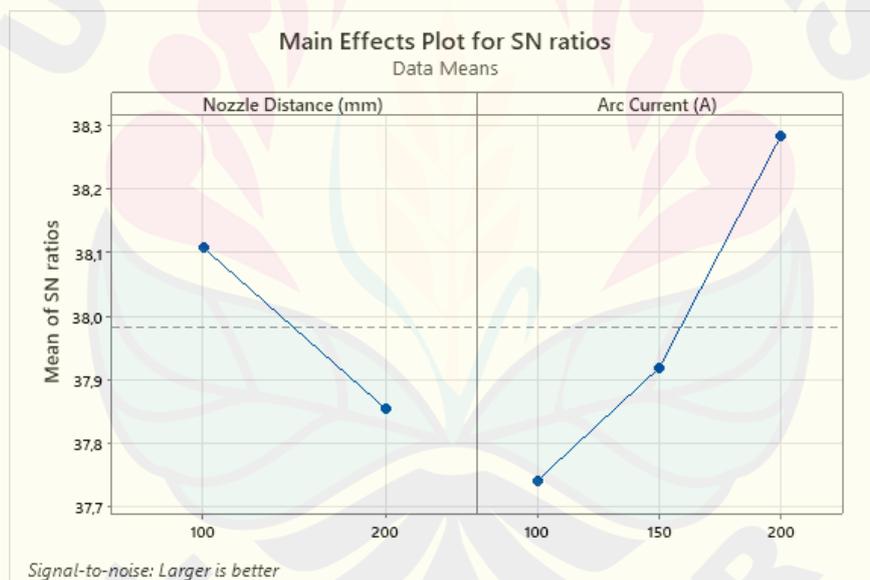
$$\bar{x} = 38,107$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan nilai rata-rata S/N rasio terhadap kekerasan permukaan di berbagai level dari faktor kendali yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Respon rata-rata nilai S/N rasio untuk tiap faktor kendali

Faktor Kendali	Rata-rata S/N Ratio			Selisih
	Level1	Level2	Level 3	
Distance	38,10	37,85	-	0,25
Current	37,74	37,91	38,28	0,54
Rata-rata Total	37,98			

Plot rata-rata S/N rasio pada setiap level dari parameter proses *coating* yaitu jarak *nozzle* (mm), dan kuat arus (A) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Plot rata-rata S/N rasio

Pada Gambar 4.27 dapat disimpulkan bahwa level parameter yang paling optimal ditunjukkan dengan nilai rata-rata S/N rasio yang lebih tinggi. Berikut kombinasi level disetiap parameter optimum dari proses pembubutan dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Kombinasi parameter respon optimal

Parameter	Level	Nilai
Jarak Nozzle	1	100 mm
Kuat Arus	3	200 A

4.6.3 Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA adalah teknik analisis yang digunakan untuk memperkirakan nilai secara kuantitatif pengaruh dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Model analisis menggunakan analisis variansi dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat (*sum of square*), rata-rata jumlah kuadrat dan *F-ratio* (Soejanto, 2009). ANOVA pada penelitian ini dihitung berdasarkan data S/N rasio yang mewakili nilai kekerasan permukaan pada setiap kombinasi. Berikut ini merupakan perhitungan ANOVA dengan data S/N rasio sebagai berikut :

- a. Jumlah kuadrat total (*sum of square*)

$$SS_T = \sum_{t=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$SS_T = (37,81 - 37,98)^2 + (38,04 - 37,98)^2 + (38,46 - 37,98)^2 \\ + (37,79 - 37,98)^2 + (37,66 - 37,98)^2 + (38,10 - 37,98)^2$$

$$SS_T = 0,41$$

- b. Jumlah kuadrat tiap faktor (Faktor A: Jarak *Nozzle*)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \left[\frac{114,31^2}{3} + \frac{113,55^2}{3} + \right] - \frac{227,86^2}{6}$$

$$SS_A = 8653,45 - 8653,36$$

$$SS_A = 0,09$$

- c. Rata-rata kuadrat tengah tiap faktor (Faktor A: Jarak *Nozzle*)

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{0,09}{2}$$

$$MS_A = 0,045$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan ANOVA faktor kendali terhadap respon kekerasan permukaan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil ANOVA dengan S/N rasio

Sumber	DF	SS	MS	F
Jarak <i>Nozzle</i>	2	0,09	0,045	4,5
Kuat Arus	2	0,3	0,15	15
Error	4	0,02	0,01	-
Total	8	0,41	-	-

Apabila Nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel maka hipotesa alternatif (H1) diterima. Namun jika F-hitung lebih kecil dari F-tabel maka hipotesa awal (H0) diterima. Data F-tabel diambil dengan tingkat kepercayaan 95% dengan level signifikan (α) 5%. Hipotesa awal (H0) dan hipotesa alternatif (H1) yang digunakan sebagai uji hipotesa menggunakan distribusi F sebagai berikut:

F-tabel = $F_{(0,05;2;24)}$, sehingga F-tabel adalah 3,40.

- a. Hipotesa untuk faktor A (Jarak *Nozzle*)

H0 : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor A terhadap kekerasan permukaan H1

: Ada pengaruh perlakuan faktor A terhadap kekerasan permukaan

F-hitung > F-tabel ; $4,5 > 3,40$

Kesimpulan : Jarak *Nozzle* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan permukaan.

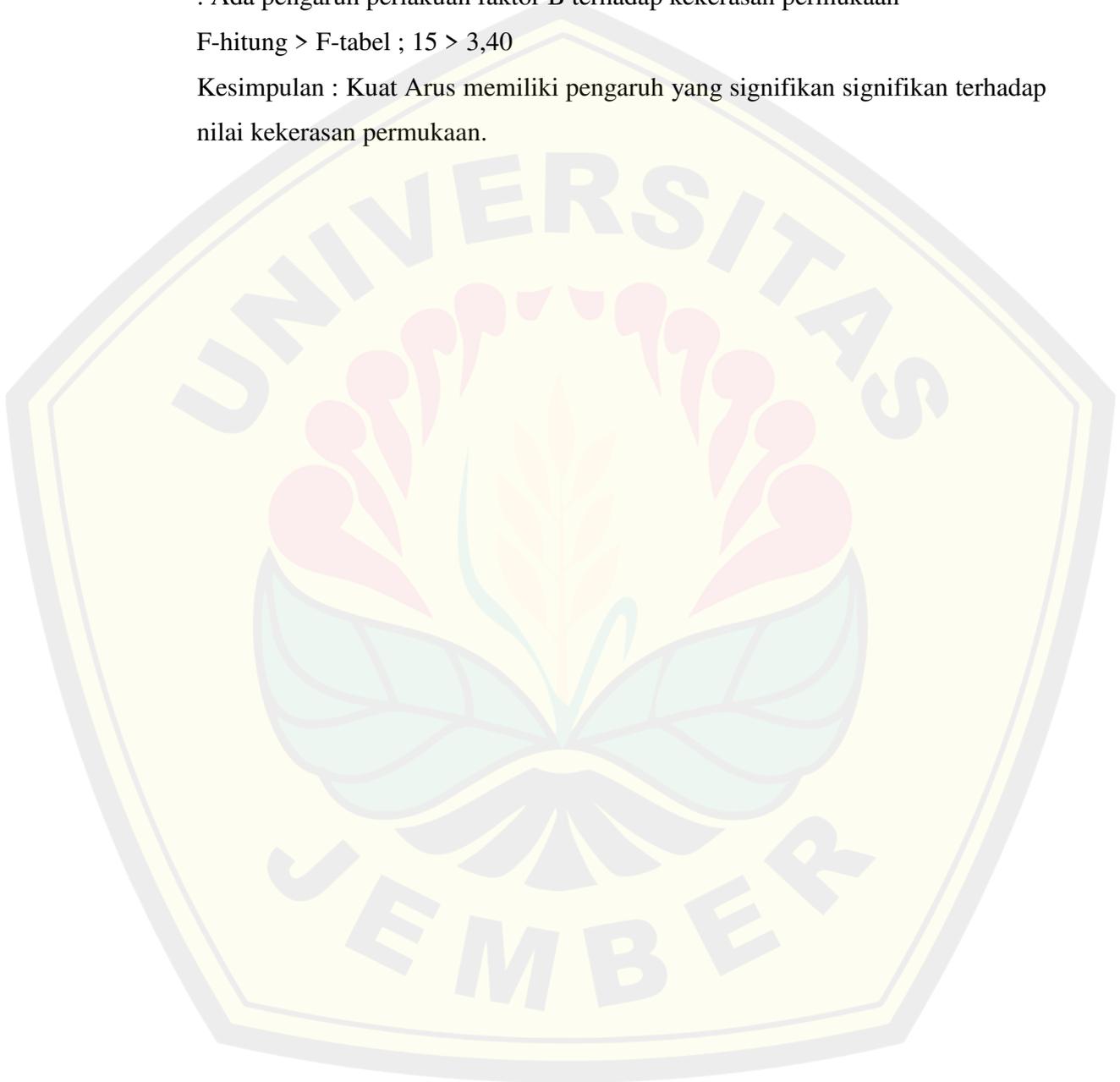
b. Hipotesa untuk faktor B (Kuat Arus)

H₀ : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan permukaan H₁

: Ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan permukaan

F-hitung > F-tabel ; $15 > 3,40$

Kesimpulan : Kuat Arus memiliki pengaruh yang signifikan signifikan terhadap nilai kekerasan permukaan.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

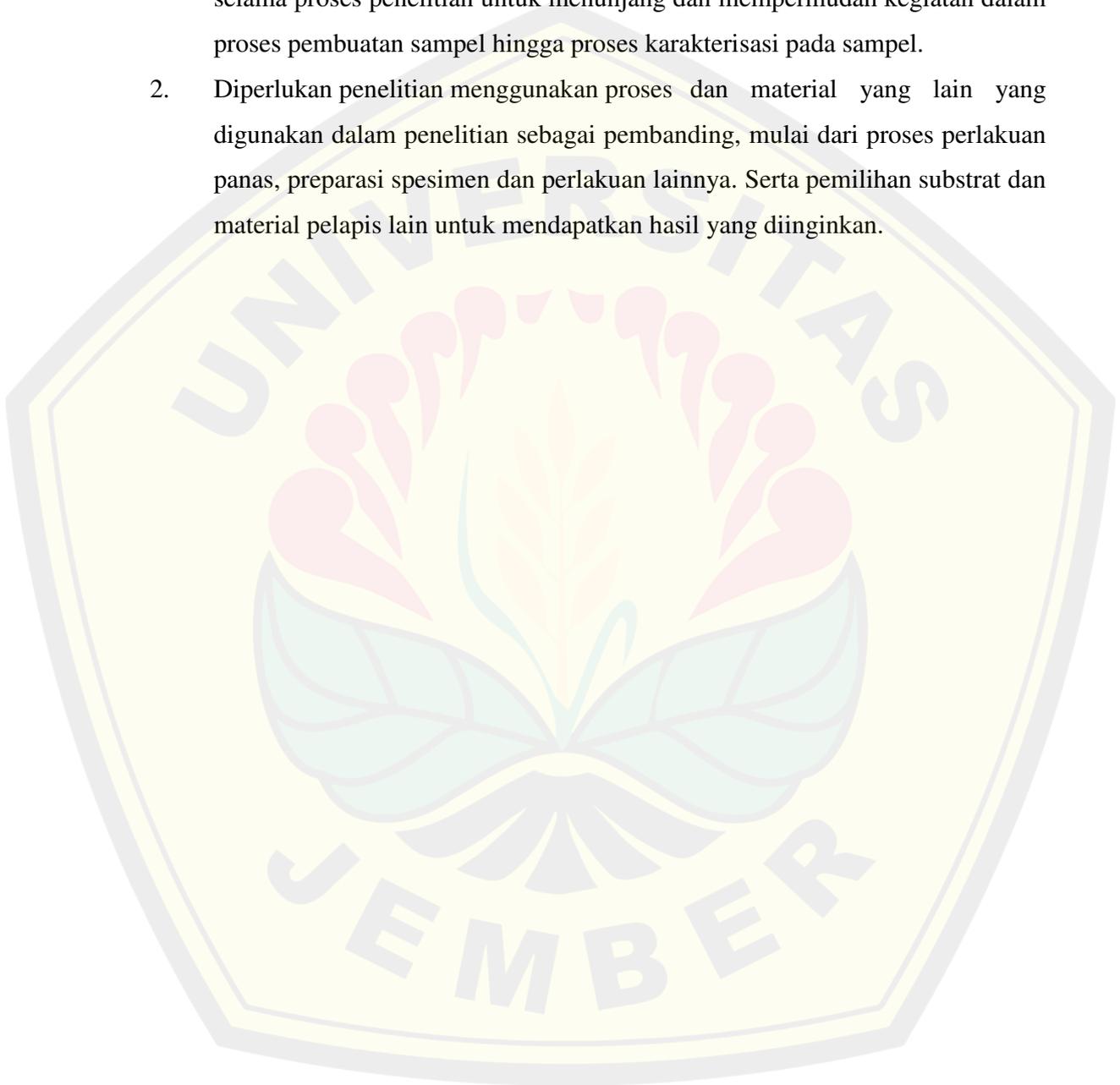
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan kuat (200A) arus dan penurunan jarak *nozzle* (100mm) dapat menurunkan porositas yang terbentuk dalam lapisan *coating* SS 420 pada plat A36. Nilai porositas terendah didapat dengan nilai sebesar 1,6%.
2. Peningkatan kuat arus (200A) dan jarak *nozzle* terdekat (100mm) menghasilkan lapisan *coating* dengan nilai kekerasan paling tinggi yaitu 83,8 HRB. Karena lapisan yang dihasilkan mengandung sedikit porositas sehingga jarak antar partikel rapat.
3. Peningkatan kuat arus (200A) dan jarak *nozzle* terdekat (100mm) menunjukkan peningkatan nilai *pull off test* lebih baik dibandingkan spesimen dengan kuat arus sebesar 100A dan jarak *nozzle* 200mm. Nilai *pull off test* tertinggi yang didapat sebesar 3 MPa.
4. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan *interface* yang terbentuk pada lapisan *top coat*, *bond coat* dan substrat. Lapisan *coating* pada jarak *nozzle* 100mm terlihat sedikit lebih tebal daripada variasi jarak *nozzle* 200mm. Selain itu ketebalan lapisan *coating* juga terlihat lebih tebal pada variasi kuat arus yang paling besar yaitu 200A pada setiap variasi jarak *nozzle* yang digunakan
5. Pengamatan SEM yang dilakukan pada permukaan *coating* menunjukkan adanya partikel yang meleleh dengan sempurna (*melt*), meleleh sebagian (*unmelt*) dan porositas akibat ruang yang terbentuk disekitar partikel *unmelt*. Pada bagian *cross section* juga ditemukan fasa *light lamellar*, *grey lamellar* dan porositas pada lapisan *coating* SS420 pada substrat plat A36.

5.2 Saran

Adapun saran jika dilakukan pengembangan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, antara lain yaitu :

1. Diperlukan perbaikan dan pembaruan terhadap alat-alat yang digunakan selama proses penelitian untuk menunjang dan mempermudah kegiatan dalam proses pembuatan sampel hingga proses karakterisasi pada sampel.
2. Diperlukan penelitian menggunakan proses dan material yang lain yang digunakan dalam penelitian sebagai pembanding, mulai dari proses perlakuan panas, preparasi spesimen dan perlakuan lainnya. Serta pemilihan substrat dan material pelapis lain untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Yudha Kurniawan, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji. 2015. Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN 2337-3539.
- Arthana, I Wayan Gede, I Made Widiyarta, dan Ngakan Putu Gede Suardana. 2014. Ketahanan Aus Lapisan Ni-Cr Pada Dinding Silinder Liner Dengan Menggunakan Powder Flame Spray Coating. JURNAL LOGIC. VOL. 14. NO. 2.
- Bimantara, B.A. 2019. Pengaruh Tekanan Udara Dan Spray Angle Pelapisan Al_2O_3 Pada Baja A36 Menggunakan Metode Flame Spray Coating. Jember. Program Studi Strata 1 Jurusan Teknik Mesin-Universitas Jember.
- Callister Jr., W.D., 2000, "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Fifth Edition.
- Chaitanya. 2007. Processing and Characterization of Nickel- Aluminide Coating On Metal Substrates. Master of Technology In Mechanical Engineering Thesis. National Institute of Technology, Roukela.
- Clarke and C.G Levi, 2003, "Materials Design for The Next Generation Thermal Barrier Coating", Annual Review of Materials Research, Vol. 33, pp. 383–417.
- Davis, J.R. 2004. Handbook of Thermal Spray Processing. ASM International and the Thermal Spray Society
- DePalma, K., M. Walluk, L. P. Martin, K. Sisak. 2021. Investigation of Mechanical Properties of Twin Wire Arc Repair of Cast Iron Components.

- Dewi, A. K. 2009. Mikrostruktur permukaan baja jis s45c hasil difusi paska pelapisan hvof- thermal spray coating. *Thesis Universitas Indonesia*
- Dorfman, M. R. 2005. Thermal spray coatings. *Handbook of Environmental Degradation of Materials*. 405–422.
- Dorfman, M. R. 2018. *Thermal Spray Coatings. Handbook of Environmental Degradation of Materials*, 469–488.
- Espallargas, Nuria. 2015. *Future Development of Thermal Spray Coatings Types, Designs, Manufacture and Applications*. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering: Number 65.
- Fauchais, P. 2015. *Current Status and Future Directions of Thermal Spray Coatings and Techniques*. Elsevier Ltd. *Future Development of Thermal Spray Coatings: Types, Designs, Manufacture and Applications*.
- Fitriyana, Deni Fajar, Gunawan Dwi Haryadi, Sulardjaka, Norman Iskandar, Abdi Gilang Amrizal. 2018. Pengaruh Jarak Penembakan pada Pelapisan 95MXC Terhadap Sifat Kekerasan dan Keausan Material SS 304 dengan metode *Twin Wire Arc Spray (TWAS)*. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Gan, Jo Ann and Christopher C. Berndt. 2013. *Review on the Oxidation of Metallic Thermal Sprayed Coatings: A Case Study with Reference to Rare-Earth Permanent Magnetic Coatings*. JTTEE5 22:1069–1091. ASM International.
- Haraga, R. A., C Bejinariu, A Cazac, B F Toma, C Baci, and S L Toma, (2019). *Influence of surface roughness and current intensity on the adhesion of high alloyed steel deposits -obtained by thermal spraying in electric arc*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 572, 012056.

- Haraga, R. A., Chicet, D. L., Cimpoiu, N., Toma, S. L., & Bejinariu, C. (2020). *Influence of the stand-off distance and of the layers thickness on the adhesion and porosity of the 97mxc deposits obtained by arc spraying process. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 877(1), 012020.
- Inkson, B. J. 2016. *Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, 17–43. doi:10.1016/b978-0-08-100040-3.00002-x
- Irawan, Hengki. 2016. Analisis Pengaruh Post-Annealing pada Proses Pelapisan Ni-Al dan FeCrBMnSi dengan Metode TWAS Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik. Surabaya. Program Studi Magister Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Knotek, O. 2001. *Handbook of thermal spray for manufacturing*. New delhi: Mc. Graw Hill, Inc
- Kurniawati, Fajar. 2017. Pengaruh Variasi Jarak *Spray* Pelapisan FeCrMnNiCSi Metode *Wire Arc Spray* Terhadap *Abrasive Wear Resistance* Dan Porositas *Grey Cast Iron Fc 25*. Departemen Teknik Material Dan Metalurgi. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lu, Z., Myoung, S.-W., Jung, Y.-G., Balakrishnan, G., Lee, J., & Paik, U. (2013). *Thermal Fatigue Behavior of Air-Plasma Sprayed Thermal Barrier Coating with Bond Coat Species in Cyclic Thermal Exposure. Materials*, 6(8), 3387–3403.
- Nofri, Media. dan Aceng Taryana. 2017. Analisis Sifat Mekanik Baja Skd 61 Dengan Baja St 41 Dilakukan Hardening Dengan Variasi Temperatur. Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan.

- Ornelasari,R. dan Marsudi.2015. Analisa Laju Korosi Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Metode Astm G31-72 Pada Media Air Nira Aren. JTM. Volume 01 Nomor 01 Tahun 2015, 112-117.
- Pawloski, Lech. 2008. The Science and Engineering of Thermal Spray Coating. England: John wiley & sons, Ltd
- Pratama, D.S. 2017. Pengaruh Tekanan Gas Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Lapisan Coating Pencampuran Fecrbmnsi Dan Ni-Al Pada Baja Aisi 4140 Dengan Metode Twin Wire Arc Spray.Surabaya.Program Studi Strata 1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Rocha, A. da C., Nascimento, Á. V. do, Margarit-Mattos, I. C. P., Assis, K. dos S., & Mattos, O. R. 2014. *Abrasive blasting contamination in Super Duplex and carbon steels - a quantification approach by rietveld analysis. Materials Research, 17(5), 1356–1366.* doi:10.1590/1516-1439.313514
- Sagar, Amin. 2016. *A preview on thermal spray coatings processes.* IJTCER., Vadodara, India
- Saidah, A. dan Basri, A. 2020. Pengaruh Termal Dan Jarak Arc Spray Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon (AISI 1045). Jurnal Kajian Teknik Mesin Vol.5 No.2 (2020) 116-123. Universitas 17 Agustus 1945. Jakarta.
- Saini A K . Debasish Das. Pathak M, K. 2012. Thermal barrier coating- applications, stability and longevity aspects. *Procedia Engineering.* 38:3178–3179.
- Setyarini, Putu Hadi dan Erwin Sulistyoyo. 2011. Optimasi Proses Sand Blasting Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja Aisi 430. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 2. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

- Smith, M. F. (2007). *Comparing cold spray with thermal spray coating technologies. The Cold Spray Materials Deposition..* Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering.
- Suchaimi, Muhammad, Rochman Rochiem, dan Hariyati Purwaningsih. 2017. Pengaruh Jarak Nozzle dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan FeCrBMnSi dengan Metode Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 1, (2017) ISSN: 2337-3539.
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito, 2000, Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Suwignyo, Joko., Fuad Abdillah, N. Achmad, Solechan. (2018). Studi pengaruh jumlah lapisan dan jarak tembak *spray thermal coating* terhadap sifat mekanik dan penghematan bahan bakar pada piston komposit dengan material pelapis serbuk zirconia. Universitas Muhammadiyah Semarang. *Prosising Seminar Nasional Teknik Industri* ISBN : 978-602-51014-4-1.
- Toma, S. L., Bejinariu, C., Gheorghiu, D. A., & Baciu, C. (2013). *The Improvement of the Physical and Mechanical Properties of Steel Deposits Obtained by Thermal Spraying in Electric Arc. Advanced Materials Research, 814, 173–179.*
- Utomo, Budi. 2009. Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. KAPAL, Vol. 6, No.2, Program Diploma III Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- Yanto, D. A. 2010. Pengaruh Jarak Penyemprotan Pada Proses Pelapisan *Electric Arc Wire Spray* Terhadap Volume Keausan *Roll Ring*. Malang. Program Studi Strata 1 Jurusan Teknik Mesin-Universitas Brawijaya.

Yin, S., X. F. Wang, W. Y. Li, dan H. E. Jie. 2011. Effect of substrate hardness on the deformation behavior of subsequently incident particles in cold spraying. *Applied Surface Science*. 257(17):7560–7565.

Zeng, Z. N. Sakoda. and T. Tajiri. 2005. Corrosion Behavior of Wire-Arc-Sprayed Stainless Steel Coating on Mild Steel. *JTTEE5* 15:431-437.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian *Pull Of Test*FORM UJI
PENGUJIAN PULL OFF TEST

PROYEK	: SAMPLE PULL OFF		
LOKASI	: LAB PT. BINANUSA PRACETAK & REKAYASA		
KOTA	: BANDUNG		
TEMPERATURE	: 25°C		
ALAT UJI	: Elcometer 106 S/N: SQ402888		
JENIS PEREKAT	:		
LEMBAR	: 1	dari 1	TANGGAL UJI : 26 April 2022

NO	AXIS	KOMPONEN	TEST RESULT	KETERANGAN
			N/mm ² (MPa)	
1	No 1 (titik 1)	Sample	3,00	Glue Failure
2	No 2 (titik 2)	Sample	2,80	Glue Failure
3	No 3 (titik 3.A)	Sample	3,00	Glue Failure
4	No 3 (titik 3. B)	Sample	3,00	Glue Failure
5	No 4 (titik 4)	Sample	2,50	Glue Failure
6				
7				
8				
9				

Note

- Pada Mode Kegagalan menunjukkan bahwa kuat lekat lapisan *sample* tersebut mempunyai nilai kualitas yang lebih besar dari hasil uji.

DIUJI OLEH:		DIPERIKSA OLEH:
NAMA : Yudi Finandra, ST	NAMA : Kurnyawan Adi Negoro, ST	NAMA : Panduyudha Kesuma, ST

PT BINANUSA PRACETAK & REKAYASA
Head Office: Jl. Gegerkalong Hilir No. 175 BANDUNG - JAWA BARAT - INDONESIA (40131)
Workshop: Jl. Cijerokso No. 92 BANDUNG - JAWA BARAT - INDONESIA (40151)

Lampiran 2. Data Hasil Pengujian Densitas-Porositas

Spesimen	Massa di Udara (gram)	Massa di Air (gram)	Densitas Teoritas (gram/mm ³)	Densitas Aktual (gram/mm ³)	Porositas (%)	Rata-rata Porositas (%)
Jarak 100mm & Kuat Arus 100A	351,49	45,6	7,85	7,7	1,83	2,72
	353,46	46,87	7,84	7,54	3,93	
	367,2	47,92	7,85	7,66	2,39	
Jarak 100mm & Kuat Arus 150A	348,64	45,42	7,85	7,67	2,22	2,04
	354,15	45,97	7,84	7,7	1,85	
	347,22	45,15	7,85	7,69	2,05	
Jarak 100mm & Kuat Arus 200A	345,24	44,68	7,84	7,72	1,53	1,68
	363,78	47,42	7,85	7,67	2,28	
	360,88	46,55	7,85	7,75	1,24	
Jarak 200mm & Kuat Arus 100A	344,69	44,76	7,85	7,7	1,92	3,14
	361,54	47,72	7,85	7,57	3,49	
	355,67	47,19	7,85	7,53	4,04	
Jarak 200mm & Kuat Arus 150A	369,12	49,87	7,85	7,4	5,73	3,03
	360,87	46,52	7,85	7,75	1,22	
	348,5	45,33	7,84	7,68	2,05	
Jarak 200mm & Kuat Arus 200A	368,82	47,56	7,84	7,75	1,19	1,98
	363,91	47,83	7,85	7,6	3,11	
	350,73	45,51	7,83	7,7	1,63	

Lampiran 3. Spesifikasi Alat



Metal Spray Coating Corp.

MSC Corp.

**TWIN WIRE ARC SPRAY SYSTEM,
MODEL: ARCJET®-99/400**



EQUIPMENT DESCRIPTION :

The Arc Spray Unit; Model : 99/400 combines typical features of the arc spray technology such as reliability and robustness with the highest demands for process control and system compatibility of modern arc spray technology.

The Arc Spray Unit; Model : 99/400 is designed to process all conductive wires relevant to thermal spray, solid wires and cored wires.

New technology for the power supply is combination with the highly accurate wire feed and the controlled air cap geometry allows controlled and uniform energy transfer on to the wire material. This allows the energy transfer to be adapted to the needs of the applications.

Arc Spray Unit; Model : 99/400 is a New Generation High Velocity Arc Spray (HVAS) Technique which has great opportunities where near porosity free high quality coating at the most economical cost in the engineering design are required.

In comparison with other arc spray equipment, the Arc Spray Unit; Model : 99/400 concept enables the user to process wires at decreased voltage level.

P.O. Box 816580, Hollywood FL 33081-6580 • +1 (978) 767-3608
www.metal-spray-coating.com

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian



Stand Off dan Rail Spray Gun



Ruang Sand Blasting



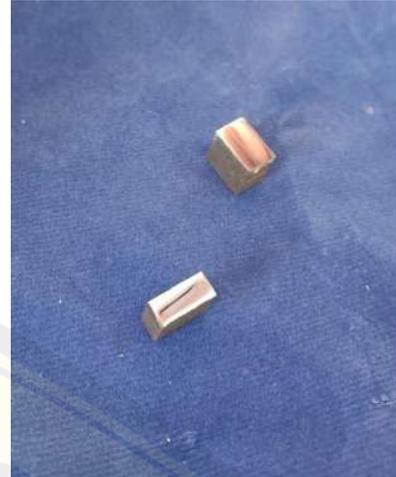
*Pengujian Pull Off
Test*



*Pengujian Kekerasan
Rockwell*



Proses Mounting Spesimen Uji Mikro



Preparasi Spesimen Uji SEM



Proses *Spray Coating*



Proses Pengujian Densitas-Porositas