

**PENGARUH JARAK PENYEMPROTAN PADA PROSES PELAPISAN
ELECTRIC ARC WIRE SPRAY TERHADAP VOLUME KEAUSAN
*ROLL RING***

(Studi kasus di PT. ISPAT INDO Sidoarjo)

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DWI APRIL YANTO

NIM. 0610620044-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH JARAK PENYEMPROTAN PADA PROSES PELAPISAN
ELECTRIC ARC WIRE SPRAY TERHADAP VOLUME KEAUSAN *ROLL*
*RING***

(Studi kasus di PT. ISPAT INDO Sidoarjo)

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

DWI APRIL YANTO
NIM. 0610620044-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agustinus Ariseno, MT.
NIP. 19510822 198701 1 001

Ir. Erwin Sulisty, MT.
NIP.19661213 199802 1 001



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JARAK PENYEMPROTAN PADA PROSES PELAPISAN
ELECTRIC ARC WIRE SPRAY TERHADAP VOLUME KEAUSAN
ROLL RING**
(Studi kasus di PT. ISPAT INDO Sidoarjo)

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh

**DWI APRIL YANTO
NIM. 0610620044**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 27 juli 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M.Eng.
NIP.19710310 199802 1 001

Prof. Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc
NIP. 19490911 198403 1 001

Komprehensif

Ir. Handono Sasmito, M.Eng.Sc
NIP. 19480216 198003 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001



KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi. Adapun penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan studi dalam menempuh jenjang S-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

Dalam kesempatan ini penulis juga, menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini, antara lain kepada:

1. Prof. Ir. Harnen Sulisty, M.Sc.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Dr. Slamet Wahyudi ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin di Universitas Brawijaya.
3. Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Ir. Agustinus Ariseno, MT, selaku dosen pembimbing skripsi I.
5. Ir. Erwin Sulisty, MT, selaku dosen pembimbing skripsi II.
6. Dan seluruh teman-teman mesin angkatan 2006 yang telah menemani saya selama kurang lebih 4 tahun.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan waktu, pengalaman dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan agar skripsi ini dapat menjadi lebih sempurna.

Akhir kata penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada setiap orang yang memerlukannya.

Malang, 30 April 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian dan Prinsip Dasar <i>Thermal Spray</i>	4
2.2 Proses Pembentukan Lapisan	6
2.2.1 Deformasi Partikel	6
2.2.2 Mekaisme Pelekatan	10
2.3 Penggolongan <i>Thermal Spray</i>	11
2.4 Proses Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i>	15
2.5 Komponen <i>Electric Arc Wire Spray</i>	18
2.6 Parameter Proses <i>Electric Arc Wire Spray</i>	20
2.7 <i>Roll Ring</i>	25
2.8 Keausan Material.....	26
2.8.1 Mekanisme Keausan	27
2.8.2 Metode Pengujian Keausan	29
2.9 Hipotesa	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Penelitian	31
3.2 Variabel Penelitian.....	31

3.3 Tempat Penelitian	31
3.4 Alat dan Bahan Yang digunakan	32
3.4.1 Alat yang digunakan	32
3.4.2 Bahan yang digunakan	33
3.5 Prosedur penelitian	34
3.6 Metode Penelitian	34
3.6.1 Metode Penelitian Keausan	34
3.7 Rancangan Penelitian.....	35
3.7.1 Analisa Varian Satu Arah.....	35
3.8 Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Data Hasil Pengujian	39
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	39
4.1.2 Data Hasil Pengujian Volume Keausan	40
4.2 Analisa Varian Satu Arah	42
4.2.1 Analisa Varian Satu Arah Kekerasan.....	42
4.2.2 Analisa Varian Satu Arah Volume Keausan	45
4.3 Pembahasan Grafik.....	48
4.3.1 Pengaruh Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Kekerasan Roll Ring Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i>	48
4.3.2 Pengaruh Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Volume Keausan Roll Ring Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i>	49
BAB V PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Potongan Melintang lapisan <i>Thermal Spray</i>	4
Gambar 2.2	Permukaan Ikatan Logam	5
Gambar 2.3	<i>Subcritical Flow Regim</i> Pada Saat Partikel Cair Menumbuk Substrat	7
Gambar 2.4	Berbagai Kejadian yang Mungkin Terjadi Saat Partikel Menumbuk Substrat.....	8
Gambar 2.5	Bentuk Dasar <i>Lamellae</i>	10
Gambar 2.6	Ilustrasi Ikatan Mekanik Antara Splat Dengan Permukaan Substrat yang Tidak Rata	10
Gambar 2.7	Desain Gun dan Proses Pelapisan <i>Flame Spray</i>	12
Gambar 2.8	Desain Gun dan Proses Pelapisan <i>Plasma Spray</i>	13
Gambar 2.9	Desain Gun dan Proses Pelapisan <i>Arc Spray</i>	14
Gambar 2.10	Desain Gun dan Proses Pelapisan <i>HVOF</i>	15
Gambar 2.11	Proses <i>Grooving</i>	16
Gambar 2.12	Instalasi <i>Grit Blasting</i>	17
Gambar 2.13	Komponen <i>Electric Arc Wire Spray</i>	18
Gambar 2.14	Jarak Penyemprotan.....	20
Gambar 2.15	Gambaran Ideal Keausan Abrasif.....	22
Gambar 2.16	<i>Shadow Effect</i> Akibat Sudut Penyemprotan Kurang Dari 45°	23
Gambar 2.17	<i>Roll ring</i>	25
Gambar 2.19	Susunan Alat Uji Keausan Pin On Disk	29
Gambar 3.1	Bentuk dan Dimensi Benda Kerja	33
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Kekerasan <i>Roll ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i>	48
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Volume Keausan <i>Roll ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i>	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penjelasan Dari Berbagai Kemungkinan yang Terjadi Pada Saat Partikel Menumbuk Substrat	9
Tabel 3.1	Sistematika Penulisan Data Penelitian Volume Keausan.....	36
Tabel 3.2	Analisa Varian Satu Arah.....	37
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 50 mm	39
Tabel 4.2	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 100 mm	39
Tabel 4.3	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 150 mm	39
Tabel 4.4	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 200 mm	40
Tabel 4.5	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 250 mm	40
Tabel 4.6	Data Pengujian Kekerasan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan.....	40
Tabel 4.7	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 50 mm.....	41
Tabel 4.8	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 100 mm.....	41
Tabel 4.9	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 150 mm.....	41
Tabel 4.10	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 200 mm.....	41
Tabel 4.11	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan 250 mm.....	42
Tabel 4.12	Data Pengujian Volume Keausan <i>Roll Ring</i> Hasil Pelapisan <i>Electric Arc Wire Spray</i> Dengan Variasi Jarak Penyemprotan	42
Tabel 4.13	Penulisan Data Hasil Pengujian Kekerasan Dengan Variasi Jarak Penyemprotan	42
Tabel 4.14	Analisa Varian Kekerasan	44
Tabel 4.15	Penulisan Data Hasil Pengujian Volume Keausan Dengan Variasi Jarak Penyemprotan	45
Tabel 4.14	Analisa Varian Volume Keausan.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Pengujian Keausan	56
Lampiran 2	Tabel F Hitung.....	57
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Kekerasan	58



RINGKASAN

Dwi April Yanto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2010, Pengaruh Jarak Penyemprotan Pada Proses Pelapisan *Electric Arc Wire Spray* Terhadap Volume Keausan *Roll Ring* (Studi Kasus di PT. ISPAT INDO Sidoarjo), Pembimbing: Agustinus Ariseno dan Erwin Sulistyono.

Roll ring adalah komponen mesin yang digunakan untuk membentuk batangan *billet* (bahan baku kawat yang berbentuk balok) menjadi sebuah kawat melalui proses pembentukan dengan cara pengerolan yang dilakukan secara bertahap. Karena sering bergesekan dengan *billet* maka *roll ring* akan sering mengalami keausan pada permukaannya, salah satu meningkatkan ketahanan aus *roll ring* adalah dengan metode pelapisan *electric arc wire spray*.

Dalam penelitian ini material kawat pelapis yang digunakan adalah AWS ER 70S-6 dengan jarak penyemprotan 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm selama 10 detik. Pengujian volume keausan dilakukan dengan menggunakan metode *pin on disk*. Peningkatan volume keausan terjadi dikarenakan semakin jauh jarak penyemprotan maka kecepatan impak partikel saat menumbuk substrat akan semakin menurun dan dengan dan dengan luasan penyemprotan yang lebih besar akan menghasilkan lapisan dengan kepadatan yang rendah sehingga lapisan yang terbentuk mempunyai kekerasan yang rendah oleh sebab itu volume keausan yang terbentuk besar untuk spesimen dengan jarak penyemprotan 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm. Akan tetapi untuk spesimen dengan jarak penyemprotan 50 mm volume keausan yang terbentuk besar meskipun jarak penyemprotannya pendek. Hal ini disebabkan ekspansi panas yang besar pada lapisan dan logam substrat dapat menimbulkan tegangan sisa pada lapisan sehingga mengakibatkan kekerasan lapisan yang terbentuk rendah sehingga volume keausan yang terbentuk besar.

Kata kunci: *Electric arc wire spray*, volume keausan, jarak penyemprotan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri logam pada saat ini mengalami perkembangan dengan sangat pesat, dengan adanya persaingan dibidang ini maka industri-industri tersebut dituntut untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produksinya. Guna menunjang lancarnya produksi diperlukan kondisi peralatan yang baik. Seringkali dijumpai bahwa pada komponen atau bagian tertentu dari mesin mengalami kerusakan. Kerusakan tersebut biasanya terjadi karena faktor umur atau karena proses produksi yang berjalan secara terus-menerus sehingga logam mengalami keausan. Untuk itu diperlukan proses perbaikan pada komponen-komponen tersebut. Salah satu peroses perbaikan tersebut adalah dengan cara pelapisan logam *thermal spray*.

Sampai saat ini proses pelapisan logam *thermal spray* masih mengalami perkembangan, sejalan dengan meningkatnya penggunaan komponen permesinan dengan sifat khusus. Pemakaian proses pelapisan ini mempunyai kecenderungan yang mengarah pada:

1. Usaha proteksi, yaitu untuk melindungi logam dari pengaruh korosi, keausan dan oksidasi permukaan.
2. *Maintenance*, yaitu perbaikan dimensi dan komponen yang rusak atau salah pengerjaan.
3. Untuk menghasilkan konduktivitas listrik yang baik.
4. Pelapisan logam mahal, yaitu penggunaan logam mahal yang tipis diatas permukaan logam lain.

Proses *thermal spray* adalah proses pelapisan suatu benda kerja dimana logam yang berupa kawat atau serbuk diumpankan pada nyala api yang dihasilkan oleh pembakaran seperti: nyala api gas oksi-atilen, busur listrik atau plasma. Logam yang telah cair tersebut disemprotkan dengan kecepatan tinggi sehingga terbentuk lapisan baru. Ikatan antar logam pelapis dengan material dasar (adhesi) merupakan faktor penting, dimana permukaan logam biasanya dikasarkan melalui proses penguliran (*threading*), pengaluran (*grooving*) atau *grit blasting* untuk meningkatkan kemampuan ikatan. Selanjutnya untuk mendapatkan kualitas yang dikehendaki dilakukan proses penyelesaian akhir dengan cara permesinan atau gerinda. Efisiensi deposit yang tinggi

dan pilihan bahan yang luas menyebabkan proses ini banyak digunakan untuk berbagai macam pelapisan dengan waktu pengerjaan yang singkat.

Pada proses perbaikan *roll ring* dimaksudkan untuk memperbaiki dimensi *roll ring* yang mengalami keausan sehingga dimensinya dapat distandartkan lagi. Pemilihan bahan dan proses pengerjaan yang tepat merupakan hal yang sangat penting didalam usaha untuk menghindari keausan yang lebih besar lagi.

Salah satu parameter penting dalam proses pelapisan adalah jarak penyemprotan, dimana jarak penyemprotan akan mempengaruhi kecepatan partikel saat menumbuk substrat. Semakin jauh jarak penyemprotan maka kecepatan partikel saat menumbuk substrat akan menurun, hal ini mengakibatkan gaya ikat antar partikel lapisan akan menurun dan menyebabkan kekuatan lapisan juga ikut menurun dan ketahanan ausnya juga ikut menurun. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek, akan terjadi ekspansi panas yang besar pada lapisan dan substrat yang dapat menimbulkan tegangan sisa pada lapisan. Oleh sebab itu diperlukan penelitian untuk mengetahui jarak penyemprotan optimum agar dapat menghasilkan lapisan dengan ketahanan aus yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka permasalahan yang akan diungkap dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* terhadap volume keausan *roll ring*.

1.3 Batasan Masalah

Agar menjadikan penelitian ini lebih terarah maka penulis akan memberikan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal berikut ini:

1. Pembahasan difokuskan pada volume keausan hasil pelapisan.
2. Spesifikasi material pelapis yang digunakan AWS ER70S-6 dengan komposisi bahan Si = 0,68% ; P = 0,51% ; Ca = 0,68% ; Cr = 0,12% ; Mn = 1,2% ; Fe = 89,53% ; Ni = 0,04% ; Cu = 5,57 % ; Br = 0,45% ; La = 0,02% ; Eu = 0,87% ; Os = 0,36%.
3. Spesifikasi material *roll ring* (substrat) yang digunakan besi tuang dengan komposisi bahan Fe = 94,3% ; C = 3,2% ; Si = 2,5%
4. Jarak penyemprotan divariasikan sebesar 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm

5. Tegangan listrik DC konstan sebesar 30 V
6. Kuat arus listrik DC konstan sebesar 350 A
7. Tekanan udara konstan sebesar 50 psi
8. Lama penyemprotan konstan sebesar 10 detik
9. Sudut penyemprotan konstan sebesar 90°
10. Tidak membahas biaya produksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* terhadap volume keausan *roll ring*.

1.5 Manfaat penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

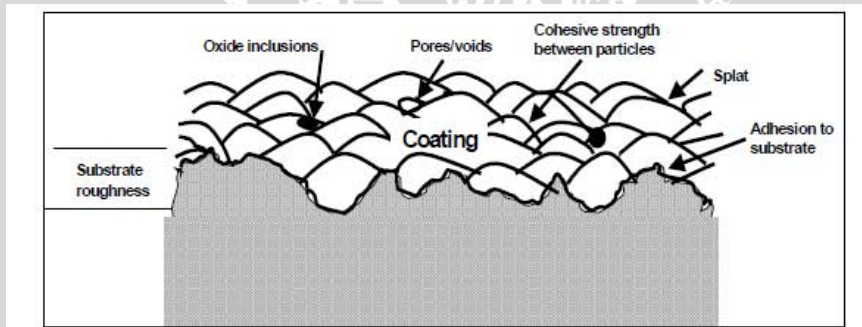
1. Memberikan masukan dan manfaat pada industri pembuatan kawat dengan metode pengerolan didalam usaha untuk meningkatkan produktifitas.
2. Dapat digunakan sebagai pertimbangan pada penelitian-penelitian selanjutnya khususnya mengenai pelapisan logam dengan metode *electric arc wire spray*.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri dalam pengembangan produk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Prinsip Dasar *Thermal Spray*

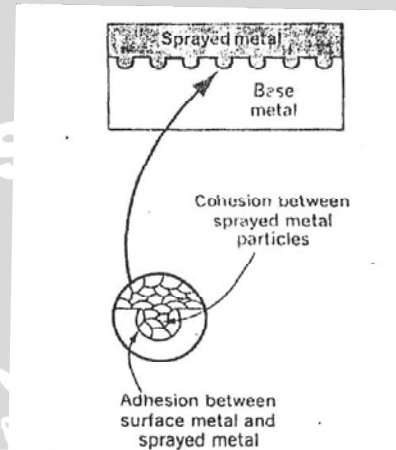
Thermal spray adalah salah satu proses pelapisan dimana material pelapis yang dilelehkan karena proses pemanasan kemudian disemprotkan pada sebuah permukaan. Alat penembak (*gun*) *thermal spray* menghasilkan panas yang diperlukan untuk melelehkan material pelapis dengan menggunakan energi listrik (plasma dan busur listrik) atau reaksi kimia (*combustion flame*). Selama material pelapis dipanaskan, bentuk material ini dilelehkan menjadi cair kemudian disemprotkan menggunakan aliran gas yang terkompresi ke permukaan substrat. Partikel ini kemudian menumbuk substrat, menekan dan membentuk lapisan tipis yang sesuai dan mengikuti bentuk substrat yang tidak beraturan. Selama partikel yang disemprotkan menimpa bagian atas permukaan substrat atau lapisan sebelumnya, partikel ini mengalami proses pendinginan dan mulai membentuk lapisan, *splat* demi *splat* menjadi struktur *lamellae* yang membentuk lapisan *thermal spray*. Gambar 2.1 menggambarkan bentuk potongan melintang lapisan dari struktur oksida dan inklusi.



Gambar 2.1 Bentuk potongan melintang lapisan *thermal spray*
Sumber: Dallaire, 1999: 1

Mekanisme terbentuknya lapisan pada proses pelapisan *thermal spray* disebabkan adanya proses adhesi dan kohesi. Proses adhesi terjadi antara permukaan substrat dengan lapisan. Pada saat penyemprotan, temperatur partikel pelapis dijaga tidak lebih dari 300°C, sehingga terbentuknya ikatan adhesi ini tidak mencairkan benda kerja dan ikatan adhesi ini terbentuk jika permukaan benda kerja kasar. Umumnya lapisan yang dihasilkan dari proses adhesi ini mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding proses pengelasan (Bhusan, 1991: 7).

Sedangkan proses kohesi terjadi diantara partikel pelapis itu sendiri yang berperan didalam penambahan ketebalan lapisan. Kekuatan ikatan yang dihasilkan dari proses kohesi ini lebih baik dibandingkan dengan ikatan adhesi diatas. Didalam proses penambahan ketebalan lapisan ini dapat terbentuk oksida dan porositas lapisan yang disebabkan karena terjadinya penyerapan gas-gas dari lingkungan dan meninggalkan lubang-lubang halus pada lapisan. Gambar 2.2 menjelaskan perbedaan antara ikatan adhesi dan ikatan kohesi.



Gambar 2.2 Permukaan ikatan logam
Sumber: Richard, 1983: 342

Ketika logam pelapis melebur dan mulai meninggalkan ujung *gun*, temperatur partikel pelapis mencapai suhu lebur logam pelapis. Namun saat meninggalkan ujung hingga mencapai permukaan substrat, logam pelapis mengalami penurunan temperatur. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara partikel dengan udara (perpindahan panas secara konveksi) dan pendinginan akibat pengaruh dorongan udara bertekanan. Saat logam pelapis menempel pada permukaan substrat, logam pelapis mengalami pendinginan karena langsung berhubungan dengan udara. Disamping itu juga dipengaruhi oleh adanya kontak antara logam pelapis dengan permukaan substrat. Pendinginan logam pelapis ini akan menyebabkan pengerutan lapisan yang bila terlalu besar, akan dapat menimbulkan keretakan. Untuk mencegah timbulnya retak, maka logam substrat dipanaskan terlebih dahulu (pemanasan awal) pada temperatur yang mendekati/sama dengan temperatur partikel pelapis saat menempel, yaitu antara 100°C-150°C (Bhusan, 1991: 11-16).

2.2 Proses Pembentukan Lapisan

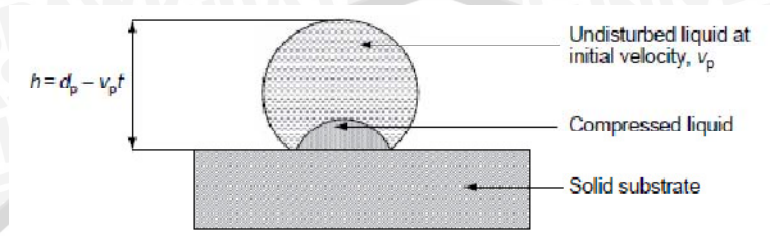
Pembentukan lapisan dimulai pada saat partikel pelapis menumbuk permukaan substrat. Partikel pelapis ini dapat sepenuhnya atau sebagian leleh atau berbentuk solid saat menumbuk permukaan substrat. partikel yang solid pada saat menumbuk permukaan substrat akan terpantul kembali atau terjebak pada lapisan yang terbentuk. Ketika terpantul kembali, ini hanya akan mempengaruhi efisiensi deposit. Namun ketika terjebak didalam lapisan, partikel yang solid ini akan menurunkan ikatan partikel didalam lapisan. Pada awal pembentukan lapisan, partikel pelapis langsung menumbuk permukaan substrat. Partikel yang leleh ini akan terdeformasi menjadi lamellae dan mengalami solidifikasi. Semburan partikel (*torch*) bergerak diatas substrat dan *layer* pertama yang terbentuk tersusun atas 5-15 *lamellae* tergantung parameter proses yang dipakai, seperti kecepatan pengumpanan kawat, jarak penyemprotan, ukuran partikel dan kecepatan linier *torch*. *Torch* akan kembali pada titik yang sama setelah beberapa waktu. Sementara itu, permukaan *layer* bereaksi dengan lingkungan seperti proses oksida (untuk metal atau paduan) dan proses pendinginan. Proses pendinginan ini menyebabkan pembangkitan tegangan sisa, yang mana akan menyebabkan lapisan mengalami *cracking*. Ketebalan lapisan akhir dicapai dalam beberapa puluh kali lewatan *torch* diatas substrat. Setelah itu lapisan mengalami pendinginan sampai suhu ruang (Pawlowski, 2008: 146).

2.2.1 Deformasi partikel

Partikel yang leleh menumbuk substrat atau lapisan yang didepositkan sebelumnya dan berubah menjadi *lamellae*. Perubahan ini berhubungan dengan proses deformasi dan solidifikasi. Proses solidifikasi dan deformasi terjadi kurang lebih secara simultan. Temperatur pertemuan antara partikel dengan substrat pada saat tumbukan disebut temperatur kontak yang akan mempengaruhi kekuatan adhesi dari *lamellae*, yang berarti juga meningkatkan kekuatan adhesi dari lapisan ke substrat. Deformasi partikel merupakan masalah dasar pada proses pelapisan *thermal spray* karena alasan dibawah ini:

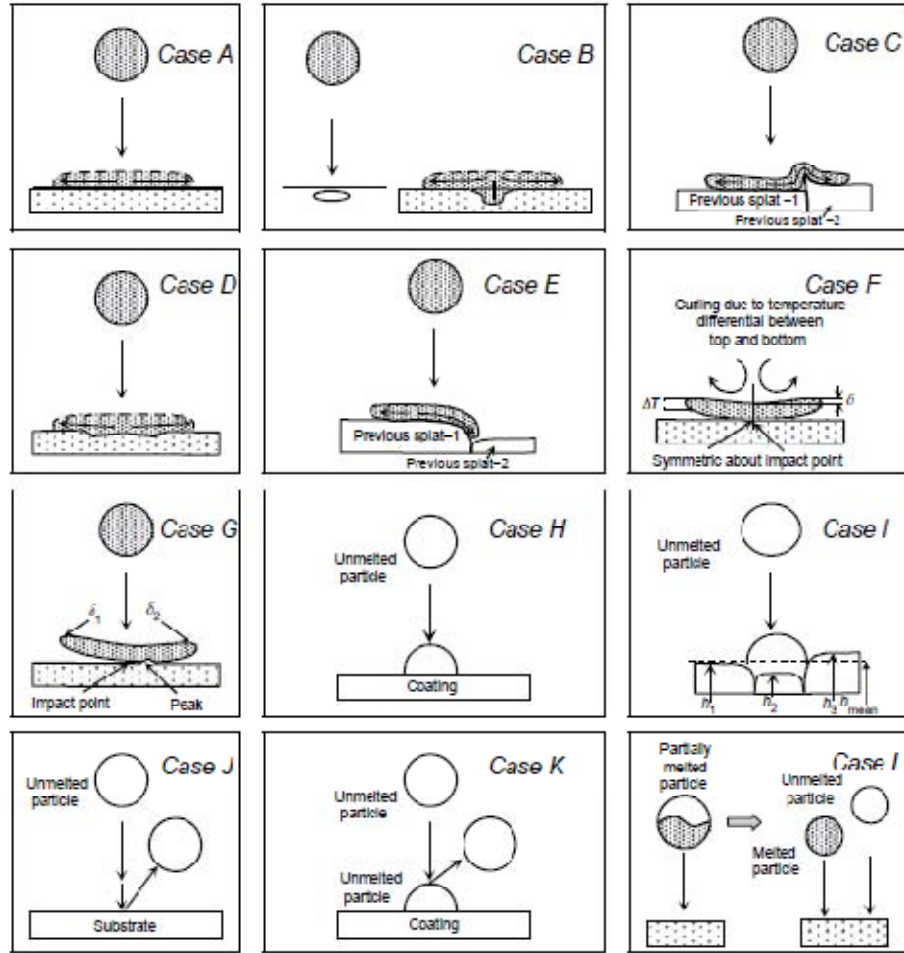
1. Deformasi tidak terikat pada arah partikel menumbuk, yang sebelumnya telah dialirkan dan dipanaskan sebelum menumbuk. Dengan kata lain tidak terikat pada metode penyemprotan.
2. Mikrostruktur *lamellar* sebagai karakteristik dari lapisan, dihasilkan dari deformasi partikel.

Partikel mulai terdeformasi pada saat pertama kali menyentuh substrat. Proses tumbukan partikel dapat dibagi menjadi dua bentuk, pertama disebut *subcritical flow regime* yang dimulai pada saat pertama kali partikel menyentuh substrat dan berakhir pada saat partikel berbentuk bola yang terpotong ujungnya, termasuk cairan yang termampatkan dekat dengan lingkaran kontak, seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Subcritical flow regime* pada saat partikel cair menumbuk substrat
Sumber: Pawlowski, 2008: 224

Bentuk yang kedua disebut *postcritical flow regime* yang terjadi setelah *subcritical flow regime* berakhir, partikel cair mulai menyebar secara radial sampai mencapai bentuk akhir. Pada saat yang sama proses solidifikasi juga terjadi. Proses deformasi berakhir ketika partikel menjadi solid. Gambar 2.4 menggambarkan berbagai macam kemungkinan yang dapat terjadi ketika partikel menumbuk substrat.



Gambar 2.4. Berbagai kejadian yang mungkin terjadi saat partikel menumbuk substrat
 Sumber: Pawloski, 2008: 240

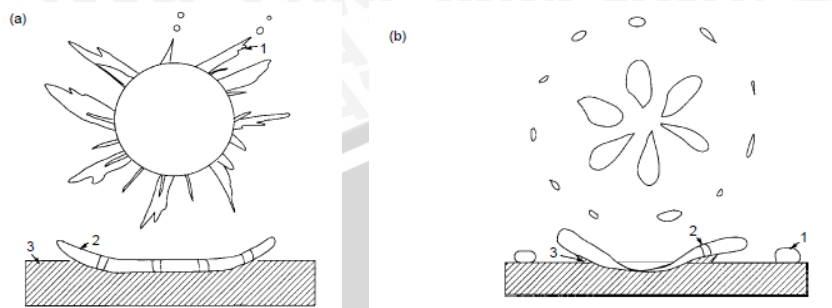
Tabel 2.1 Penjelasan dari berbagai kemungkinan yang terjadi pada saat partikel menumbuk substrat (gambar 2.4).

Kejadian	Penjelasan
A	<i>Splat</i> yang terbentuk secara sempurna pada permukaan substrat.
B	Porositas yang berada dibawah <i>splat</i> dan terletak pada <i>layer</i> yang paling atas. Ketika partikel menumbuk, lubang <i>porous</i> tersebut akan hancur dan <i>splat</i> yang terbentuk akan mengikuti bentuk dari permukaan.
C	<i>Splat</i> menemui tepi permukaan yang lebih tinggi, <i>splat</i> mengisi tempat yang tersedia kemudian mengalir diatas permukaan terluar yang paling tinggi.
D	<i>Splat</i> menutupi kekasaran yang dihasilkan oleh <i>splat</i> sebelumnya.
E	<i>Splat</i> menimpa permukaan yang mengalami penurunan lalu kemudian jatuh lurus kebawah sampai mencapai permukaan lainnya.
F	<i>Splat</i> melengkung keatas akibat perbedaan temperatur antara bagian atas dan bawah <i>splat</i> .
G	Permukaan substrat yang ditimpa <i>splat</i> terdapat tonjolan yang besar, <i>splat</i> melekat pada tonjolan tersebut dan melengkung karena terikat pada tonjolan.
H	Partikel yang tidak leleh membentuk lapisan setengah bola.
I	Partikel yang tidak leleh saat menumbuk substrat menghasilkan rongga pada permukaan substrat.
J	Partikel yang tidak leleh tidak terikat dengan permukaan substrat dan kemudian terlempar kembali.
K	Partikel yang tidak leleh tidak terikat dengan partikel yang tidak leleh lainnya. Saat keduanya bertumbukkan, partikel ini akan terlempar kembali.
L	Partikel yang leleh sebagian, bagian yang leleh mengikuti kejadian A-G sedangkan partikel yang tidak leleh mengikuti kejadian H,I,J dan K

Sumber: Pawloski, 2008: 242

Terdapat dua bentuk dasar *lamellae* yakni bentuk *pancake* dan bunga. Pada umumnya *lamellae* bentuk *pancake* terbentuk pada saat tumbukan, partikel mempunyai energi thermal dan kinetik yang kecil, selain itu juga disebabkan partikel mempunyai bentuk yang halus. Kebalikannya, *lamellae* bentuk bunga berhubungan dengan percikan partikel yang terbentuk pada waktu menumbuk dengan energi tumbukan yang besar. Serupa dengan energi tumbukan, temperatur substrat yang tinggi juga merupakan faktor penting. Pada temperatur substrat yang rendah, *lamellae* dengan bentuk bunga lebih dimungkinkan terbentuk dibandingkan bentuk *pancake*. Karena pada temperatur yang rendah, bagian bawah dari *lamellae* lebih cepat mengalami solidifikasi dan ketika

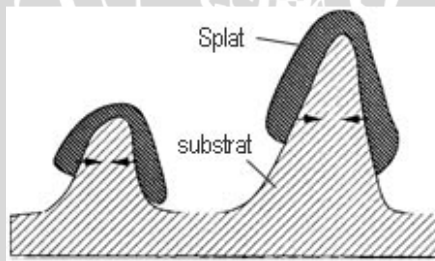
bagian yang cair menumbuk bagian bawah *lamellae* yang sudah berbentuk solid dengan kecepatan yang tinggi, maka bagian yang cair ini akan terpecah menjadi bagian-bagian yang kecil.



Gambar 2.5 Bentuk dasar *lamellae* (a) Pancake (b) Bunga
 Sumber: Pawloski, 2008: 232

2.2.2 Mekanisme Pelekatan

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. Proses solidifikasi *splat* menjadikan *splat* melekat pada substrat dengan menggunakan gaya yang dihasilkan dari penyusutan cairan. Seperti yang nampak pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi ikatan mekanik antara *splat* dengan permukaan substrat yang tidak rata

Sumber: Pawloski, 2008: 246

Yang perlu diperhatikan, splat tidak bersentuhan dengan bagian bawah dari substrat. hal ini secara jelas terlihat pada *lamellae* yang berbentuk bunga dan juga pada *lamellae* berbentuk *pancake* yang mengalami lengkungan. 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: 257).

Luas daerah *active zone* dapat berkurang karena

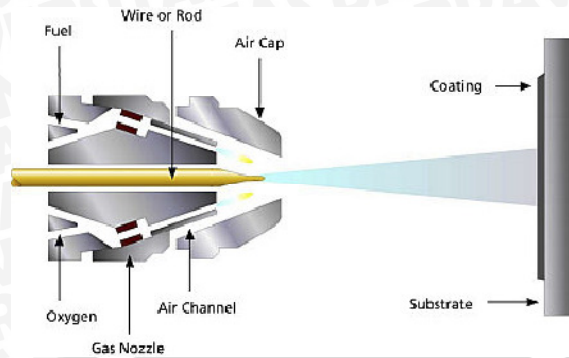
- a) Oksida pada lapisan logam dan paduan
- b) Udara yang bereaksi dengan partikel cair saat melayang
- c) Udara yang mengisi lubang *porous* dan terjebak pada saat partikel tiba di permukaan substrat.

2.3 Penggolongan Proses *Thermal Spray*

Pada dasarnya terdapat 4 jenis *thermal spray*, mencakup *flame spray*, *high velocity oxy-fuel*, *arc spray* dan *plasma spray*. Semua proses *thermal spray* mempunyai prinsip yang sama dalam hal pemanasan material pelapis (serbuk atau kawat) dan mendorong partikel pelapis dengan kecepatan tinggi, ketika partikel ini menumbuk permukaan substrat, partikel ini akan membentuk lapisan pada permukaan substrat (Dobler, 2003: 48).

1. *Flame Spraying* (FS)

Flame spraying adalah proses pelapisan *thermal spray* dengan biaya yang paling murah dibandingkan pelapisan *thermal spray* lainnya. *Flame spray* tidak menghasilkan distorsi dan efek perlakuan panas pada spesimen selama proses penyemprotan, bila temperatur semburan api yang dihasilkan pada ujung *nozzle* hanya 3000°C. *Flame spraying* dapat digunakan pada logam, keramik dan plastik sebagai substrat proses pelapisan. Proses pelapisan ini menghasilkan lapisan yang lebih tebal, oksida dan porositas yang lebih banyak dibandingkan dengan proses pelapisan lainnya. Proses pelapisan ini mengandalkan pengontrolan reaksi kimia yang baik antara oksigen dan bahan bakar untuk menghasilkan panas dengan temperatur yang bervariasi sampai dengan 3000°C. Pada proses pelapisan *flame spraying*, material pelapis diumpankan pada semburan api dalam bentuk serbuk atau kawat dan udara yang bertekanan digunakan untuk mengatomisasi logam yang meleleh tersebut dan mengalirkan partikel ini ke permukaan substrat untuk menghasilkan lapisan (Dobler, 2003: 193). Kebanyakan proses pelapisan *flame spraying* digunakan untuk penggunaan ketahanan korosi. Gambar 2.7 menjelaskan jenis desain *gun* dan proses pelapisan *flame spraying*.

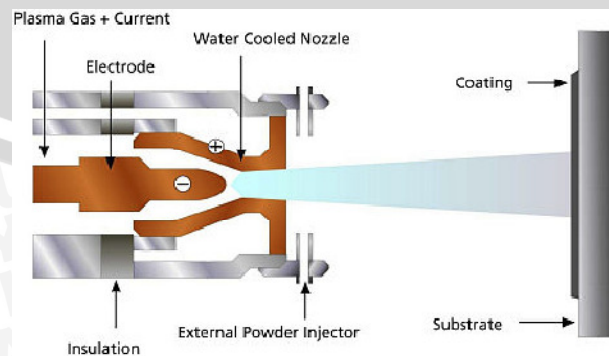


Gambar 2.7 Desain *gun* dan Proses pelapisan *flame spraying*
 Sumber: Sultzer metco Ltd, 2005: 197

2. *Plasma Spraying*

Plasma spray dianggap sebagai proses pelapisan *thermal spray* yang paling serbaguna. Proses pelapisan *plasma spray* melibatkan kalor laten dari gas inert yang diionisasi yang akan digunakan untuk menghasilkan sumber panas. Gas yang umumnya dipakai untuk menghasilkan plasma adalah argon sebagai gas utama dan hidrogen atau helium sebagai gas kedua (Knotek, 2001: 145). Akan tetapi gas yang digunakan tergantung pada jenis material yang akan disemprot dan penggunaan lapisan.

Plasma spraying dapat digunakan untuk melelehkan berbagai macam keramik. Sistem *plasma spraying* terdiri dari sebuah komponen elektronik yang dikendalikan oleh *power supply*, sebuah PLC yang dijalankan oleh operator stasiun kontrol, sistem aliran gas, sistem pendinginan air siklus tertutup, pengumpan serbuk dan alat penembak (*gun*). Gas inert utama, misalnya argon diinjeksikan diantara dua elektrode (anoda dan katoda) pada *gun*, sehingga terjadi proses ionisasi menjadi bentuk plasma jet ketika dinyalakan. Beberapa serbuk diinjeksikan ke *plasma jet* dan akan meleleh dan setelah itu didepositkan ke permukaan substrat. Gambar 2.8 menunjukkan jenis *gun* dan proses pelapisan *flame spraying*.

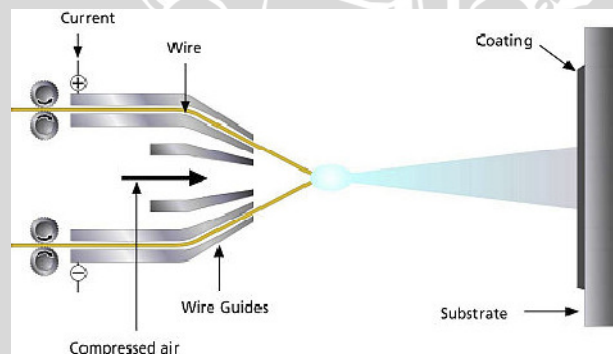


Gambar 2.8 Desain *gun* dan proses pelapisan *plasma spraying*
 Sumber: Sultzer metco Ltd, 2005: 225

3. *Arc Spraying (AS)*

Pada proses *arc spraying*, material pelapis dalam bentuk dua kawat yang secara simultan dibawa menuju titik temu (*contact point*) satu sama lain pada sebuah *nozzle*. Busur listrik digunakan untuk menyediakan sumber panas. Kedua kawat ini diumpungkan sampai keduanya bersentuhan, kemudian muatan listrik dialirkan pada kedua kawat yang menyebabkan ujung dari kawat meleleh dan menghasilkan temperatur kira-kira 4000°C. Gas yang terkompresi seperti udara atau nitrogen digunakan untuk mengatomisasi lelehan material yang berasal dari kawat dan mengalirkannya ke permukaan substrat (Dobler, 2003: 243).

Arc spraying lebih murah dibandingkan dengan proses *thermal spray* lainnya. Material yang digunakan oleh *arc spraying* hanya untuk kawat penghantar listrik seperti baja tahan karat, *hattelloy*, *nickel aluminides*, seng, aluminium dan *bronze*. *Arc spray* menghasilkan laju deposisi yang besar. *Arc spray* dapat digunakan untuk melapisi area yang luas dan komponen dalam jumlah banyak pada lajur operasi produksi berulang seperti pada jembatan dan fabrikasi lepas pantai dengan pelapisan seng dan aluminium yang memberikan ketahanan korosi pada struktur bangunan. Penggunaan lainnya adalah komponen yang memerlukan ketahanan aus seperti bantalan dan poros dengan pelapisan baja dan paduan *bronze* (Knotek, 2001: 189). Gambar 2.9 menunjukkan jenis *gun* dan proses pelapisan *arc spraying*.



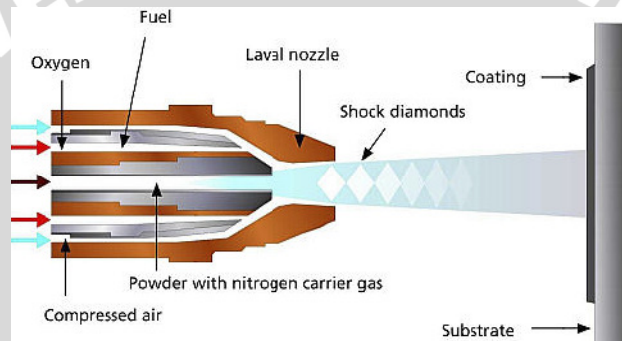
Gambar 2.9 Desain *gun* dan proses pelapisan *arc spraying*
Sumber: Sultzer metco Ltd, 2005: 213

4. *High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Spraying*

High velocity oxy-fuel (HVOF) spraying memperluas cakupan penggunaan *thermal spray*. HVOF menggunakan pembakaran gas seperti hidrogen atau bahan bakar cair seperti minyak tanah. Suatu campuran gas diinjeksikan ke ruang bakar pada tekanan tinggi sehingga bila dinyalakan akan menghasilkan percikan api. Proses ini

menghasilkan semburan api dengan kecepatan yang tinggi yang digunakan untuk mendorong partikel dengan kecepatan mendekati kecepatan supersonic sebelum menabrak permukaan substrat. HVOF didesain untuk menghasilkan lapisan dengan densitas dan gaya adhesi yang tinggi pada substrat (Grainger, 1998: 163).

Karena temperatur nyala api adalah sekitar 3000°C, HVOF lebih baik digunakan untuk menyemprotkan karbida tungsten atau karbida tahan korosi, paduan *hastello*, *triballoy* dan *inconel*. Dalam kaitannya dengan energi kinetik yang tinggi dan energi termal hidrogen yang rendah, HVOF dapat menghasilkan kekuatan ikatan yang tinggi, densitas lapisan yang sangat tinggi (porositas kurang dari 1%) dan kandungan oksida yang rendah. Gambar 2.10 menunjukkan jenis desain *gun* dan proses pelapisan HVOF.



Gambar 2.10 Desain *gun* dan proses pelapisan HVOF
Sumber: New york: Mc. Graw Hill, Inc, 2005: 238

2.4 Proses Pelapisan *Electric Arc Wire Spray*

Secara umum proses pelapisan *electric arc wire spray* terdiri atas:

1. Persiapan permukaan

Hal pertama yang perlu diperhatikan dalam proses pelapisan *electric arc wire spray* adalah masalah yang berkaitan dengan persiapan permukaan. Karena hal ini akan menentukan keberhasilan pelapisan. Jika perlakuan awal ini berjalan sempurna maka lapisan akan mempunyai kualitas yang memenuhi syarat. Persiapan permukaan terdiri atas:

a) Pembersihan

Sebelum proses pelapisan dilakukan, benda kerja harus benar-benar bersih dari kotoran seperti oli, terak, cat, debu. Beberapa metode yang umum dilakukan untuk proses pembersihan adalah (ingham, 1964:20)

- Dengan larutan *alkaline*

Larutan *alkaline* ini dapat bersifat asam atau basa. Dengan kondisi asam atau basa yang sangat pekat, maka kotoran atau zat penghalang akan terkelupas dari permukaan benda kerja. Larutan *alkaline* ini digunakan untuk kepentingan-kepentingan khusus, karena *alkaline* cukup berbahaya bagi kesehatan terutama mata, kulit dan saluran pernafasan.

- Dengan pemanasan

Kadang-kadang pemanasan merupakan satu-satunya jalan untuk menghilangkan kotoran secara sempurna. Karena dengan pemanasan tersebut diharapkan oli, terak, cat, air dan kotoran lainnya akan menguap. Pemakaian metode ini cukup baik diteapkan pada benda-benda hasil pengecoran yang bersifat *porous*. Temperatur pemanasan yang dianjurkan dalam proses ini adalah 260°C-315°C.

- Dengan teknik *blasting*

Teknik *blasting* ini menggunakan partikel abrasif yang ditembakkan ke permukaan benda kerja. Dimana oli, terak, karat, cat, debu dan kotoran lainnya akan terangkat bersama partikel abrasif. Jika pembersihan telah dilakukan, maka proses pelapisan harus segera dilaksanakan. Hal ini bertujuan untuk mencegah kontaminasi dengan udara bebas.

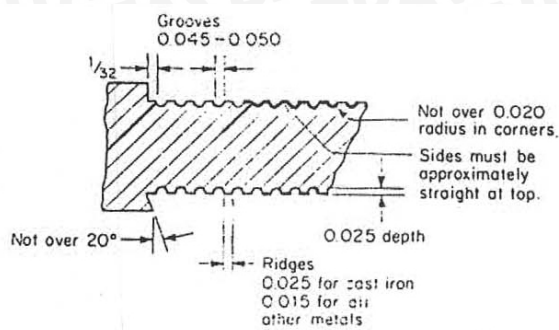
b) Pengkasaran permukaan

Proses pelapisan logam *electric arc wire spray* memerlukan proses pendahuluan, diantaranya adalah proses pengkasaran permukaan. Pengkasaran yang dilakukan sebelum proses pelapisan berguna untuk meningkatkan atau menjaga kualitas ikatan antara logam pelapis dengan logam dasar.

Pengkasaran permukaan dapat dilakukan dengan cara bermacam-macam, antara lain (ingham,1964: 60):

- Pembuatan alur (*grooving*)

Proses pengaluran ini sangat tepat dilakukan pada benda kerja yang berbentuk silinder atau poros. Alur yang ingin dibuat dapat dikerjakan dengan mesin bubut. Dalam proses *grooving* ini terdapat beberapa ketentuan yang menyangkut dimensi pengerjaan *grooving* tersebut, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.11 Proses *grooving*
 Sumber: Longo, 1986: 53

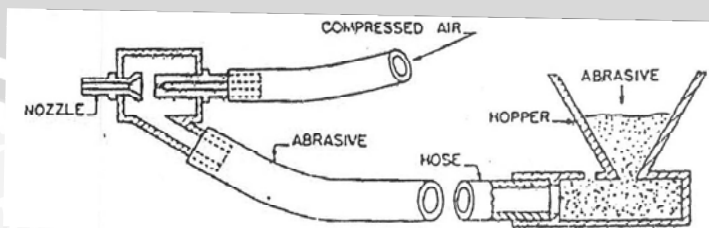
Grooving mempunyai pengaruh membebaskan kecenderungan bahwa logam akan mengkerut dan lepas dari ikatan. Metode pengkasaran permukaan ini khususnya sesuai untuk material yang mempunyai harga pengkerutan logam yang tinggi.

- Pembuatan ulir (*threading*)

Proses penguliran ini dapat dikerjakan dengan mesin bubut dan menggunakan pahat yang umumnya mempunyai sudut 60° dengan jumlah ulir berkisar 40-50 per-inchi. Kedalaman dan jumlah kisaran dari penguliran tergantung pada ketebalan lapisan yang dikehendaki.

- *Grit blasting*

Grit blasting digunakan untuk membersihkan sekaligus untuk pengkasaran permukaan. Cara ini lebih efektif digunakan untuk daerah yang luas dan datar, misalnya permukaan plat kapal, tanki, dll. ukuran dari grit dan tekanan udara dapat diatur untuk menghasilkan tingkat kekasaran tertentu. Proses *grit blasting* akan menaikkan kekuatan lelah karena efek *surface peening* yang menyebabkan kulit permukaan logam menjadi dalam kondisi termampatkan. Arah gerak apada saat *blasting* harus sama dengan arah gerak saat penyemprotan.



Gambar 2.12 Instalasi *grit blasting*
 Sumber: Pawlowski, 2008: 57

2. Lapisan pengikat awal (*Bonding*)

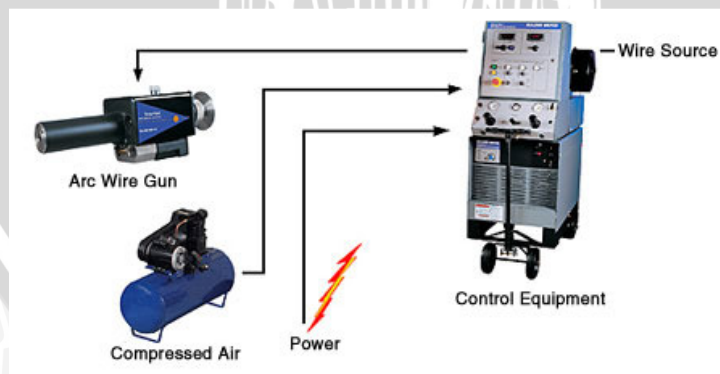
Bonding mempunyai fungsi sebagai pelapis pengikat awal. Tujuan dari pemberian pengikat awal ini adalah untuk mengawali proses pelapisan yang akan dilakukan, karena tidak semua material pelapis dapat langsung menempel pada benda kerja. Untuk itu diperlukan lapisan perantara yang dapat menyatukan ikatan antara benda kerja dengan material pelapis. Tebal lapisan ini berkisar antara 3/1000 sampai 5/1000 mm. lapisan tipis ini nampak sebagai *film* yang mempermudah terbentuknya ikatan logam berikutnya (metco, 1985:6)

3. Penyelesaian akhir (*Finishing*)

Proses pelapisan *electric arc wire spray* yang digunakan pada elemen mesin hampir selalu diakhiri dengan proses permesinan atau penggerindaan. Karena lapisan yang dihasilkan *porous* dan *brittle*, sehingga untuk mendapatkan hasil yang baik perlu dipilih proses yang sesuai. Pahat jenis *high speed steel* (HSS) dapat digunakan pada lapisan yang lunak seperti baja karbon rendah, paduan tembaga dan aluminium. Pada material yang lebih keras dapat digunakan pahat karbida atau proses gerinda.

2.5 Komponen *Electric Arc Wire Spray*

Komponen-komponen dalam sistem pelapisan *electric arc wire spray* terdiri dari *arc wire gun*, sistem penyedia udara terkompresi, unit pengontrol, sistem penggerak kawat dan *DC power supply*.



Gambar 2.13 Komponen *electric arc wire spray*
Sumber: Sultzer Metco Ltd, 2009: 1

1. *Arc wire gun*

Bagian ujung dari *arc wire gun* terdapat sebuah *nozzle* dan *air cap*. Fungsi *nozzle* adalah untuk mempercepat aliran logam cair hasil lelehan

kawat yang didorong oleh tekanan gas atomisasi. Sedangkan *air cap* berfungsi untuk menyemburkan gas atomisasi melalui lubang-lubang kecil di sekitar *nozzle*.

2. Sistem penyedia gas bertekanan

Proses *electric arc wire spray* memerlukan gas bertekanan yang digunakan untuk mengatomisasi partikel hasil pelelehan kawat. Selain itu, gas ini juga digunakan untuk mendorong partikel menuju ke permukaan substrat. Tekanan gas dianjurkan berkisar 0,2 – 0,7 MPa sedangkan untuk laju gas dianjurkan 20 – 1300 slpm. Pada sistem ini juga terdapat alat regulator yang digunakan untuk menyesuaikan kandungan air dalam gas tersebut.

3. Unit pengontrol

Unit kontrol digunakan untuk mengontrol keseluruhan sistem khususnya selama proses operasi dari sistem. Semua sistem pengaturan seperti tekanan gas, tegangan listrik, kecepatan pengumpanan kawat terdapat dalam satu *control box*. (Rahim, Ahmad, 2008: 21).

4. Sistem penggerak kawat

Pada sistem *electric arc wire spray*, masing-masing kawat ditarik oleh motor listrik menuju ke *gun spray*. Kecepatan kedua motor tersebut harus sama satu sama lain. Kecepatan motor ini mempengaruhi kecepatan pengumpanan kawat. Perbedaan kecepatan pengumpanan kawat (perbedaan kecepatan kedua motor) akan menyebabkan busur listrik tidak stabil dan partikel yang dihasilkan kasar. (Sultzer Metco Ltd, 1985: 2).

5. *DC power supply*

Pada proses pelapisan *electric arc wire spray*, energi listrik dihasilkan dari perubahan tegangan DC. Energi listrik inilah yang kemudian digunakan untuk menghasilkan busur listrik yang dipakai untuk melelehkan kawat. Untuk performa yang optimal sistem ini harus mempunyai karakteristik tegangan listrik yang konstan yang mencakup keseluruhan jangkauan kapasitas penyemprotan pada kondisi operasi mesin. Tegangan listrik pada saat penyemprotan tidak boleh mengalami penurunan lebih dari 1,5 V. Oleh karena itu sangat dianjurkan untuk menggunakan sumber energi listrik yang didesain khusus untuk *arc spraying* yang dapat menghasilkan tegangan

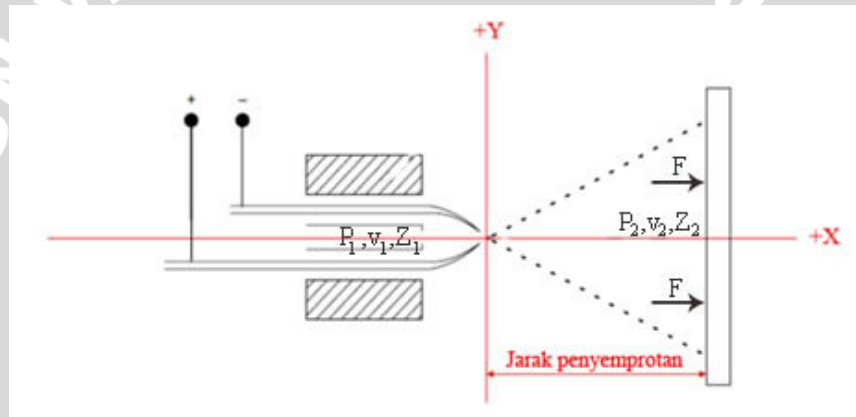
listrik yang diinginkan tanpa penurunan tegangan listrik yang berarti (Sultzer Metco Ltd, 1985: 2).

2.6 Parameter Proses *Electric Arc Wire Spray*

Sifat-sifat lapisan logam hasil pelapisan *electric arc wire spray* dipengaruhi oleh beberapa parameter proses penyemprotan. Parameter-parameter proses penyemprotan tersebut adalah:

1. Jarak penyemprotan

Jarak penyemprotan didefinisikan sebagai jarak antara ujung gun dengan permukaan yang akan dilapisi seperti yang nampak pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Jarak Penyemprotan
Sumber: Pawloski, 2008 : 79

Jarak penyemprotan ini mempengaruhi kekerasan dan kekuatan lapisan. Dimana dengan penambahan jarak penyemprotan, maka kekerasan lapisan akan menurun. Kecepatan partikel yang tinggi dapat dicapai pada kondisi tekanan udara yang tinggi dan jarak penyemprotan yang rendah. Pada kecepatan partikel yang tinggi, energi kinetik yang besar dapat menyebabkan densitas dan kekerasan menjadi lebih tinggi karena gaya dorong yang besar pada partikel saat menumbuk permukaan substrat sehingga ikatan antara partikel logam pelapis baik dengan permukaan substrat maupun antar partikel logam pelapis menjadi lebih kuat. Ketahanan aus lapisan tergantung pada kekerasan lapisan yang terbentuk, dimana semakin keras lapisan yang terbentuk maka ketahanan ausnya akan semakin meningkat. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek akan terjadi ekspansi panas yang besar, hal ini dapat mengakibatkan keretakan

pada pada lapisan akibat pengerutan lapisan yang terlalu besar karena perbedaan temperatur yang besar antara permukaan substrat dengan lapisan. (Hamatani, I, 2002 : 6).

Hubungan antara jarak penyemprotan dan diameter partikel didapatkan dari persamaan dibawah ini:

$$D_p = \frac{v \cdot 3\rho \cdot C_D \cdot x}{\rho_p \cdot v_p^2} \quad (2-1)$$

(Grujicic, 2003 : 226)

Dengan: v_p : Kecepatan partikel (m/s)

v_0 : Kecepatan saat keluar nozzle (m/s)

ρ : Densitas gas (kg/m³)

C_D : Koefisien seret

x : Jarak penyemprotan (m)

Hubungan antara besar butir partikel dan kekerasan dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$H_c = H_0 + \frac{K}{\sqrt{D_p}} \quad (2-2)$$

(Sumber: Chang, Seung I, 2008 : 2)

Dengan : H_C : Kekerasan lapisan (N/m²)

H_0 : Konstanta

K : Konstanta

D_p : Diameter partikel (m)

Hubungan antara volume keausan dengan kekerasan lapisan dapat dilihat dibawah ini:

$$Q = k \frac{P}{H_c} \quad (2-3)$$

(Sumber: Dumovic, Milo, 2008 : 1)

Dengan : Q : Volume keausan (m³)

P : Beban yang bekerja (N)

k : Koefisien keausan material

H_C : Kekerasan lapisan (N/m²)

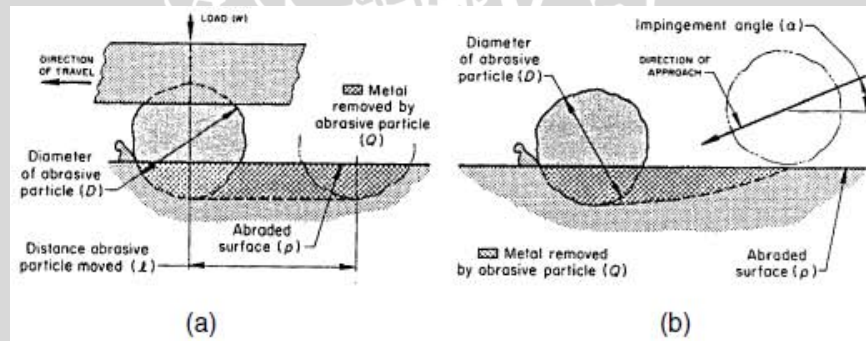
Dari ketiga persamaan diatas didapatkan persamaan hubungan antara volume keausan terhadap jarak penyemprotan

$$V = k \frac{P}{H_0 + \frac{K}{\sqrt{\frac{3v^2 \cdot \rho \cdot C_D \cdot x}{\rho_p \cdot v_p^2}}}} \quad (2-4)$$

(Sumber: Grujicic, 2004: 4)

- Dengan: V : Volume keausan (mm³)
 P : Beban yang bekerja (kgf)
 k : Koefisien keausan material
 H₀ : Kekerasan partikel (kgf/mm²)
 K : Koefisien kekerasan partikel
 v : Kecepatan gas keluar nozzle (m/s)
 ρ : Densitas gas (kg/m³)
 C_D : Koefisien seret
 x : Jarak axial penyemprotan (mm)
 ρ_p : Densitas partikel (kg/m³)
 v_p : Kecepatan partikel (m/s)

Dari persamaan diatas dapat dilihat hubungan antara volume keausan dan jarak penyemprotan adalah berbanding lurus, dimana penambahan jarak penyemprotan juga akan meningkatkan volume keausan.



Gambar 2.15 Gambaran ideal dari keausan abrasif
 (a) Dihasilkan dari pembebanan mekanik dari gaya partikel abrasif
 (b) Dihasilkan dari pembebanan kinetik dari gaya partikel abrasif
 Sumber: Dumovic, 2002: 2

2. Kecepatan pengumpanan kawat

Kecepatan pengumpanan kawat akan mempengaruhi hal-hal berikut ini:

- Kadar oksida

Ketika kawat diumpankan melewati titik kontak yang terlalu lama, proses atomisasi menjadi lebih baik tetapi persentase oksida dalam lapisan menjadi naik, sehingga kekerasannya juga naik.

- Kemampuan untuk dimesin (*machinability*)

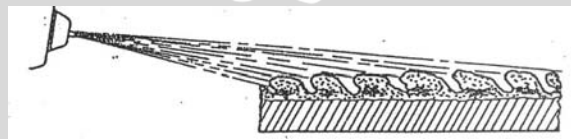
Kecepatan pengumpanan yang lambat akan menurunkan kemampuan lapisan untuk dimesin menjadi menurun karena meningkatnya kekerasan lapisan akibat meningkatnya kandungan oksida.

- Penyerapan oli

Lapisan logam hasil proses *electric arc wire spray* mempunyai ketahanan aus yang baik karena lapisan ini mampu menyerap oli. Pada proses pengumpanan yang lambat kemampuan lapisan dalam menyerap oli menurun, hal ini dikarenakan lubang pori-pori diisi oleh oksida, sehingga tidak dapat menyerap oli dalam jumlah banyak. Akibatnya ketahanan aus lapisan tersebut juga menurun.

3. Sudut penyemprotan

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah sudut penyemprotan terhadap benda kerja. Sudut semprot berpengaruh terhadap sifat dan struktur lapisan logam hasil penyemprotan. Hasil terbaik didapat pada sudut antara 45° hingga mendekati tegak lurus (90°). Sudut yang kurang dari 45° terhadap benda kerja akan menghasilkan apa yang disebut *shadow effect*. Hal ini dikarenakan bagian belakang tidak dapat terisis oleh partikel pengisi selanjutnya. Dan hasil dari penyemprotan dengan sudut kurang dari 45° cenderung mempunyai porositas yang tinggi dan struktur berombak seperti yang ditunjukkan gambar 2.16.



Gambar 2.16 Efek *shadow* akibat sudut penyemprotan kurang dari 45°

Sumber: Ingham, 1964: 69

4. Besarnya arus listrik

Besarnya arus yang digunakan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* mempengaruhi besarnya masukan panas yang digunakan untuk

mencairkan kawat/batang. Dengan mengasumsikan tidak ada energi panas yang terbuang secara radiasi dan semua panas diserap oleh kawat pelapis maka masukan panas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{arc} = V \times I \times t \quad (2-5)$$

(Sumber: Rodijnen, 2006: 4)

dimana : Q_{arc} = Besarnya masukan panas (joule)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Besarnya arus listrik (Ampere)

t = Waktu (detik)

Dengan demikian peningkatkan arus listrik meningkatkan besar masukan panas yang digunakan untuk melelehkan kawat. Oleh sebab itu, bila arus listrik yang digunakan tinggi maka kawat dapat meleleh lebih sempurna (semua partikel berbentuk cair). Sehingga saat menumbuk substrat dapat melekat dengan baik dan mempunyai gaya ikat yang cukup tinggi, sedangkan jika arus yang digunakan kecil maka besar masukan panas juga ikut kecil. Hal ini menyebabkan kawat tidak meleleh secara sempurna (tidak semua partikel berbentuk cair, masih ada partikel yang berbentuk solid) sehingga pada saat menumbuk substrat tidak terbentuk ikatan yang kuat.

5. Tekanan gas atomisasi

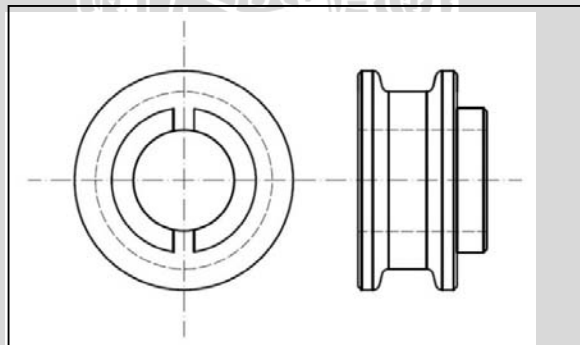
Tekanan gas atomisasi mempengaruhi kecepatan dari partikel. Bila tekanan gas yang dipakai kecil maka kecepatan partikel saat menumbuk logam dasar menjadi kecil, sebaliknya jika tekanan gas yang dipakai besar maka kecepatan partikel saat menumbuk logam dasar juga tinggi. Penambahan tekanan gas atomisasi menyebabkan kecepatan aliran gas menjadi lebih tinggi. Yang mana perubahan kecepatan ini akan memecah partikel leleh tersebut menjadi droplet yang lebih kecil. Droplet yang lebih kecil ini lebih siap bereaksi dengan oksigen dibanding droplet yang lebih besar, karena luas permukaan spesifik droplet yang lebih kecil lebih besar.

Densitas dan kekerasan struktur lamelar lapisan bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan partikel. Dengan penambahan kecepatan partikel ukuran droplet yang terbentuk semakin kecil. Ukuran droplet yang

kecil mempunyai luas area relatif yang lebih besar, selama partikel kecil ini terbang mereka mengalami proses oksidasi yang lebih sempurna dibanding partikel dengan ukuran yang lebih besar yang kemungkinan besar lapisan yang terbentuk mempunyai kandungan oksida yang lebih banyak. Dengan kata lain, partikel dengan ukuran yang lebih kecil mempunyai kecepatan aliran yang lebih besar, durasi terbang yang lebih pendek, menghasilkan lapisan yang mempunyai densitas tinggi dan porositas yang rendah (Valialis, 2003: 3).

2.7 Roll ring

Teknologi pembuatan kawat yang lebih banyak digunakan saat adalah teknologi pembentukan logam (*metal forming*) dengan cara pengerolan. *Roll ring* merupakan komponen mesin yang digunakan untuk membentuk batangan *billet* (bahan baku pembentukan kawat yang berbentuk balok) menjadi sebuah kawat melalui proses pengerolan yang dilakukan secara bertahap. *Roll ring* terbagi menjadi 18 stand, dimana masing-masing stand mempunyai ukuran diameter yang berbeda. Proses pengerolan dimulai dari roll ring yang mempunyai ukuran diameter terbesar dan berakhir pada *roll ring* yang mempunyai diameter terkecil. *Roll ring* berbentuk silinder yang berlubang bagian dalamnya dan pada sekeliling dinding luarnya terdapat celah yang berbentuk setengah lingkaran yang digunakan untuk membentuk *billet*, seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Bentuk *Roll Ring*
Sumber: PT. Ispat Indo

Roll ring terbuat dari besi tuang kelabu dengan kandungan karbon 3,2%. Besi tuang kelabu dipilih sebagai bahan *roll ring* karena:

- Mudah dituang menjadi bentuk yang rumit
- Mudah dimachining
- Tahan aus atau gesek, karena grafit dapat berfungsi sebagai pelumas

- Mempunyai damping capacity (meredam getaran) yang tinggi
- Kekuatan tekan yang tinggi
- Harganya murah

Sifat mekanik material *roll ring* yang diperlukan adalah kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Kekerasan yang tinggi sangat diperlukan agar *roll ring* dapat membentuk billet dengan sempurna. Sedangkan ketahanan aus yang baik diperlukan agar *roll ring* mempunyai masa pakai yang lama karena proses pengerolan terjadi secara terus menerus sehingga keausan *roll ring* menjadi salah satu faktor yang sangat diperhatikan. Untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus *roll ring*, dilakukan proses pelapisan *thermal spray* pada permukaan *roll ring*, proses pelapisan *thermal spray* dipilih karena waktu pelapisan yang lebih cepat dibandingkan metode pelapisan lainnya, selain itu juga karena proses pelapisan *thermal spray* dapat dilakukan dengan mudah.

2.8 Keausan Material

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan (*friksi*) antar permukaan padatan. Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (*friction*) dan pelumasan (*lubrication*). Kajian mengenai ketahanan aus, gesekan dan pelumasan dikenal dengan nama ilmu *Tribologi*. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam (Herman, 2009: 26-28).

2.8.1 Mekanisme keausan

Mekanisme keausan sangat kompleks dan tergantung pada banyak faktor. Sifat permukaan material seperti kekasaran, kekuatan, ketangguhan, dll adalah faktor penting bagi ketahanan aus. Akan tetapi faktor lain seperti pengerjaan akhir permukaan, pelumasan, beban, kecepatan, korosi, suhu, dll juga sama pentingnya. Mekanisme keausan terdiri dari: (Herman, 2009: 29-31)

- Keausan adhesif (*adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lainnya (adhesif) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan/pengoyakan salah satu material.

Faktor yang menyebabkan keausan adhesif:

1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat
2. Kebersihan permukaan.
3. Temperatur, temperatur yang tinggi meningkatkan keausan adhesif.

Jumlah serpihan akibat terjadinya aus melalui mekanisme adhesif ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain :

1. Menggunakan material keras.
2. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.
3. Memberikan pelumas diantara permukaan yang bersentuhan.

- Keausan abrasif (*abrasive wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut.

Sebagai contoh partikel pasir silika akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem yang terpisah. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir, partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap keausan abrasif antara lain:

1. Kekerasan material
2. Kondisi struktur mikro
3. Ukuran abrasif
4. Bentuk abrasif

- Keausan lelah (*fatigue wear*)

Merupakan mekanisme yang realtif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adhesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat bergantung pada tingkat pembebanan.

- Keausan oksidasi/korosif (*corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.

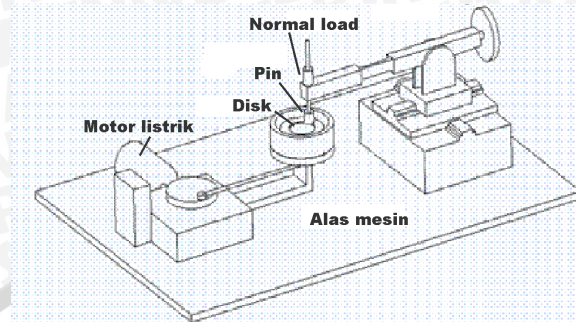
- Keausan erosi (*erosion wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil, keausan yang dihasilkan dapat disamakan dengan keausan abrasi. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90°), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan perpatahan getas pada permukaannya.

2.7.2 Metode Pengujian Keausan

Tingkat keausan yang akan terjadi pada suatu sistem, pada umumnya tergantung pada beberapa faktor, yaitu beban yang bekerja, karakteristik mesin, kecepatan sliding, jarak sliding, lingkungan dan sifat material. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode *pin on disk*. *Pin on disk tribometer* adalah peralatan standar yang digunakan untuk menghitung katahanan aus dan koefisien gesek permukaan berbagai macam material, seperti logam, polimer, komposit, keramik, lapisan dan suatu spesimen yang telah mengalami proses perlakuan panas. *Pin on tribometer* ini dapat digunakan pada permukaan yang menggunakan pelumas maupun tidak. Alat uji ini terdiri atas disk yang berputar yang merupakan material yang akan diuji, disk ini akan bergesekan dengan bidang statis yang biasanya

disebut pin. Pin ini biasanya terbuat dari *cemented carbide*, pada bagian atas pin terdapat beban normal. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.18.



Gambar 2.18 Susunan alat uji keausan *pin on disk*
Sumber: Pawloski, 2008: 756

Beban normal, kecepatan putar dan diameter jejak keausan, semuanya telah diatur terlebih dahulu oleh pengguna sebelum dilakukan pengujian. Beban normal akan menekan pin kebawah dan menyebabkan pin bersentuhan dengan disk yang berputar. Pin ini akan teru-menerus bergesekan dengan *disk*, karena pin terbuat dari bahan *cemented carbide* yang mempunyai kekerasan yang tinggi maka disk akan mengalami keausan. pin yang digunakan biasanya merupakan sebuah bidang dengan berbagai macam bentuk dan ukuran tergantung pada penggunaan (Pawloski, 2008: 967

Keausan biasanya dihitung berdasarkan jumlah kehilangan berat. Akan tetapi, karena volume keausan biasanya merupakan cara yang lebih disukai untuk menjelaskan besarnya keausan. Maka jumlah kehilangan berat dirubah menjadi volume keausan dengan membaginya dengan densitas (massa jenis) material spesimen. Versi standar dari pengujian untuk ranking material telah dikembangkan oleh ASTM (ASTM G99).

2.9 Hipotesa

Ketika jarak penyemprotan pada proses *electric arc wire spray* ditambah maka kecepatan partikel akan semakin menurun. Dengan menurunnya kecepatan partikel maka partikel akan memiliki energi kinetik yang rendah, sehingga gaya tumbuk partikel saat menyentuh substrat juga rendah, hal ini mengakibatkan gaya ikat antar partikel menjadi lebih lemah. Sehingga dalam penelitian ini dapat diduga volume keausan *roll ring* akan meningkat seiring dengan penambahan jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* karena melemahnya gaya ikat antar partikel lapisan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk menyelidiki dan mengetahui pengaruh jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* terhadap volume keausan *roll ring*. dan kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku maupun jurnal dari internet guna mendapatkan data-data dan informasi yang diperlukan.

3.2 Variabel penelitian

Variabel yang akan diukur dalam penelitian ini terdiri dari 3 variabel, antara lain:

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain, yang mana besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jarak penyemprotan (mm), yaitu sebesar 50, 100, 150, 200 dan 250

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya berubah-ubah sebagai hasil pengaruh dari perubahan variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah volume keausan (mm^3).

c. Variabel terkontrol

Variabel yang besarnya dikontrol dalam suatu penelitian agar tidak mempengaruhi variabel terikat. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan pengumpanan kawat, tekanan udara atomisasi, lama penyemprotan, kuat arus listrik, tegangan listrik dan sudut penyemprotan.

3.3 Tempat dan Waktu penelitian

Penelitian dilakukan di:

- Departemen *Workshop*, PT. ISPAT INDO Sidoarjo
- Laboratorium Pengujian Material, Jurusan Teknik Mesin ITN

Selama 1 bulan pada bulan Maret 2010

3.4 Alat dan Bahan yang digunakan

3.4.1 Alat yang digunakan

Dalam penelitian ini menggunakan peralatan antara lain:

1. Mesin bubut CNC

Digunakan untuk membentuk benda kerja dan proses pembuatan ulir dan alur pada benda kerja. Spesifikasi mesin tersebut adalah sebagai berikut:

- Merk : *Hercules MachinenFabrik*
- Type : HT 1367
- Daya: 60 kW
- Buatan : Jerman

2. Mesin *Electric arc wire spray*

Digunakan untuk proses pelapisan benda kerja. Spesifikasi mesin tersebut adalah sebagai berikut:

- Tipe: *Arc spray 9000*
- Merk : TAF A
- Buatan: USA

3. Mesin gerinda CNC

Digunakan untuk membersihkan permukaan benda kerja dan untuk proses *finishing* setelah proses pelapisan. Spesifikasi mesin adalah sebagai berikut:

- Merk : *Hercules MachinenFabrik*
- Type : HG 9546
- Daya : 40 kW
- Buatan : Jerman

4. Alat uji kekerasan

Digunakan untuk mengukur kekerasan benda kerja setelah proses pelapisan.

5. Alat uji keausan

Digunakan untuk mengukur volume keausan benda kerja setelah proses pelapisan.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Material substrat yang terbuat dari besi tuang kelabu (*grey cast iron*) yang memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

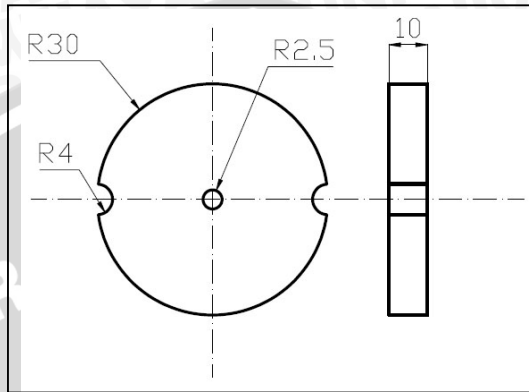
$$\text{Fe} = 94,3\%$$

$C = 3,2\%$

$Si = 2,5\%$

Dimensi bahan

Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bentuk dan dimensi benda kerja

2. Kawat Pelapis

Kawat pelapis yang digunakan adalah jenis AWS ER70S-6 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

$Si = 0,68\%$

$Cr = 0,12\%$

$Ni = 0,04\%$

$P = 0,51\%$

$Mn = 1,2\%$

$Cu = 5,57\%$

$Ca = 0,68\%$

$Fe = 89,53\%$

$Br = 0,45\%$

$La = 0,02\%$

$Eu = 0,04$

$Os = 0,36\%$

Diameter kawat adalah 1,2 mm

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan material

Memotong material dengan bentuk dan dimensi yang sesuai.

2. Pembersihan permukaan dilakukan melalui proses penggerindaan.

3. Pemanasan awal dengan temperatur kurang lebih 150°

4. Proses pelapisan

Proses pelapisan benda kerja dilakukan dengan variasi jarak penyemprotan yaitu: 50, 100, 150, 200 dan 250mm. Tekanan udara atomisasi 50 psi ; arus listrik 350 A ; tegangan listrik 30 V dan waktu penyemprotan selama 10 detik.

5. Penyelesaian akhir logam hasil pelapisan dengan cara penggerindaan permukaan.
6. Pengujian kekerasan logam hasil pelapisan.
7. Pengujian volume keausan logam hasil pelapisan.
8. Pengolahan data.

3.6 Metode pengujian

3.6.1 Metode Pengujian Keausan

Proses pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing variasi jarak penyemprotan. Tahapan pengujian keausan dilakukan sesuai dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapkan semua alat dan bahan yang diperlukan
2. Timbang berat awal spesimen
3. Pasang spesimen pada *sample holder*.
4. Pasang beban diatas pin, kemudian letakkan pin diatas disk.
5. Atur besarnya kecepatan putar pada 350 Rpm dan durasi pengujian 200 putaran roda disk.
6. Jalankan mesin, tunggu hingga disk berhenti berputar.
7. Ambil benda kerja dari *sample holder*
8. Timbang berat akhir spesimen.
9. Agar diperoleh volume keausan maka perlu dilakukan perhitungan konversi sebagai berikut:

$$V = \frac{\text{Berat awal} - \text{Berat akhir}}{\rho} \quad (3-1)$$

Dimana: V = Volume keausan (cm³)

ρ = Massa jenis material pelapis (gr/cm³)

3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisa yang tepat sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat. Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisa data untuk memperoleh informasi tentang suatu hal yang besar. Data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan analisa varian satu arah.

3.7.1 Analisis varian satu arah

Metode ini digunakan dalam prosedur uji statistik untuk beberapa populasi (dua atau lebih). Apabila nilai rata-rata dari masing-masing sampel sangat berbeda antara satu dengan yang lain, maka varian antara seluruh sampel akan jauh lebih besar dibandingkan dengan varian dari satu kelompok sampel. Sehingga dapat diketahui terjadi perbedaan keausan yang signifikan apa tidak pada percobaan yang sedang dilakukan. Hipotesis penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut:

1. $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap volume keausan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)
2. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$
(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan memberikan pengaruh yang nyata terhadap volume keausan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)

Tabel 3.1 Sistematika penulisan data penelitian volume keausan

Jarak penyemprotan (mm)	Volume keausan (mm ³)			
	Pengulangan Data			Rata-rata
	1	2	3	
50	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	\bar{Y}_1
100	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	\bar{Y}_2
150	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	\bar{Y}_3
200	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	\bar{Y}_4
250	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	\bar{Y}_5

Sumber: Sudjana, 1996:303

Keterangan:

Y = Data volume keausan spesimen

Y_{ij} = Data pengamatan ke-i variasi jarak penyemprotan ke-j

Berdasarkan data-data pada tabel 3.1 dapat dihitung:

1. Nilai rata berdasarkan pengamatan seluruh sampel

$$\bar{Y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{Y}_j \quad (3-2)$$

2. Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \quad (3-3)$$

3. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \quad (3-4)$$

4. Faktor koreksi

$$FK = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n.k} \quad (3-5)$$

5. Jumlah kuadrat total:

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \quad (3-6)$$

6. Jumlah kuadrat perlakuan:

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n} - FK \quad (3-7)$$

7. Jumlah kuadrat galat

$$JKG = JKT - JKP \quad (3-8)$$

8. Kuadrat tengah perlakuan

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \quad (3-9)$$

9. Kuadrat tengah galat

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} \quad (3-10)$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari besarnya nilai F_{Hitung} sebagai berikut:

$$F_{Hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad (3-11)$$

(Sumber: Walpole, 1996: 386)

Untuk melakukan uji analisis varian, dibuat analisis varian satu arah sebagai berikut:



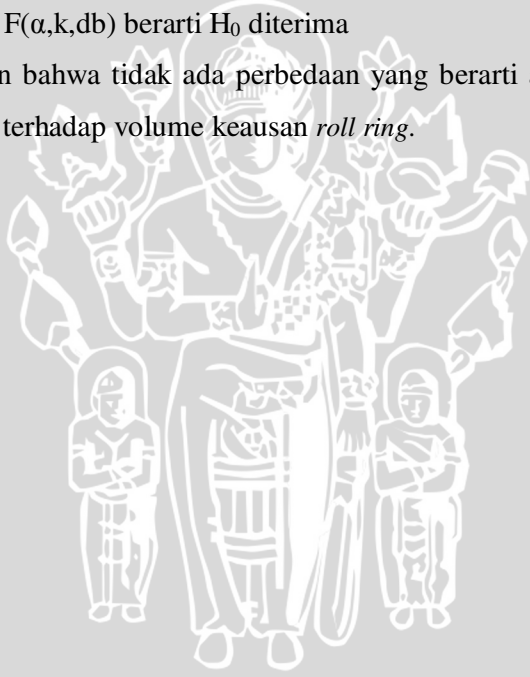
Tabel 3.2 Analisis varian satu arah

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F\{\alpha, k-1, k(n-1)\}$
Galat	k(n-1)	JKG	KTG		
Total	nk-1	JKT			

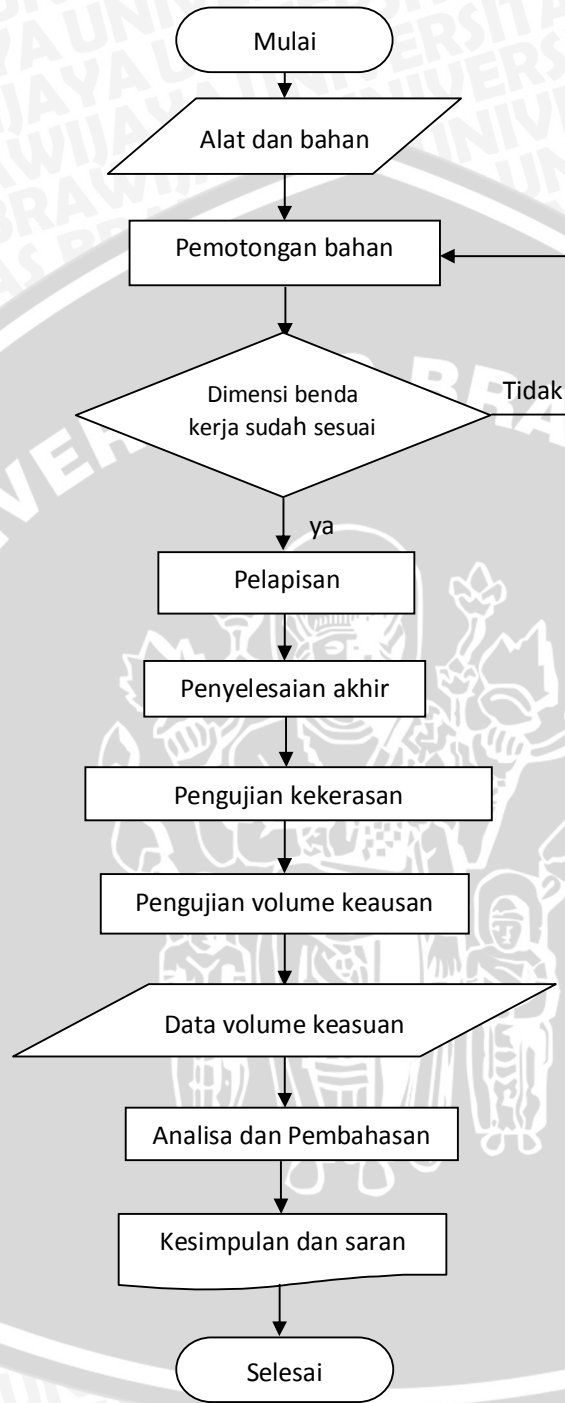
Sumber: Sudjana, 1996:307

Pengujian ada tidaknya pengaruh jarak penyemprotan terhadap volume keausan besi tuang kelabu adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} :

1. Jika $(F_{hitung}) < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak
Ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara variasi jarak penyemprotan terhadap volume keausan *roll ring*.
2. Jika $(F_{hitung}) > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima
Ini menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara variasi jarak penyemprotan terhadap volume keausan *roll ring*.



3.8 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Dari pengujian kekerasan didapatkan data kekerasan *roll ring* hasil pelapisan electric arc wire spray dengan variasi jarak penyemprotan. Seperti pada tabel 4.1-4.5.

Tabel 4.1 Data pengujian kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 50 mm.

Spesimen	Kekerasan (VHN)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
1.1	99	106	101	102
1.2	95	98	97	96,66
1.3	98	105	95	99,33

Tabel 4.2 Data pengujian kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 100 mm.

Spesimen	Kekerasan (VHN)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
2.1	112	123	115	116,66
2.2	116	120	118	118
2.3	115	122	114	117

Tabel 4.3 Data pengujian kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 150 mm.

Spesimen	Kekerasan (VHN)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
3.1	109	117	112	112,66
3.2	98	115	110	107,66
3.3	112	120	114	115,33

Tabel 4.4 Data pengujian kekerasan *roll ring* kelabu hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 200 mm.

Spesimen	Kekerasan (VHN)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
4.1	102	104	99	101,66
4.2	101	105	100	102
4.3	97	107	102	102

Tabel 4.5 Data pengujian kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 250 mm.

Spesimen	Kekerasan (VHN)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
5.1	83	84	81	82,66
5.2	84	87	83	84,66
5.3	84	90	85	86,33

Tabel 4.6 Data pengujian kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan

Jarak penyemprotan (mm)	Kekerasan (VHN)			
	Pengulangan Data			Rata-rata
	1	2	3	
50	102	96,66	99,33	99,33
100	116,66	118	117	117,22
150	112,66	107,66	115,53	111,88
200	94,66	96	95,33	95,33
250	82,66	84,66	86,33	84,55

4.1.2 Data Hasil Pengujian Volume Keausan

Pengujian volume keausan dilakukan dengan berat pembebanan 6 kg. Dan dilakukan selama 200 putaran *disk* untuk setiap pengambilan data tiap spesimen. Karena data yang didapatkan masih dalam satuan berat (gr), maka perlu dilakukan perhitungan konversi agar data berupa volume total keausan (mm^3) dengan menggunakan persamaan 3.1 dengan massa jenis (ρ) material pelapis sebesar $7,41 \text{ gr/cm}^3$.

Dari pengujian volume keausan didapatkan data-data volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan. Seperti pada tabel 4.2-4.6.

Tabel 4.7 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 50 mm.

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat awal - Berat Akhir	Volume keausan (mm ³)
1.1	216,51	216,45	0,06	8,097
1.2	210,34	210,27	0,07	9,446
1.3	211,48	211,42	0,06	8,097

Tabel 4.8 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 100 mm.

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat awal - Berat Akhir	Volume keausan (mm ³)
2.1	216,37	216,35	0,03	4,048
2.2	211,56	211,52	0,04	5,398
2.3	212,75	212,72	0,03	4,048

Tabel 4.9 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 150 mm.

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat awal - Berat Akhir	Volume keausan (mm ³)
3.1	211,46	211,43	0,03	4,048
3.2	208,78	208,74	0,04	5,398
3.3	211,68	211,64	0,04	5,398

Tabel 4.10 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 200 mm.

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat awal - Berat Akhir	Volume keausan (mm ³)
4.1	214,37	214,31	0,05	6,747
4.2	211,69	211,62	0,05	6,747
4.3	214,58	211,51	0,06	8,907

Tabel 4.11 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan 250 mm.

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat awal - Berat Akhir	Volume keausan (mm ³)
5.1	206,50	206,45	0,07	9,446
5.2	214,63	214,54	0,09	12,145
5.3	216,57	216,49	0,08	10,796

Tabel 4.12 Data pengujian volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray* dengan variasi jarak penyemprotan

Jarak penyemprotan (mm)	Volume Keausan (mm ³)			
	Pengulangan Data			Rata-rata
	1	2	3	
50	8,097	9,446	8,097	8,546
100	4,048	5,398	4,048	4,498
150	4,048	5,398	5,398	4,948
200	6,747	6,747	8,907	7,467
250	9,446	12,145	10,796	10,79

4.2 Analisa varian satu arah

4.2.1 Analisa varian satu arah kekerasan

Tabel 4.13 penulisan data hasil pengujian kekerasan dengan variasi jarak penyemprotan

Jarak penyemprotan \ Pengulangan	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	Σ
	1	102	116,66	112,66	101,66	82,66
2	96,66	118	107,66	102	84,66	
3	99,33	117	115,33	102	86,33	
Jumlah	297,99	351,66	335,85	305,66	253,65	1544,61
Rata-rata	99,33	117,22	111,88	101,88	84,55	

Dari data yang telah diperoleh pada tabel 4.13 kemudian dilakukan analisa varian satu arah. Dengan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi jarak penyemprotan pada benda kerja hasil pelapisan *electric arc wire spray* terhadap kekerasan. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ dan μ_5 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

$$1. H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekerasan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)

$$2. H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekerasan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)

Untuk mengetahui apakah F_{Hitung} lebih besar atau lebih kecil daripada F_{Tabel} maka perlu dilakukan perhitungan statistik ($\alpha = 0,05$; $n = 3$; $k = 5$)

1. Nilai rata berdasarkan pengamatan seluruh sampel

$$\bar{Y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{Y}_j = \frac{1}{5} (99,33 + 117,22 + 111,88 + 101,88 + 84,55) = 102,974$$

2. Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\ &= 102 + 96,66 + 99,33 + 116,66 + 118 + 117 + 112,66 + 107,66 + 115,33 + 101,66 \\ &\quad + 102 + 102 + 82,66 + 84,66 + 86,33 = 1544,61 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\ &= 102^2 + 96,66^2 + 99,33^2 + 116,66^2 + 118^2 + 117^2 + 112,66^2 + 107,66^2 + 115,33^2 + \\ &\quad 101,66^2 + 102^2 + 102^2 + 82,66^2 + 84,66^2 + 86,33^2 = 161015,7 \end{aligned}$$

4. Faktor koreksi

$$\begin{aligned} FK &= \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n.k} \\ &= \frac{(1544,61)^2}{3.5} = 159054,7 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \\ &= 161015,7 - 159054,7 = 1961 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat perlakuan:

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n} - FK$$

$$= \frac{297,99^2 + 351,66^2 + 335,85^2 + 305,66^2 + 253,65^2}{3} - 159054,7 = 1908,689$$

7. Jumlah kuadrat galat

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 1961 - 1908,689 = 52,37$$

8. Kuadrat tengah perlakuan

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{1908,689}{4} = 477,17$$

9. Kuadrat tengah galat

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{52,37}{10} = 5,237$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari besarnya nilai F_{Hitung} sebagai berikut:

$$F_{Hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{477,17}{5,237} = 91,1$$

Untuk melakukan uji analisa varian, dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Analisis varian kekerasan

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	1908,689	514,6847	91,1	$F(0,05,4,10) = 3,48$
Galat	10	52,37	5,237		
Total	14	1961			

Berdasarkan tabel 4.14 dapat disimpulkan bahwa

$F_{Hitung} > F_{Tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada pengaruh yang nyata antara variasi jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* terhadap kekerasan *roll ring*.

4.2.2 Analisa varian satu arah volume keausan

Tabel 4.15 Penulisan data hasil pengujian volume keausan dengan variasi jarak penyemprotan

Jarak penyemprotan \ Pengulangan	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	Σ
1	8,097	4,048	4,048	6,747	9,446	
2	9,446	5,398	5,398	6,747	12,145	
3	8,097	4,048	5,398	8,907	10,796	
Jumlah	25,64	13,494	14,844	22,401	32,387	108,766
Rata-rata	8,546	4,498	4,948	7,467	10,79	

Dari data yang telah diperoleh pada tabel 4.15 kemudian dilakukan analisa varian satu arah. Dengan analisa varian satu arah akan diketahui ada tidaknya pengaruh variasi jarak penyemprotan pada benda kerja hasil pelapisan *electric arc wire spray* terhadap kekerasan. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ dan μ_5 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

1. $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap volume keausan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)
2. $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$
(Menyatakan bahwa variasi jarak penyemprotan memberikan pengaruh yang nyata terhadap volume keausan *roll ring* pada proses pelapisan *electric arc wire spray*)

Untuk mengetahui apakah F_{Hitung} lebih besar atau lebih kecil daripada F_{Tabel} maka perlu dilakukan perhitungan statistik ($\alpha = 0,05$; $n = 3$; $k = 5$)

1. Nilai rata berdasarkan pengamatan seluruh sampel

$$\bar{Y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{Y}_j = \frac{1}{5} (8,546 + 4,498 + 4,948 + 7,467 + 10,79) = 7,251$$

2. Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$$

$$= 8,097 + 9,446 + 8,097 + 4,048 + 5,398 + 4,048 + 4,048 + 5,398 + 5,398 + 6,747$$

$$+ 6,747 + 8,907 + 9,446 + 12,145 + 10,796 = 108,766$$

3. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\
 &= 8,097^2 + 9,446^2 + 8,097^2 + 4,048^2 + 5,398^2 + 4,048^2 + 4,048^2 + 5,398^2 + 5,398^2 + \\
 &6,747^2 + 6,747^2 + 8,097^2 + 9,446^2 + 12,145^2 + 10,796^2 = 880,5841
 \end{aligned}$$

4. Faktor koreksi

$$\begin{aligned}
 FK &= \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n.k} \\
 &= \frac{(108,766)^2}{3.5} = 788,6695
 \end{aligned}$$

5. Jumlah kuadrat total:

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - FK \\
 &= 880,5841 - 788,6695 = 91,914
 \end{aligned}$$

6. Jumlah kuadrat perlakuan:

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{n} - FK \\
 &= \frac{25,64^2 + 13,494^2 + 14,844^2 + 22,401^2 + 32,387^2}{3} - 788,6695 = 81,518
 \end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat galat

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKP \\
 &= 91,914 - 81,518 = 10,3959
 \end{aligned}$$

8. Kuadrat tengah perlakuan

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{81,518}{4} = 20,379$$

9. Kuadrat tengah galat

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{10,3959}{10} = 1,03959$$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari besarnya nilai F_{Hitung} sebagai berikut:

$$F_{Hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{20,379}{1,03959} = 19,6035$$

Untuk melakukan uji analisa varian, dibuat tabel analisa varian satu arah seperti pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Analisis varian

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	4	81,518	20,379	19,603	F(0,05,4,10) = 3,48
Galat	10	10,3959	1,03959		
Total	14	91,914			

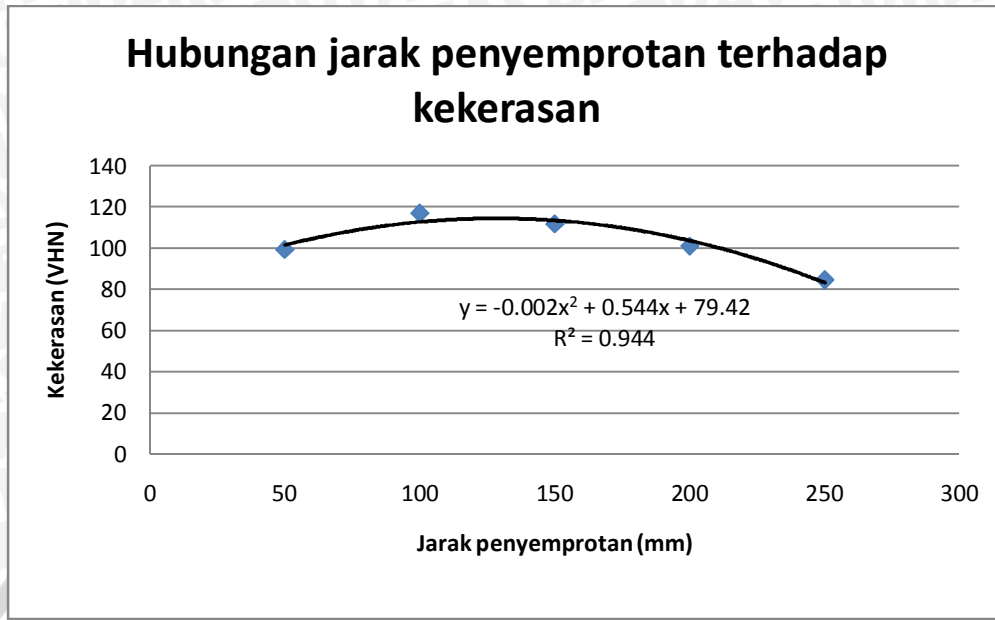
Berdasarkan tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa

$F_{Hitung} > F_{Tabel}$ berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya menyatakan bahwa ada pengaruh yang nyata antara variasi jarak penyemprotan pada proses pelapisan *electric arc wire spray* terhadap volume keausan *roll ring*.

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Pengaruh Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Kekerasan *Roll Ring* Hasil Pelapisan *Electric Arc Wire Spray*.

Dari hasil pengujian kekerasan, maka didapatkan harga kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*. Untuk mempermudah menganalisa maka data hasil pengujian kekerasan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara variasi jarak penyemprotan dengan kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*.



Gambar 4.1 Grafik hubungan variasi jarak penyemprotan terhadap kekerasan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*

Dengan menggunakan berbagai variasi jarak penyemprotan (50 mm s/d 250 mm) yang digunakan selama proses pelapisan *electric arc wire spray* akan mempengaruhi kekerasan *roll ring*. Bila jarak penyemprotan diperbesar, maka kekerasan *roll ring* akan naik sampai pada titik tertentu kemudian akan turun seiring dengan bertambahnya jarak penyemprotan membentuk kurva melengkung keatas, seperti yang nampak pada gambar 4.1.

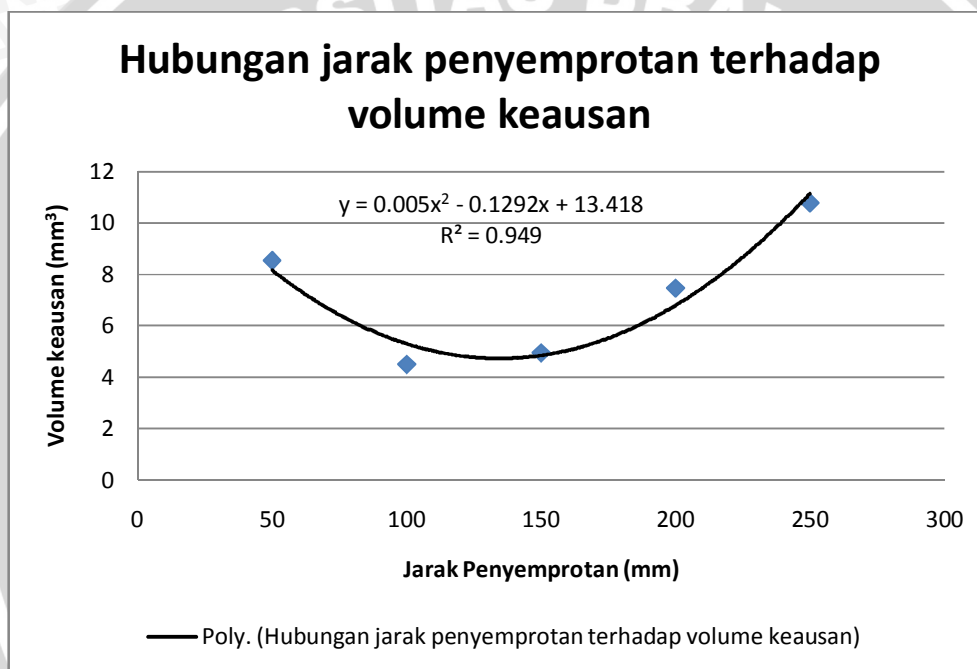
Pada gambar 4.1 tampak pada saat jarak penyemprotan berubah dari 50 mm menjadi 100 mm, kekerasan rata-rata *roll ring* yang semula 99,33 VHN naik menjadi 117,22 VHN. Dan ketika jarak penyemprotan diperbesar lagi hingga menjadi 250 mm, kekerasan rata-rata *roll ring* akan terus mengalami penurunan hingga menjadi 84,55 VHN. Kekerasan maksimum sebesar 116,412 VHN terjadi pada jarak penyemprotan 136 mm.

Hal ini terjadi karena pada jarak penyemprotan yang dekat, partikel logam pelapis menumbuk permukaan substrat dengan kecepatan impact yang tinggi dan dengan luasan penyemprotan yang lebih sempit akan menghasilkan lapisan dengan kepadatan yang tinggi sehingga lapisan yang terbentuk mempunyai kekerasan yang tinggi. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek, ekspansi panas yang besar pada lapisan dan logam substrat dapat menimbulkan tegangan sisa pada lapisan sehingga mengakibatkan kekerasan lapisan yang terbentuk rendah. Sedangkan pada jarak penyemprotan yang jauh, energi impact partikel yang rendah dan luasan penyemprotan

yang lebih besar menghasilkan kepadatan lapisan yang rendah sehingga kekerasan lapisan yang terbentuk juga rendah.

4.3.2 Pengaruh Variasi Jarak Penyemprotan Terhadap Volume Keausan *Roll Ring* Hasil Pelapisan *Electric Arc Wire Spray*.

Dari hasil pengujian pin on disk, maka didapatkan harga volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*. Untuk mempermudah menganalisa maka data hasil pengujian volume keausan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara variasi jarak penyemprotan dengan volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*.



Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi jarak penyemprotan terhadap volume keausan *roll ring* hasil pelapisan *electric arc wire spray*

Dengan menggunakan berbagai variasi jarak penyemprotan (50 mm s/d 250 mm) yang digunakan selama proses pelapisan *electric arc wire spray* akan mempengaruhi kualitas permukaan *roll ring*. Bila jarak penyemprotan diperbesar, maka volume keausan *roll ring* akan turun sampai pada titik tertentu kemudian akan naik seiring dengan bertambahnya jarak penyemprotan, seperti yang nampak pada gambar 4.2.

Pada gambar 4.2 tampak pada saat jarak penyemprotan berubah dari 50 mm menjadi 100 mm, volume keausan rata-rata *roll ring* yang semula 8,546 mm³ turun menjadi 4,498 mm³. Dan ketika jarak penyemprotan diperbesar lagi hingga menjadi 250 mm, volume keausan rata-rata *roll ring* mengalami akan terus mengalami kenaikan

hingga menjadi $10,79 \text{ mm}^3$. Volume keausan minimum sebesar $5,0716 \text{ mm}^3$ terjadi pada jarak penyemprotan $129,2 \text{ mm}$.

Pada jarak penyemprotan yang dekat, volume keausan lapisan yang terjadi rendah, karena kekerasan lapisan yang terbentuk tinggi, hal ini disebabkan pada jarak penyemprotan yang dekat partikel logam pelapis menumbuk permukaan substrat dengan kecepatan impact yang tinggi dan dengan luasan penyemprotan yang lebih sempit sehingga lapisan yang terbentuk mempunyai densitas yang tinggi. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek, ekspansi panas yang besar pada lapisan dan logam substrat mengakibatkan keretakan pada lapisan akibat tegangan sisa pada lapisan sehingga mengakibatkan volume keausan yang terjadi besar. Sedangkan pada jarak penyemprotan yang jauh, energi impact partikel yang rendah dan luasan penyemprotan yang lebih besar menghasilkan kepadatan lapisan yang rendah sehingga kekerasan lapisan yang terbentuk juga rendah yang mengakibatkan volume keausan yang terjadi menjadi besar.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Pada proses pelapisan *electric arc wire spray*, dengan menggunakan variasi jarak penyemprotan (50 mm s/d 250 mm). Bila jarak penyemprotan diperbesar dari 100 mm sampai 250 mm, volume keausan yang terjadi akan meningkat dari 4,498 mm³ menjadi 10,79 mm³. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek yakni 50 mm, volume keausan yang terbentuk tinggi yaitu sebesar 8,546 mm³. Volume keausan minimum sebesar 5,07168 mm³ terjadi pada jarak penyemprotan 129,2 mm.

Hal ini disebabkan pada jarak penyemprotan yang dekat, partikel logam pelapis menumbuk permukaan substrat dengan kecepatan impak yang tinggi dan dengan luasan penyemprotan yang lebih sempit akan menghasilkan lapisan dengan kepadatan yang tinggi sehingga lapisan yang terbentuk mempunyai kekerasan yang tinggi, kekerasan yang tinggi ini mengakibatkan lapisan mempunyai ketahanan aus yang baik sehingga volume keausan yang terjadi kecil. Akan tetapi pada jarak penyemprotan yang terlalu pendek, ekspansi panas yang besar pada lapisan dan logam substrat dapat menimbulkan tegangan sisa pada lapisan sehingga mengakibatkan kekerasan lapisan yang terbentuk rendah sehingga volume keausan yang terjadi besar. Sedangkan pada jarak penyemprotan yang jauh, energi impak partikel yang rendah dan luasan penyemprotan yang lebih besar menghasilkan kepadatan lapisan yang rendah sehingga kekerasan lapisan yang terbentuk juga rendah yang mengakibatkan volume keausan yang terjadi menjadi besar.

5.2 Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik mikrostruktur pada proses serupa, guna menunjang dan memperlengkap hasil penelitian.
- Untuk mendapatkan karakteristik lapisan yang lebih keras dan mempunyai ketahanan aus yang baik, disarankan menggunakan metode *HVOF spraying*.

- Pada saat melakukan penelitian hendaknya sangat diperhatikan pengontrolan terhadap variabel bebas, karena dengan pengontrolan yang baik akan diperoleh hasil penelitian yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Alkhimov, Anatolii. 2008. *Coldspray Technology*. Amsterdam: Elsevier
- Anonymous. 1985. *Thermal Spraying Coating*. New York: Metco, Ltd
- Anonymous. 2009. *Thermal Spray*. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_spray (diakses 6 Desember 2009)
- Anonymous, 2009. *Wear Resistance*. www.gordonengland.co.uk/wear.htm (diakses 6 Desember 2009)
- Arthur, W.R. 1993. *Tribology: Wear Test Selection for Design and Application*. New York: Madison Ave
- Bayer, R.G. 2004. *Mechanical Wear Fundamentals and Testing*. New York: Madison Ave
- Bhusan, B & Gupta, B.K. 1991. *Handbook of Tribology: Material, Coating and Surface Treatment*. New York: Mc. Graw Hill, Inc
- Dallaire. 1999. *Engineering and Design Thermal Spray: New Construction and Maintenance*. Boston: Butterworth Heinmann
- Dobler, 2003. *Thermal Spray Coating characteristic*: England: John Wiley.
- Dumovic, Milo. 2002. *Repair and Maintenance Procedures for Heavy Machinery Component*. 50th WTIA Annual Conference held in Sydney Australia
- Gunawan, Setia. 2008. *Kinematika Gerak Lurus*. Jakarta: Departemen Pendidikan Republik Indonesia
- Grainger, 1998. *Adhesion and cohesion partikel*. New York: Mc. Graw Hill, Inc.
- Grujicic, M & Zhao, C.L. 2004. *Analysis of the Impact Velocity of Powder in the Cold-Gas Dynamic Spray Process*. *Materials Science and Engineering A368* (2004) 222–230
- Hamatani, I. 2002. *Mechanical and Thermal Properties of HVOF Sprayed*. *Science and Technology of Advanced Materials* 3 (2002) 319–326
- Herman yuwono, Akhmad. 2009. *Buku Panduan Karakterisasi Material Pengujian Merusak*. Universitas Indonesia
- I. C, Seung and H. Lee, Kyong. 2008. *Analytical Modelling to Calculate the Hardness of Ultra-Fine WC-Co Cemeneted Carbides*. *Material Science and Engineering A* 489 (2008) 234-244
- Ingham, H.S and Shepard. 1964. *Flame Handbook (Vol. 11 Powder Process)*. New York: Metco, Ltd

- Knotek. 2001. *Handbook of thermal spray for manufacturing*. New delhi: Mc. Graw Hill, Inc
- Kuroda, Seiji and Kawakita, Jin. 2009. *Coating Process Based on High Velocity Impact of Solid Particles*. Sci. Technol. Adv. Mater. **9** (2008) 033002 (17pp)
- Longo, F.H. 1986. *Handbook of Product Design for Manufacturing: Thermal Sprayed Coating*. New Jersey: Mc Graw Hill, Inc
- Merkle, Brian. 2007. *ASTM G65 Wear Resistance An Industry Benchmark*. Nano Steel Company, Inc USA
- Pawloski, Lech. 2008. *The Science and Engineering of Thermal Spray Coating*. England: John wiley & sons, Ltd
- Rahim, Abdul. 2008. *The Effect Plasma Spray Variables on the Development of Ceramic Coating*. University Sains Malaysia
- Richard, L. 1983. *Metal Working Technology*. New delhi: Mc. Graw Hill, Inc
- Valialis, AV. 2003. *Influence Velocity on the Arc Spraying Coating Adhesion*. ISSN 1392–1320 MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA). Vol. 9, No. 4. 2003
- Van Rodijnen, F. 2006. *Low Energy Arc Spraying for Application in the Capacitor Industry*. New Jersey: Mc Graw Hill, Inc
- Wallpole, Ronald E. 1992. *Pengantar Statistika*. Jakarta: Gramedia

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian Keausan



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

Nama : Dwi April Yanto
 NIM : 0610620044
 Jurusan : Teknik Mesin Unibraw

DATA HASIL PENGUJIAN KEAUSAN

Hari / Tanggal : 12 April 2010
 Jenis mesin : Pin On Disk Tribometer
 Merk :
 Bahan yang diuji: **Bronze**

Specimen	Berat awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Jumlah putaran	Frekuensi
1	216.51	216.45	200	24 Hz 350 rpm
2	216.37	216.35	200	
3	211.46	211.43	200	
4	214.37	211.33	200	
5	206.50	206.45	200	

Specimen	Berat awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Jumlah putaran	Frekuensi
1	210.34	210.37	200	24 Hz 350 rpm
2	211.56	211.52	200	
3	208.78	208.74	200	
4	211.69	211.62	200	
5	214.63	214.54	200	

Specimen	Berat awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Jumlah putaran	Frekuensi
1	211.48	211.42	200	24 Hz 350 rpm
2	212.75	212.72	200	
3	211.68	211.64	200	
4	214.58	214.51	200	
5	216.57	216.49	200	

Malang, 12 April 2010
 Kepala Laboratorium

Ir. H. Basuki Widodo, MT
 NIP. : 1018100037

F-table 0.05

file:///i:/baru, wire spray 10 jan 2010/f005.html

1 of 2

04/08/2010 18:45

Table of F-statistics P=0.05

t-statistics
F-statistics with other P-values: P=0.01 | P=0.001
Chi-square statistics

df2\df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	> 1000	df1\df2
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58	8.57	8.57	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	3	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.68	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	4	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.42	4.42	4.41	4.39	4.37	4.36	5	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	6	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	3.23	7	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	2.93	8	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75	2.74	2.71	2.71	9
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.61	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	2.54	10
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.46	2.43	2.42	2.41	2.41	11
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.37	2.36	2.33	2.32	2.31	2.30	2.30	12
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21	2.21	13
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.20	2.19	2.16	2.14	2.14	2.13	14
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.15	2.12	2.10	2.08	2.07	2.07	15	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.09	2.08	2.07	2.04	2.02	2.02	2.01	16
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.05	2.03	2.02	1.99	1.97	1.96	1.96	17
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00	1.99	1.98	1.95	1.93	1.92	1.92	18
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	1.88	19
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95	1.93	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.84	20
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85	1.82	1.80	1.79	1.78	22
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.86	1.84	1.83	1.82	1.80	1.77	1.75	1.74	1.73	24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.70	1.69	26
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.81	1.80	1.79	1.77	1.75	1.74	1.73	1.69	1.67	1.66	28	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.71	1.70	1.66	1.64	1.63	1.62	30
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.85	1.83	1.82	1.80	1.79	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.57	1.56	1.56	35
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.55	1.53	1.52	1.51	40

Lampiran 3. Data Hasil pengujian Kekerasan



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

Nama : Dwi April Yanto
 NIM / Jurusan : 0610620044 / Teknik Mesin
 Hari / Tanggal : 12 April 2010
 Micro Vickers Hardness Tester
 Code No. : 810 – 100E
 Serial No. : 555186
 Model : Mitutoyo MVK – E3 Akashi Corporation Japan
 Timer : 10 detik
 Beban : 100 gf
 Identor : Diamond 136 °

Specimen	Kekerasan (VHN)			
	Point 1	Point 2	Point 3	Rata-Rata
1.1	99	106	101	102
1.2	95	98	97	96.66
1.3	98	105	95	99.33
2.1	112	123	115	116.66
2.2	116	120	118	118
2.3	115	122	114	117
3.1	109	117	112	112.66
3.2	98	115	110	107.66
3.3	112	120	114	115.33
4.1	102	104	99	101.66
4.2	101	105	100	102
4.3	97	107	102	102
5.1	83	84	81	82.66
5.2	84	87	83	84.66
5.3	84	90	85	86.33

Malang, 12 April 2010
 Kepala Laboratorium

Ir. H. Basuki Widodo, MT
 NIP. : 1018100037