

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Arthana, Widiyarta dan Suardana (2014). Peneliti menganalisis ketahanan aus lapisan Ni-Cr pada dinding silinder liner dengan menggunakan *powder flame spray coating*. Dari percobaan tersebut peneliti menunjukkan bahwa setelah dilakukan penelitian tentang ketahanan aus lapisan Ni-Cr pada dinding silinder liner menggunakan powder flame spray dengan teknik XRF, mikroskop optik, SEM, uji kekerasan dan keausan didapatkan hasil kekerasan permukaan yang cukup signifikan yaitu sebesar 536 HV dan 206 HV tanpa pelapisan. Perbedaan ketebalan lapisan tidak mempengaruhi dari nilai kekerasan pada permukaan benda uji. Volume keausan benda uji yang dilapiskan menunjukkan nilai sebesar $12,4 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ dibandingkan dengan tanpa pelapisan sebesar $67,5 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. Benda uji yang memiliki kekerasan lebih tinggi menunjukkan nilai *Coefficient of Friction* yang lebih rendah.

Tabel 2.1. Kekerasan hasil pelapisan

Sample	HV (kg/mm ²)
Substrat Material tanpa pelapisan	±206
Ketebalan Lapisan 200 µm (4 kali pass)	±537
Ketebalan Lapisan 400 µm (8 kali pass)	±538
Ketebalan Lapisan 600 µm (12 kali pass)	±536

Pada tabel 2.1. menunjukkan ketebalan lapisan tidak terlalu mempengaruhi

kekerasan lapisan. Pada percobaan tersebut peneliti menyebutkan material dan proses pelapisan yang dilakukan sama sehingga karakteristik hasil pelapisan hampir seragam. Pada penelitian ini menggunakan metode penyemprotan yaitu 4 kali pass, 8 kali pass dan 12 kali pass untuk menghasilkan ketebalan lapisan yang berbeda.

Tabel 2.2. Hasil uji keausan

SAMPLE	Volume (mm ³)
Substrat Material tanpa pelapisan	$67,5 \times 10^{-3}$
Ketebalan Lapisan 200 μm	12×10^{-3}
Ketebalan Lapisan 400 μm	$12,5 \times 10^{-3}$
Ketebalan Lapisan 600 μm	$12,3 \times 10^{-3}$

Peneliti menyebutkan hasil uji keausan ditunjukkan Pada Tabel 2.2. volume keausan untuk material tanpa pelapisan memiliki nilai yang besar jika dibandingkan dengan material *as-coated* yaitu $67,5 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. Sedangkan perbedaan ketebalan lapisan tidak terlalu signifikan terhadap volume keausan yang terjadi dengan nilai rata-rata sebesar $12,3 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. Hal tersebut menunjukkan dengan dilakukan pelapisan menggunakan unsur paduan lapisan Ni-Cr mampu meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus permukaan liner. Kekerasan yang tinggi juga mempengaruhi tingkat ketahanan aus material.

Putra (2017) juga melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan gas proses *twin wire arc spray*. Penelitian ini menggunakan substrat *grey cast iron* FC 25 dan feedstock FeCrMnNiCSi untuk mengetahui sifat mekanik dan morfologi lapisan. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil pengujian kekerasan mikro yang dihasilkan semakin tinggi dengan titik tertinggi pada

tekanan 6 bar menunjukkan nilai sebesar 639,8 HV. Pada variasi tekanan 6 bar juga di peroleh nilai ketahanan abrasi tertinggi yaitu sebesar 29,66 rotasi/mg. Nilai kekuatan adhesi pada variasi tekanan 4 bar menunjukkan nilai yang optimum dibandingkan dengan variasi tekanan lain yaitu sebesar 15,02 MPa. Kekerasan yang tinggi juga mempengaruhi tingkat ketahanan aus material.

Penelitian lainya juga dilakukan oleh Sukma, Rahmalina, Salam (2016). Peneliti menganalisis peningkatan kekerasan permukaan material dengan paduan lapisan WC – Co – Cr menggunakan *metodhe High Velocity Oxy Fuel* dan komposit matriks aluminium sebagai substratnya. Pada percobaan yang dilakukan peneliti hasil pengujian kekerasan pada pelat komposit menunjukan peningkatan nilai kekerasan disbanding material tanpa *coating* yang memiliki kekerasan 39 HRB. Sedangkan penggunaan material *coating* 88WC-12Co menghasilkan nilai kekerasan 71 HRB. Untuk material *coating* 83WC-17Co nilai kekerasan 87 HRB. Dan untuk material *coating* 86WC – 10Co4Cr nilai kekerasan adalah 87 HRB. Didapatkan kesimpulan bahwa paduan material *coating* dengan tambahan unsur Wc dan Cr semakin menambah nilai kekerasan material.

2.2. Baja Dan Unsur Material Lainnya.

Baja merupakan salah satu jenis logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya dan masih banyak unsur paduan lainnya. Pada baja kandungan unsur karbonya berkisar antara 0,2

Wt % hingga 2.1 Wt % sesuai gradenya. Secara umum fungsi karbon dalam baja merupakan unsur penguat yang mencegah dislokasi bergeser pada kisi Kristal (*crystal lattice*) atom besi.

Unsur logam lain yang biasa menjadi paduan baja selain karbon antara lain titanium, krom, nikel, vanadium, kobalt, tembaga, aluminium, mangan, silikon, molibdenum, tungsten dan masih banyak lagi unsur paduannya lainnya. Dengan memadukan unsur karbon dan unsur logam paduan lainnya, berbagai jenis karakteristik dan sifat mekanik baja didapatkan. Secara umum sifat dari karbon adalah semakin kandungannya ditambah pada komposisi paduan baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun keuletannya juga semakin menurun.

2.2.1. Jenis Jenis Baja

Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu:

a) Baja Karbon

Disebut juga *plain karbon steel*, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silikon, belerang dan fosfor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi:

- Baja dengan kadar karbon rendah ($< 0,2 \% C$)
- Baja dengan kadar karbon sedang ($0,1\%-0,5 \% C$)
- Baja dengan kadar karbon tinggi ($>0,5 \% C$)

Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar

karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun.

Penggunaan baja di bidang industri pada umumnya berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon 0,10% - 0,50%. Selain itu baja karbon pada dunia industry digunakan untuk peralatan pemesian seperti roda gigi, shaft, bantalan, poros, turbin, cutting, dan lain lain. Dengan kadar karbon 0,2 % s/d 0,90 %. Pada dunia industri kegunaan baja karbon sangat bermacam – macam tergantung aplikasi dan kebutuhannya. Seperti baja karbon rendah untuk *tools*, *cutting*. Baja karbon sedang untuk roda gigi, shaft, poros. Baja karbon rendah untuk bantalan, sudu turbin, dll.

b) Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Disebut baja paduan karena unsur-unsur paduannya memiliki komposisi secara khusus. Perbedaan yang mendasar antara baja karbon dan baja paduan terletak pada dominasi unsur dalam suatu baja. Jika yang mendominasi sifat fisik dan mekanik adalah prosentase atau kadar karbon maka dapat disebut sebagai baja karbon, sedang bila yang mendominasi sifat fisik dan mekanik adalah unsur paduan (selain unsur karbon) maka dapat disebut sebagai baja paduan. Unsur paduan yang paling umum digunakan antara lain: *Cr* (*chromium*), *Mn* (mangan), *Si* (*silicon*), *Ni* (nikel), *W* (*tungsten*), *Mo* (*molybdenum*), *Ti* (titanium), *Al* (aluminium), *Cu* (*cooper*), dan *Zn* (seng). Penambahan unsur paduan tersebut dapat dilakukan dengan satu atau lebih unsur,

tergantung dari karakteristik atau sifat khusus yang dikehendaki. Penambahan unsur paduan tersebut bertujuan untuk menaikkan sifat mekanik baja (Kekerasan, Kekuatan tarik, dsb), untuk menaikkan sifat mekanik pada temperature rendah, untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi atau reduksi), dan untuk membuat sifat sifat special.

2.2.2. Unsur Material Lainnya.

a. *Nickel (Ni)*

Nikel adalah salah satu unsur kimia yang berbentuk metal, nikel juga sering dijadikan sebagai paduan pada macam-macam baja. Nikel ditemukan pertama kali oleh A.F. Cronstedt pada tahun 1751. Mempunyai ciri khas yaitu berwarna putih keperak-perakan yang berkilau. Dalam tabel periodic nikel memiliki symbol Ni dan nomor atom 28. Bersifat keras dan mulur (dapat ditarik). Mudah ditempa, sedikit ferromagnetis dan merupakan konduktor yang agak baik terhadap panas dan listrik, karena sifatnya yang fleksibel tersebut dan mempunyai karakteristik yang unik seperti ketahanannya terhadap oksidasi, kemampuannya yang mampu mempertahankan sifat aslinya dibawah suhu tinggi nikel sering digunakan sebagai pembentukan logam campuran (alloy dan super alloy), baja tidak berkarat (stainless steel) dan campuran pada peralatan-peralatan industry (Brady, 1994).

b. Chromium (Cr)

Chromium merupakan salah satu logam mineral yang keberadaannya dapat ditemukan melimpah dalam lapisan bumi. Krom ini sering ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral. Ditemukan oleh analisis dari perancis bernama Louis Nicholas Vauguelin pada tahun 1797. Nama kromium berasal dari kata Yunani “kroma” yang artinya yaitu “warna” karena banyaknya senyawa berbeda warna yang diperlihatkan material ini. Kromium memiliki nomor atom 24 dalam tabel periodic. Karakteristik krom ini adalah bersifat keras, ketahanan terhadap oksidasi. Kromium tidak larut dalam asam sehingga kromium ini tahan terhadap karat. Karena sifat dan karakteristiknya tersebut penggunaan kromium ini secara luas digunakan dalam penyepuhan, penyamakan kulit, dan sebagai pelapisan, pengisi stainless steel dan pelapisan terhadap peralatan peralatan otomotif dan perlengkapan tertentu.

Pelapisan krom dibedakan menjadi dua yaitu krom dekoratif dan krom keras. Untuk krom dekoratif mempunyai ketebalan berkisar 0.25-0.5 mikrometer, menghasilkan penampilan yang cemerlang dan berkilau. Lapisan krom dekoratif ini tahan terhadap abrasi dan sering digunakan untuk spare part otomotif dan alat medis. Sedangkan untuk pelapisan krom keras memiliki ketebalan berkisar 0.1-0.3 milimeter. Lebih tahan terhadap karat, dihasilkan lapisan yang keras sehingga lebih tahan terhadap abrasi. Lapisan

hard krom digunakan untuk aplikasi pada peralatan yang membutuhkan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

c. Boron (B)

Boron merupakan suatu unsur kimia yang memiliki lambing B dalam tabel periodic dan memiliki nomer atom 5. Unsur boron tidak ditemukan di alam, biasanya ditemukan dalam sumber mata air gunung berapi sebagai asam *orthoboric* (Anwardah, 2017). Boron merupakan unsur non logam dan mempunyai warna hitam. Boron adalah elemen yang memiliki sifat kuat dan sangat keras, memiliki nilai 9 dalam skala mohs, sangat tahan terhadap panas, dimana titik leburnya mencapai 2000° C. Dalam bentuk kristalnya boron adalah elemen terkuat kedua dari semua elemen pada skala mohs dibawah intan. Secara besar boron digunakan pada dunia nuklir, untuk mengendalikan reaksi nuklir, dipadukan dengan baja atau direaksikan dengan karbon atau titanium digunakan pada batang kontrol untuk reactor nuklir. Dan penggunaan boron sering di reaksikan dengan oksigen, karbon, nitrogen atau hydrogen untuk memodifikasi sifatnya. Seperti boron oksida digunakan dalam pembuatan gelas. *Boron nitride* digunakan pada peralatan dengan suhu tinggi dan boron karbida digunakan dalam pelindung tanki dan rompi anti peluru (David, 2000).

d. Tungsten Carbide (WC)

Tungsten karbida dengan rumus kimia WC adalah suatu senyawa kimia anorganik (terutama karbida) mengandung bagian yang sama dari atom tungsten dan atom karbon. Tungsten karbida mempunyai bentuk serbuk abu-abu yang halus tetapi tungsten karbida dapat digunakan dalam industry pemesinan, alat pemotong, gerinda, dll, serta perhiasan. Secara historis mengacu pada wolfram (wolf rahm, bijih wolfromite yang ditemukan oleh peter woulfe yang kemudian dikarburasi dan disementasi dengan menciptakan pengikat komposit yang kini disebut “sementasi tungsten carbide”. WC memiliki titik lebur tinggi yaitu lebih dari 2800°C. tungsten karbida sangat keras dengan nomor 9 pada skala mohs dan mempunyai kekerasan 1700-2400 HVN.

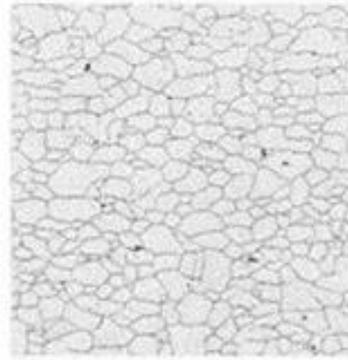
e. Titanium Carbide (TiC)

Titanium Carbide merupakan suatu senyawa kimia dengan rumus TiC. Titanium karbida merupakan material yang sangat keras dengan nilai 9 dalam skala mohs sama dengan tungsten karbida. TiC memiliki mempunyai penampilan serbuk hitam yang berbentuk kristal, Kristal TiC dapat ditemukan di alam dengan ukuran mulai 0,1-0,3 mm. Titanium karbida sering digunakan untuk campuran paduan pada alat potong karena memiliki sifat karakteristik seperti tahan terhadap suhu tinggi dengan titik lebur mencapai 3160°C, konduktivitas panas rendah untuk mencegah / mengurangi peningkatan suhu, kompatibilitas dan dapat mengikat

untuk mencegah terjadinya mengelupas atau spalling, tingkat porositas yang kecil dalam lapisan untuk menjaga integritas dan kekuatan alat potong, sehingga alat – alat potong yang dilakukan pelapisan atau ditambahkan unsur titanium karbida dapat meningkatkan umur pakai peralatan.

2.3. Struktur Mikro Baja Karbon

Baja karbon rendah atau sangat rendah, banyak digunakan untuk proses pembentukan logam lembaran, misalnya untuk badan dan rangka kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Baja jenis ini dibuat dan diaplikasikan dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrite. Ferrite adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet. Baja karbon rendah umumnya memiliki kadar karbon di bawah komposisi eutectoid dan memiliki struktur mikro hampir seluruhnya ferrite. Pada lembaran baja kadar karbon sangat rendah atau ultra rendah, jumlah atom karbon-nya bahkan masih berada dalam batas kelarutannya pada larutan padat sehingga struktur mikronya adalah ferrite seluruhnya.

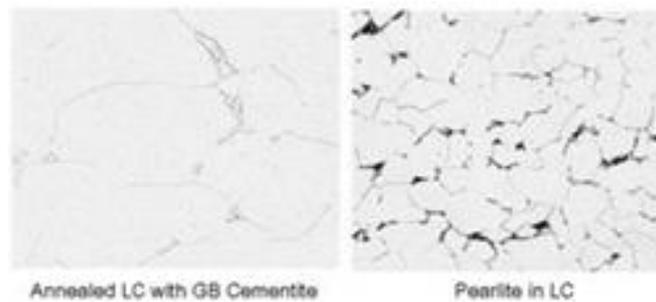


Fully Ferritic ULC

Gambar 2.1. Struktur Mikro Baja Karbon Rendah (Seluruhnya adalah ferrite)

Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound* (Fe_3C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha-ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma-austenite*. Logam Fe bersifat polymorphism yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma-austenite* saat dipanaskan melewati temperature 910°C . Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C *gamma-austenite* akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (Alpha dan Delta) *Ferrite* dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) *Austenite* memiliki struktur kristal FCC.

Pada kadar karbon lebih tinggi akan mulai terbentuk endapan *cementite* atau fase *pearlite* pada batas butirnya



Gambar 2.2. Fasa *Cementite* (kiri) dan fasa *Pearlite* (kanan)

Sifat cementite atau carbide yang keras dan getas berperan penting di dalam meningkatkan sifat-sifat mekanik baja. Salah satu parameter penting yang menunjukkan hal tersebut, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya adalah *a mean ferrite path*. *A mean ferrite path* menunjukkan jarak antar cementite, baik pada pearlite maupun spherodite. Jarak antar carbide di dalam pearlite secara khusus dikenal sebagai interlamellar spacing atau spasi antar lamel atau lembaran.

2.4. Teknologi Pelapisan (*Coating*)

Para perancang pada industri, terutama industri otomotif, *aeronautic* dan industri lainnya sering menghadapi permasalahan dengan pemilihan material yang akan digunakan menjadi komponen dasar suatu mesin atau konstruksi. Material yang dipilih haruslah memenuhi persyaratan-persyaratan tertentu; misalnya memiliki kekuatan yang tinggi, tahan terhadap keausan atau tahap terhadap korosi, indah dipandang mata, mudah melakukan proses finising dan lain-lain. Untuk dapat memenuhi kriteria diatas, maka bahan yang dipilih haruslah mempunyai kualitas tinggi bila

dipandang dari sudut ilmu logam. Penggunaan logam berkualitas tinggi tentu saja akan menaikkan biaya/harga jual suatu mesin atau peralatan. Hal ini dapat mengakibatkan perusahaan yang memproduksi material kurang mampu bersaing dengan perusahaan sejenis di pasaran. Dengan demikian penggunaan bahan berkualitas tinggi, secara ekonomis, tidak senantiasa menguntungkan, akan tetapi yang dicari oleh perusahaan adalah penggunaan bahan berkualitas tetapi saat diproduksi dengan biaya yang tidak terlalu tinggi. Ini dapat dilakukan dengan pemilihan metode pembuatan dengan biaya yang relatif rendah.

Atas dasar pertimbangan tersebut, para perancang berupaya menggunakan bahan dasar dari bahan berkualitas sedang (dengan pertimbangan harga lebih murah), tetapi dilakukan perlakuan khusus pada permukaannya (*surface treatment*). Dengan perlakuan ini, bahan dapat memiliki sifat-sifat fisis dan mekanis yang lebih baik dari bahan dasarnya, bahkan dapat lebih bahan berkualitas tinggi. Perlakuan khusus tersebut salah satunya dapat berupa pelapisan permukaan (*coating*).

Proses Pelapisan adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Pelapisan logam merupakan finishing dari proses produksi suatu produk. Proses tersebut dilakukan

setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin serta penghalusan terhadap permukaan benda kerja yang dilakukan.

Secara umum diakui bahwa empat teknik yang berbeda dapat digunakan untuk deposit *coating* (Fauchais, 2014).

2.4.1. Electroplating dan Hot Dip Coating

Dalam proses *electroplating* adalah proses elektrodposisi sebuah logam pada permukaan elektroda (bagian yang harus dilapisi), yang umumnya merupakan katoda. Pengendapan lapisan logam ke sebuah objek dengan mengalirkan arus positif pada anoda dan arus negatif pada katoda yang telah dicelupkan kedalam elektrolit sehingga ion ion akan bergerak dari anoda menuju katoda (Fauchais, 2014).

Hot dip coating yaitu bahan yang akan dilapisi dicelupkan kedalam bak berisi logam yang telah dicairkan. Logam yang digunakan umumnya untuk melindungi baja dari korosi dan mempunyai temperatur leleh yang rendah. seperti seng, paduan seng, aluminium, paduan aluminium, dan timbal - timah paduan. Zinc adalah bahan yang paling banyak digunakan dalam operasi yang disebut *galvanized* (Fauchais, 2014).

Lapisan logam yang diperoleh dengan teknik ini memiliki ketebalan antara sekitar 10 μm dan 1 mm. Keuntungan pelapisan ini adalah *omnidirectional* (semua permukaan terekspos cairan pelapis, termasuk juga lubang dimana cairannya bisa penetrasi) substrat disimpan pada suhu yang relatif rendah dan biayanya (peralatan dan operasi) rendah (Fauchais, 2014).

2.4.2. Chemical Vapor Deposition

CVD merupakan proses pengendapan senyawa atau unsur terjadi akibat reaksi dekomposisi kimia akibat aktivasi termal di seputar komponen yang dilapisi. Pada proses CVD, substrat diletakkan di depan pada satu atau lebih prekursor yang bereaksi pada permukaan substrat untuk menghasilkan deposit yang diinginkan, kemudian dikeluarkan oleh aliran gas melalui reaksi ruangan. CVD dilakukan dalam reaktor, yang terdiri dari :

- Sistem suplai reaktan (reactant supply system),
- Ruang deposisi (deposition chamber), dan
- Sistem daur ulang (recycle/disposal system)

Gas-gas dari sistem suplai reaktan dimasukkan ke dalam ruang deposisi. Karena temperatur cukup tinggi, maka gas-gas tersebut akan berdekomposisi membentuk lapisan di atas permukaan bendakerja (substrat). Limbah beracun, korosif, atau mudah terbakar di-kumpulkan dan diproses dalam sistem daur ulang (Natalia, 2012).

Di bawah ini terdapat tabel 2.6. aplikasi CVD hard *coating* pada material yang berbeda-beda serta umur pakai dan waktu perbaikannya:

Tabel 2.6. Aplikasi CVD hard *coating*

Jenis perkakas	Material	Umur Pakai Rata-Rata (Stroke)		Perbaikan
		Non-Lapis	Lapis	
Draw die	D2	20.000	1.500.000	75X
Cut off tool	M2	150	1000	6,3X
Trim die	M2	11.000	100.000	9,1X
Thread rolling die	D2	100.000	1.000.000	10X
Form tool	M2	4950	23.000	4,6X
Extrusion punch	M2	2000	70.000	35X
Tap	M2	3000	9000	3X
Class C hob	M2	1500	4500	3X
Drill	M2	1000	4000	4X
Minting collars	D2	200.000	1.000.000	5X

2.4.3. Physical Vapor Deposition

PVD merupakan proses pengendapan senyawa atau unsur terjadi akibat peristiwa kondensasi. Proses PVD digunakan sebagai alternative proses elektroplating untuk meningkatkan kekerasan dan daya tahan terhadap keausan, mengurangi efek gesekan, dan meningkatkan daya tahan terhadap oksidasi. Mekanismenya target material ditembaki dengan energy agar atom-atomnya lepas kemudian ditransferkan dan didepositkan pada material yang ingin di lapiskan. Namun, PVD juga memiliki kelemahan yaitu beberapa proses memerlukan tekanan dan temperatur yang tinggi, proses pada suhu yang tinggi memerlukan sistem pendinginan yang mahal, dan biasanya kecepatan deposisi cukup lambat.

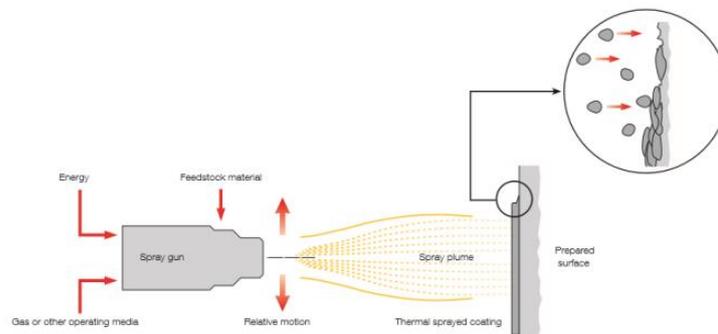
Pelapisan PVD dilakukan dalam ruang hampa dimana material pelapis dirubah ke fase uap dan dideposisikan pada permukaan material dasar sehingga terjadi lapisan yang sangat tipis (*thin film*) (Natalia, 2012).

Kegunaan pelapisan PVD bertujuan meningkatkan efisiensi melalui kinerja yang meningkat dan masa pemakaian komponen yang lebih lama dan Pelapisan ini juga memungkinkan komponen yang dilapis untuk beroperasi pada lingkungan dimana komponen yang tidak dilapis tidak bisa bekerja. Namun proses PVD sendiri memiliki banyak kendala antara lain sulit untuk mendapatkan permukaan lapisan yang seragam, biaya produksi tinggi, biaya produksi tinggi, beberapa prosesnya beroperasi pada kondisi vakum dan temperatur yang tinggi sehingga memerlukan operator yang terampil, prosesnya memerlukan panas dalam jumlah yang besar dan sistem pendinginan yang tepat, serta laju pengendapan pelapisannya biasanya lambat.

2.4.4. Thermal Spray Coating

Thermal spray merupakan salah satu teknik rekayasa permukaan Gambar 2.3. menunjukkan skema prinsip dasar *thermal spray* yaitu dengan mendepositkan partikulat dalam bentuk cair semi-cair, atau padat ke substrat atau sekelompok proses dimana material pelapis (*feedstock material*) dipanaskan dan didorong sebagai partikel individu atau *droplets* ke suatu permukaan *,base material/substrat* (Pawlowski, 2008). *Thermally sprayed coatings* memberikan permukaan yang fungsional untuk melindungi atau

memodifikasi perilaku substrat yang ingin diberikan proteksi (Dorfman, 2005). Energi termal yang digunakan untuk melelehkan material pelapis dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu electrical dan flame heating. Saat material dipanasi, mereka berubah menjadi keadaan plastis atau meleleh dikurung serta diberi percepatan oleh aliran gas bertekanan ke substrat. Partikel-partikel tersebut.



Gambar 2.3. Prinsip dasar thermal spray (Oerlicon, 2016)

Berikut adalah karakteristik umum dari empat metode pelapisan utama.

Tabel 2.7. Karakteristik umum metode pelapisan utama *)

*) Sumber: (Fauchais, 2014).

Karakteristik	Electroplating dan Hot dip	CVD	DVP	Thermal Spray
Biaya peralatan	Rendah	Sedang	Sedang sampai tinggi	Sedang sampai tinggi
Biaya operasional	Rendah	Rendah sampai sedang	Sedang sampai tinggi	Rendah sampai sedang

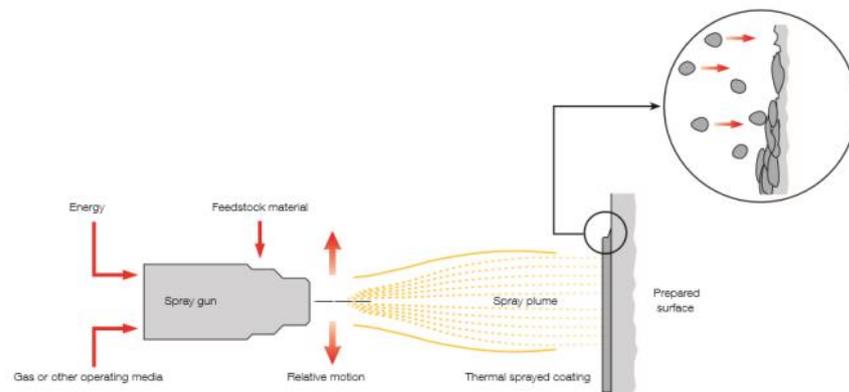
Karakteristik	Electroplating dan Hot dip	CVD	DVP	Thermal Spray
Lingkungan proses	Larutan	Atmosfir dengan <i>medium vacuum</i>	Hard vacuum	Atmosfir dengan <i>soft vacuum</i>
Geometri pelapisan	Omnidirectional	Omnidirectional	Line of sight	Line of sight
Ketebalan pelapisan	Sedang sampai tebal, 10 μm –mm	Tipis sampai tebal, 10 μm –mm	Tipis	Tebal, 50 μm –mm
Temperatur substrat	Rendah	Sedang sampai tinggi	Rendah	Rendah sampai sedang
Ikatan lapisan	Ikatan mekanik sedang sampai ikatan kimia yang sangat baik	Ikatan kimia sangat baik untuk ikatan difusi yang sangat baik	Ikatan mekanik moderat menjadi ikatan kimia yang baik	Ikatan mekanik yang bagus.
Permukaan akhir	Cukup kasar sampai mengkilat	Halus sampai mengkilap	Halus sampai sangat mengkilap	Kasar sampai halus
<i>Coating materials</i>	Logam	Logam, ceramic, polymer	Logam, ceramic, polymer	Logam, cermets. Ceamic. Polymer,

2.5. Definisi Thermal Spray

Thermal Spray pertama kali muncul pada awal abad 19, orang yang pertama kali mengembangkan proses ini adalah Dr. Max Ulrick Schoop dari Zurich, Swiszerland. Pada tahun 1912 dipatenkan sebuah alat Spray untuk pertama kali, yaitu *Wire Flame Spray* OLEH Dr. M.U.Schoop dengan timnya. Peralatan ini sama dengan peralatan *Wire Flame Spray* yang sekarang prinsipnya wire dibakar oleh api atau *flame* dari hasil pembakaran oksigen dengan *flammable gas acetylene* lalu ditekan oleh kompresor dan membentuk lapisan. Pada saat yang bersamaan juga Dr. M. U. Schoop juga mengembangkan *Thermal Arc Wire Spray*, dimana alat ini memakai dua buah wire yang dialiri arus listrik dan pada saat sudah meleleh akan ditekan oleh udara dari kompresor dan akan membentuk lapisan baru

Thermal Spray berkembang dengan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan pasar untuk memperoleh lapisan yang lebih baik. Pada awal tahun 1930 oleh Fritz Schori dikembangkan *Powder Flame Spray* yang memakai material bukan bentuk *wire* melainkan *powder*, berarti pada tahun inilah awalnya material dalam bentuk *powder* diproduksi pertama kali. Pada tahun 1950 Gfeller dan Baiker karyawan dari *Union Carbide Corporation*, salah satu divisi dari Linde mengembangkan Detonatic Gun (D - Gun) yang dikenal sebagai perintis atau awal mula ditemukannya HVOF (*High Velocity Oxygen Fule*). DGun juga memakai powder sebagai material *coating* dan sebagai sumber *ignition*.

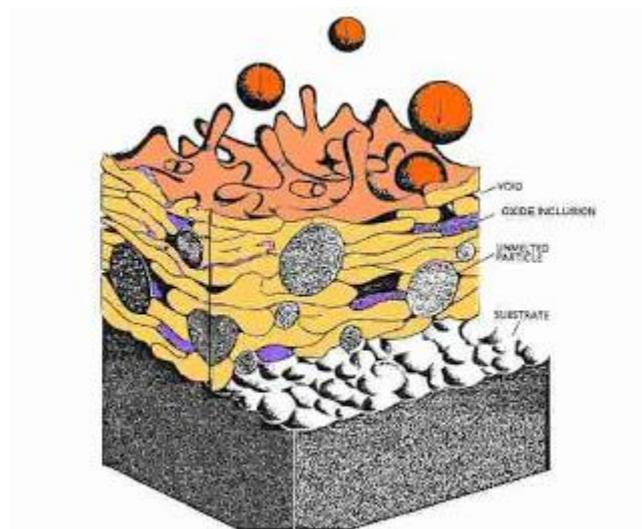
Secara umum prinsip dari thermal spray *coating* adalah Saat material dipanasi, mereka berubah menjadi keadaan plastis atau meleleh dikurung serta diberi percepatan oleh aliran gas bertekanan ke substrat. Partikel-partikel tersebut menabrak substrat, menempel, dan membentuk lapisan tipis (*splats*) yang menyesuaikan dan menempel pada permukaan tidak rata substrat dan dengan partikel pelapis yang lain.



Gambar 2.4. Prinsip dasar thermal spray (Oerlicon, 2016)

Kemudian setelah dingin akan terbentuk lapisan yang tidak homogen dan umumnya terdapat derajat porositas dan oksida logam. Material feedstock dapat berupa apa saja yang dapat dilelehkan termasuk logam, senyawa logam, cerment oksida, gelas, dan polimer, dapat juga dalam bentuk powder, wire atau rod. Pengikat antara susbstrat dan pelapis dapat berupa ikatan mekanik, kimia, metalurgi atau kombinasi ketiganya. Sifat-sifat dari pelapis bergantung pada jenis material, proses *thermal spray* dan parameter-parameter yang diterapkan, dan perlakuan setelah proses thermal spray pada pelapis. (Putra, 2017).

Thermal spray dapat menghasilkan lapisan dengan ketebalan (kisaran ketebalan sekitar adalah 20 mikrometer hingga beberapa mm, tergantung pada proses dan material pelapis), dan area yang luas dengan laju deposisi yang tinggi dibandingkan dengan proses pelapisan lainnya seperti elektroplating, *physical* dan *chemical vapor deposition*. Material pelapis yang tersedia untuk thermal spray yaitu logam, paduan, keramik, plastik dan komposit. Material pelapis tersebut dalam bentuk powder atau kawat, yang dipanaskan ke keadaan cair atau semimolten dan dipercepat terhadap substrat dalam bentuk mikrometer-ukuran partikel. Pembakaran atau debit electrical arc biasanya digunakan sebagai sumber energi untuk penyemprotan termal. Pelapis yang dihasilkan dibuat oleh akumulasi partikel-partikel yang disemprotkan.



Gambar 2.5. Skematik Pembentukan Thermal Spray

Kualitas *Coating* biasanya di nilai dengan mengukur melalui porositas kadar oksida makro dan microhardnes kekuatan ikatan (bond strength) dan kekasaran permukaan .

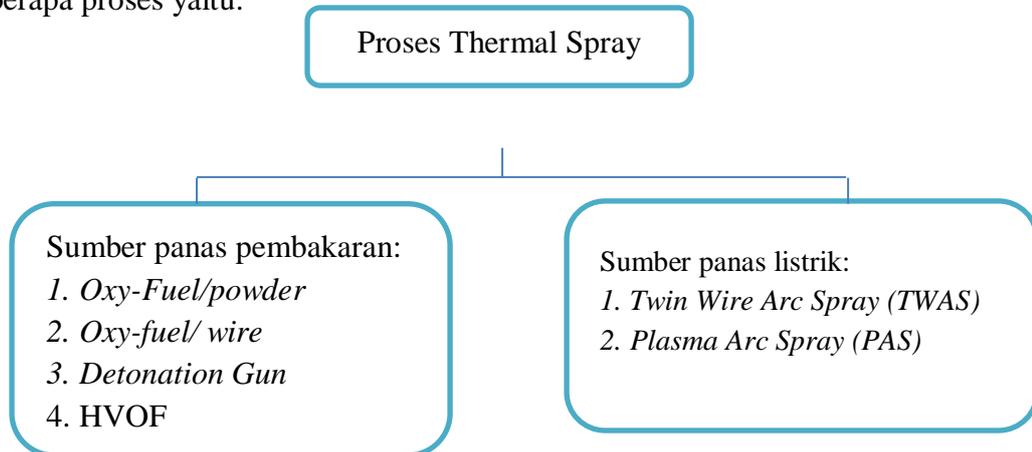
Fungsi dan manfaat thermal spray *coating* yang paling umum digunakan pada ketahanan aus atau pencegahan korosi. Selain itu thermal spray *coating* juga dapat mengurangi energi gesekan, bertindak sebagai penghalang difusi, insulasi *thermal* dan insulasi.

Aplikasi umum dari pelapisan panas *thermal spray* :

- Industri manufaktur umum : *Extrusion Dies, Thread Guides, Forging Tool, Wire Drawing Capstans, Casm followers, Roller Bearing, Hot Forming Dies* (Nurfani, 2013).
- Industri Turbin gas : *Turbine Nozzles, Jet Engine Manifold Rings, Gas Turbine Fan Seals, Aircraft Flap Tracks, Expansion Joints, Mid Span Supports (Fan Blades)* (Nurfani, 2013).
- Industri Perminyakan : *Pump Plungers, Liners, Sleeves, Compressor Rods* (Nurfani, 2013).
- Industri proses kimia : *Gate Valves, Pump Components* (Nurfani, 2013).
- Industri kertas/Bubur kertas : *Printing Rolls, Digestors, Liquor Tanks* (Nurfani, 2013).
- Industri otomotif : *Piston Rings, Cylinder Liners* (Nurfani, 2013)

2.6. Jenis – jenis Thermal Spray

Secara umum metoda *thermal spray coating* dapat dibagi menjadi beberapa proses yaitu:



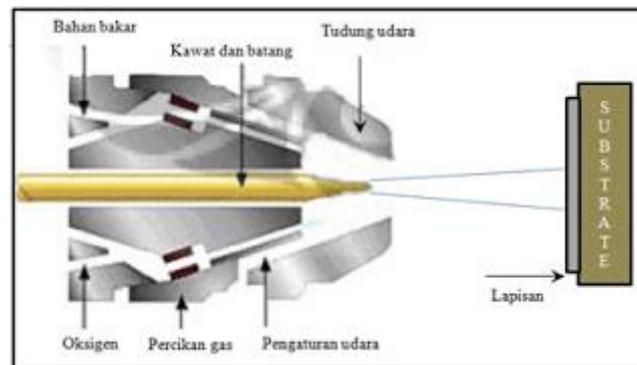
Gambar 2.6. Klasifikasi proses *thermal spray* (Irawan,2016).

Sumber panas pembakaran yaitu untuk melelehkan material *coating* baik berupa kawat dan bubuk berasal dari panas pembakaran berupa gas yang ada pada ruang bakar alat *spray gun* seperti campuran oksigen dan *acetylin* serta campuran oksigen dan hydrogen. Sedangkan sumber panas listrik yaitu untuk melelehkan material *coating* baik berupa kawat dan bubuk berasal dari bantuan panas listrik .

1. *Flame Spraying (FLSP)*

FLSP merupakan proses *thermal spray* yang paling tua. Proses *thermal spray* ini menghasilkan suhu campuran bahan bakar *Oxyacetylene* sekitar 2.760 °C untuk meleburkan target yang berupa bubuk, batang atau kawat. Kecepatan aliran material yang berupa kawat didorong menuju nyala api (*flame*) dan dengan tekanan oksigen yang tinggi digunakan untuk mengotomatiskan logam cair

menjadi partikel-partikel kecil dan mempercepatnya menuju substrate. Skema *flame spray* dapat dilihat dalam gambar berikut.

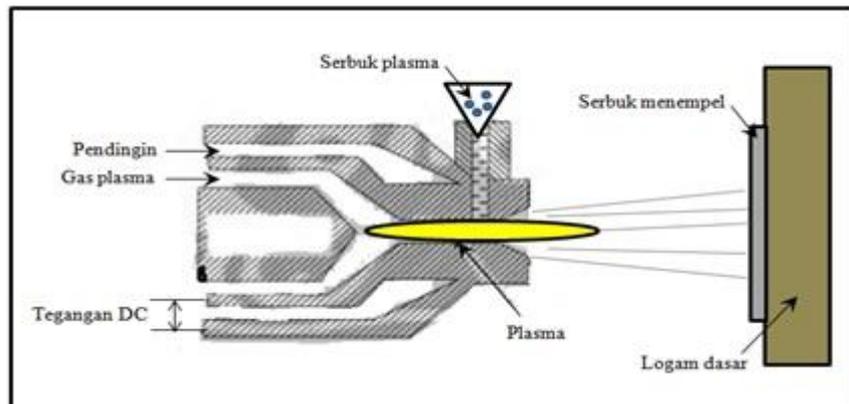


Gambar 2.7. Skema *FLSP*

Paduan bahan bakar dan oksigen yang bertekanan tinggi menghasilkan pijaran api yang suhunya sangat tinggi sekitar 3000°C . Kawat didorong maju menuju *flame* dan melebur, tekanan oksigen dan tekanan udara mendorong logam cair menjadi partikel kecil yang dipercepat menuju *substrate*.

2. *Plasma Arc Spraying (PAS)*

PAS dapat menghasilkan suhu sekitar 16.650°C (30.000°F) untuk meleburkan bubuk. Lapisan yang dibuat dengan *PSP* lebih padat, porositasnya rendah dan adhesinya lebih kuat dibandingkan dengan *FLSP*. Prosesnya adalah energi panas dari busur listrik yang beroperasi pada 40 kW atau 80 kW bersama dengan suatu gas pembentuk plasma, baik nitrogen atau argon, digunakan untuk mencairkan dan menembakkan material pelapis pada kecepatan tinggi sekitar 600 m/detik kepada material yang akan dilapisi (*substrate*). Skema busur *plasma spray* dapat dilihat pada gambar berikut.

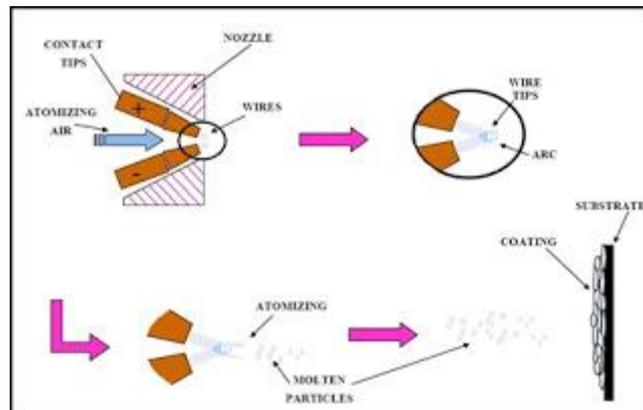


Gambar 2.8. Skema dari proses pelapisan dengan busur plasma

Gas pembentuk plasma berupa nitrogen atau argon disudutkan dengan tegangan DC antara 40kV – 80kV hingga terbentuk plasma. Suhu ujung suluh sekitar 16.650 °C dan bubuk cair disemprotkan dengan kecepatan sekitar 600 m/s.

3. *Electric Arc Spraying (EAS)*

Motor menggerakkan kawat bermuatan listrik dengan berbeda potensial 18 sampai 40 Volt melalui suluh (gun) menuju ujung temu pada kepala suluh dimana busur listrik menciptakan suhu melebihi 6.000°C, seperti terlihat pada gambar. Udara yang bertekanan mengotomatiskan material pelapis yang sudah cair dan menembakkannya kepada permukaan yang akan dilapisi. Skema busur listrik spray dapat dilihat pada gambar berikut

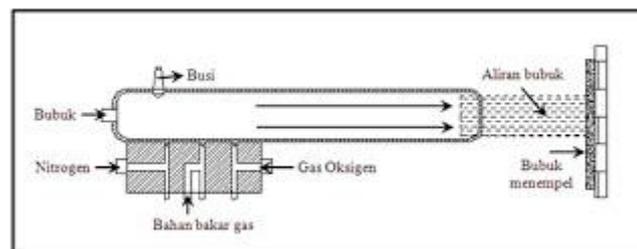


Gambar 2.9. Skema proses pelapisan dengan busur listrik

Ujung-ujung kawat diberi beda potensial sebesar 18-40 kV. Temperatur ujung suluh mencapai 6.000°C , udara dengan tekanan tinggi mengotomasikan pelapis yang sudah cair dan mendorong keluar dengan kecepatan tinggi.

4. *Detonation Gun (d-Gun)*

D-Gun melelehkan bubuk dalam suluh dengan letupan sundut pada gas yang mudah menyala (*spark ignition of explosive gas*). Skema busur plasma *spray* dapat dilihat pada gambarberikut.



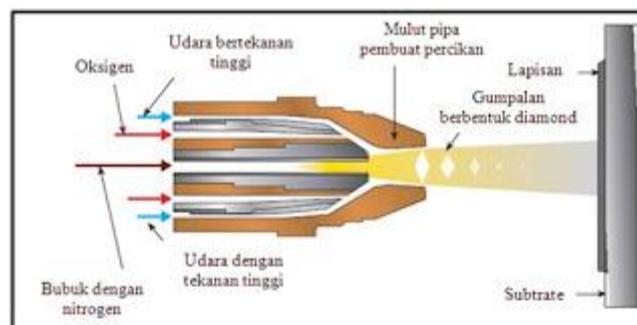
Gambar 2.10. Skema proses pelapisan dengan suluh detonasi

Paduan bahan bakar dan oksigen yang diledakkan dengan busi, bubuk dialirkan bersama dengan gas nitrogen dan didorong menuju ujung suluh dengan kecepatan tinggi.

5. *High Velocity Oxygen Fuel (HVOF)*

HVOF adalah *thermal spray* yang menggunakan pembakaran gas, seperti *hydrogen* atau bahan bakar cair seperti kerosene. Bahan bakar dan oksigen dicampur dan mengubahnya dalam ukuran yang sangat kecil dalam ruang pembakaran di bawah kondisi yang terkontrol pembakarannya maupun tekanannya.

Proses ini menghasilkan kecepatan sangat tinggi yang digunakan untuk mendorong partikel guna mendekati kecepatan suara (*supersonic*) sebelum menumbuk substrat. Skema proses pelapisan dengan *HVOF* tampak pada gambar berikut.



Gambar 2.11. Skema proses pelapisan dengan suluh *HVOF*

Paduan antara oksigen dan bahan bakar (*methana, propana*) yang teratomisasi disundut dengan api dan menghasilkan temperature yang mendekati 3.000°C . Bubuk disemprotkan ke dalam ruang pembakaran dengan menggunakan nitrogen dan meleleh. Udara dengan tekanan tinggi yang dipadu dengan oksigen yang tekanannya terkontrol menghasilkan gumpalan-gumpalan bubuk cair berbentuk intan dengan kecepatan yang sangat tinggi.

Dari kelima proses *thermal spray* yang sudah dijelaskan maka kita dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu berdasarkan proses, bentuk material dasar proses *thermal spray* dan berdasarkan sumber energi. Klasifikasi proses *thermal spray* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.7. Klasifikasi proses *thermal spray*

Proses	Bentuk Target	Sumber Energi
<i>Flame Spraying (FLSP)</i>	Serbuk, batang, kawat	<i>Oxyacetylene flame</i>
<i>Plasma Arc Spraying (PSP)</i>	Bubuk	<i>Plasma gun</i>
<i>Electric Arc Spraying (EASP)</i>	Kawat (motor driven)	Busur listrik (<i>Electric etc</i>)
<i>Detonation Gun (d-Gun)</i>	Bubuk	<i>Spark Ignition of Explosive Gas Gun</i>
<i>High-Velocity Oxy/ Fuel (HVOF)</i>	Bubuk	<i>Oxygen, Hydrogen, Fuel, E.g, Methane, Combustion Chamber</i>