

## PERLAKUAN PERMUKAAN DENGAN DEPOSISI UAP FISIS

H. Purwanto<sup>\*)</sup>

### Abstrak

Perlakuan permukaan adalah suatu rekayasa bahan untuk mendapatkan material dengan permukaan dengan karakteristik yang berbeda antara inti dan permukaannya. Kekerasan, ketahanan aus, kekuatan adalah sifat-sifat yang harus dimiliki sebuah konstruksi, untuk kebutuhan tersebut dapat dilakukan dengan perlakuan permukaan (*surface treatment*). Metode perlakuan sudah banyak dikembangkan seperti elektroplating, elektroforming, deposisi uap. *Physical Vapour Deposition (PVD)* adalah metode pelapisan secara moderen dengan cara menguapkan bahan pelapis secara fisik atau mekanik dan mengembunkan pada substrat atau material yang akan dilapisi pada suhu tertentu dalam kondisi vakum.

**Kata kunci :** Pelapisan permukaan, substrat, uap

### Pendahuluan

Suatu ungkapan rekayasa teknik menyatakan bahwa “hampir semua permasalahan adalah masalah permukaan”. Pemilihan material dalam sebuah konstruksi harus sesuai dengan spesifikasi dan mempunyai sifat-sifat tertentu terutama bagian permukaan. Permukaan sebuah konstruksi harus dapat menjamin baik dari segi kekuatan maupun dari segi penampilan (dekoratif).

Korosi adalah proses oksidasi oleh udara pada temperatur ruang sehingga membentuk lapisan oksid yang tipis. Bahan-bahan konstruksi khususnya logam yang mempunyai laju korosi yang tinggi dapat mengurangi fungsi, kekuatan, kekerasan, dan estetika dalam sebuah konstruksi. Korosi ini tidak dapat dihindari apalagi Indonesia yang sebagian daerahnya adalah lautan dimana air laut yang memiliki kadar garam yang tinggi dapat mempercepat tingkat laju korosi.

Kekerasan, ketahanan aus, kekuatan adalah sifat-sifat yang harus dimiliki sebuah konstruksi, untuk kebutuhan tersebut dapat dilakukan dengan perlakuan permukaan (*surface treatment*). Metode perlakuan sudah banyak dikembangkan seperti elektroplating, elektroforming, deposisi uap dan lain sebagainya.

*Physical Vapour Deposition (PVD)* adalah metode pelapisan secara moderen dengan cara menguapkan bahan pelapis secara fisik atau mekanik dan mengembunkan pada substrat atau material yang akan dilapisi pada suhu tertentu dalam kondisi vakum. Diharapkan pelapis tersebut menempel dengan kuat bahkan bersubstitusi dengan atom pada permukaan substrat. Banyak material yang tidak dapat dilakukan metode perlakuan permukaan secara konvensional seperti dengan elektroplating

metode ini dapat diterapkan untuk material-material tersebut.

Dari segi ilmu pengetahuan atau ilmiah, terobosan baru ini sangat menarik karena dapat melewati batasan termodinamika pada pembuatan paduan dan membentuk larutan padat cangih serta sasa-metastabil baru. Walaupun dari segi biaya menjadi tinggi karena diperlukan berbagai peralatan yang tidak sederhana pula.

Penggunaan proses PVD ini termasuk pada pembuatan material dekoratif pada plastik dan logam, pelapisan secara PVD juga menghasilkan lapisan *antireflection* dari *magnesium floride* pada lensa optik. Proses ini juga diterapkan dalam industri elektronik untuk membentuk jaringan yang dapat menghantarkan arus listrik dalam rangkaian yang kompleks.

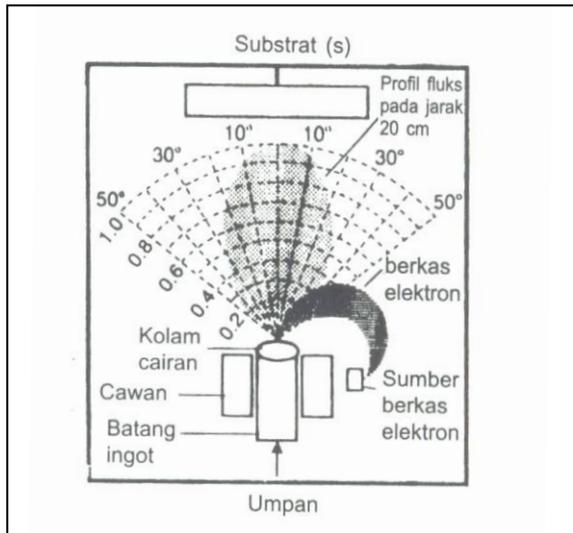
### Deposisi Uap Fisis (*Physical Vapour Deposition, PVD*)

Meskipun terdapat berbagai cara atau versi PVD desain dasarnya adalah ketergantungan pada penguapan atau penyemburan. Pada proses penguapan, material sumber dipanaskan dengan berkas energi tinggi yaitu dengan elektron, ion, laser, tahanan, induksi dan sebagainya dalam ruang vakum (gambar 1.).

Laju penguapan bergantung pada tekanan uap sumber dan tegangan ruang. Logam-logam menguap dengan laju memadai apabila tekanan uap melampaui  $1 \text{ Nm}^{-2}$  dan tekanan ruang lebih rendah dari  $10^{-3} \text{ Nm}^{-2}$ . Atom yang menguap akan menuju substrat atau material yang akan dilapisi, dan mengikuti garis pandang (*line of sight*).

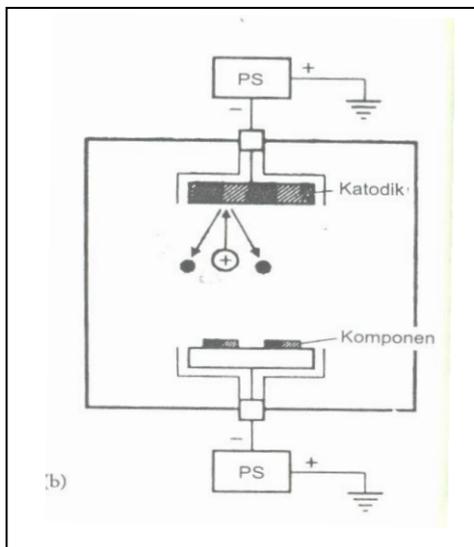
---

<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang  
Jl Menoreh Tengah X/22 Semarang



Gambar 1. PVD bergantung pada penguapan

Apabila penyembura diterapkan pada PVD (gambar 2), sumber katoda beroperasi dengan potensial tegangan mencapai 5 kV (dengan menggunakan arus searah atau frekuensi radio) dalam lingkungan gas mulia Argon (Ar).



Gambar 2. PVD bergantung penyemburan.

Tekanan ruang vakum yang digunakan adalah  $1 - 10^{-12} \text{ Nm}^{-2}$ . Jika ion argon positif mengenai sasaran terjadi transfer momentum dan atom sasaran yang lepas membentuk lapisan pada substrat. Daya "throwing power" PVD bergantung-penyemburan cukup baik dan ketebalan lapisan merata. Proses ini menguntungkan karena hasil nilai penyemburan

(Y) untuk berbagai logam kira-kira sama. Dimana Y adalah jumlah rata-rata atom target yang lepas dari permukaan per ion yang mengenainya yang ditentukan dengan percobaan. Sebaliknya untuk temperatur tertentu dengan sumber penguapan, laju penguapan memiliki perbedaan beberapa tingkat.

Pada Proses PVD temperatur substrat sangat penting. Pada proses ini temperatur sekitar 200-400°C dianggap cukup rendah, sehingga metode ini dapat diterapkan pada perkakas potong dan perkakas pembentukan logam dari baja yang dikeraskan. Pelapisan titanium nitrida (TiN), setebal  $<5\mu\text{m}$ , dapat meningkatkan umur pemakaian perkakas dengan cukup berarti, misalnya pada mata bor.

TiN sangat keras kurang lebih 240 HV, mempunyai koefisien gesek rendah dan mempunyai tekstur permukaan yang sangat halus. Pelapisan TiN juga dapat diterapkan pada paduan non ferus dan tungsten karbida yang diikat kobalt. Pengalaman dengan material baja yang dilapisi TiN menunjukkan bahwa sistem lapisan atau substrat harus dianggap sebagai satu kesatuan. Lapisan penutup sempurna dari material tahan aus pada material tangguh dapat mengalami kegagalan dini apabila tegangan kerja menimbulkan deformasi plastis dalam substrat pendukung. Oleh karena itu sejalan dengan prinsip rekayasa permukaan terkini dianjurkan dengan memperkuat baja dengan nitridisasi sebelum ditambahkan lapisan TiN dengan cara PVD.

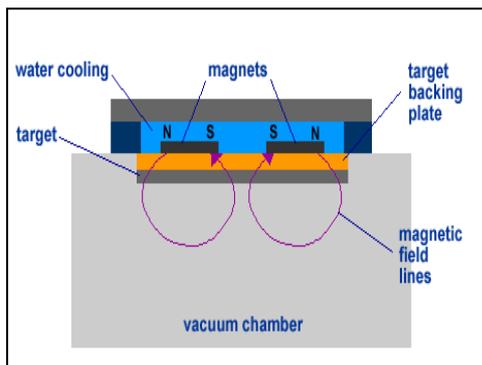
### Plasma Physical Vapour Deposition

Perkembangan PVD dengan bantuan ionisasi disebut Plasma Physical Vapour Deposition (PPVD). PPVD adalah desposisi fisik yang didukung oleh penembakan ion dalam ruang vakum "lunak". Maka proses PPVD ini juga dapat dikatakan dengan proses pelapisan ion (*ion surface treatment*). Efek ini dapat dicapai dengan menerapkan potensial negative sebesar 2 – 5 kV arus searah pada substrat.

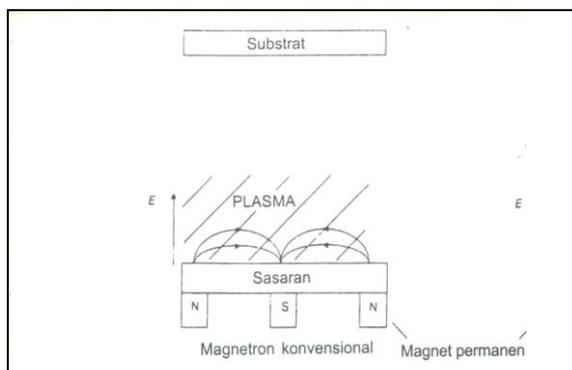
PPVD merupakan hibrida PVD yang bergantung pada penguapan dan penyemburan. Substrat yang bebas kontaminasi diperlukan agar terbentuk pengikatan kuat antara lapisan PPVD dengan substrat. Oleh karena itu pada tahap awal substrat harus didinginkan dengan memberikan ion positif. Kemudian diberikan energi pada sumber dan uap logam disalurkan kedalam ruang.

### Penyemburan Mega-Netron

Perkembangan PVD lainnya adalah dengan penyemburan mega-netron dengan menggunakan medan magnet untuk menghasilkan plasma pekat di dekat sasaran yang didinginkan dengan air dengan kutub utara dan kutub selatan disusun sedemikian rupa sehingga medan magnet tegak lurus terhadap medan listrik antara sasaran dengan substrat. (gambar. 4)



Gambar 3. Penyemburan Megatron



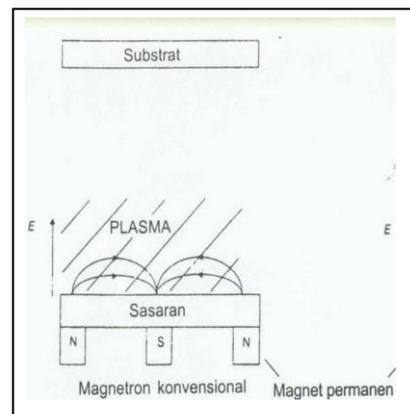
Gambar 4. PPVD plasma megatron konvensional

Medan magnet ini mengukung elektron agar dekat permukaan sasaran, meningkatkan laju ionisasi dan menghasilkan plasma yang jauh lebih pekat. Dengan efisiensi ionisasi yang diingkatkan ini dapat digunakan tekanan ruang yang lebih rendah, dan semburan atom sasaran oleh molekul gas berkurang.

Efek lain yang dituju adalah perbaikan laju desposisi pada substrat. Umumnya daerah plasma pekat hanya memanjang jarak sekitar 6 cm dari permukaan sasaran. Pengembangan sistem megatron tak seimbang mengakibatkan dan menghasilkan peningkatan zona plasma pekat sehingga substrat itu sendiri terkena penembakan ion (gambar 5). Ion energetik ini merubah sifat kimia dan fisika deposit. Pada salah satu konfigurasi mega netron tak seimbang,

cincin kutub magnet tanah jarang yang kuat mengelilingi kutub magnet pusat yang lemah.

Zona plasma yang lebih luas sanggup menopang benda kerja yang besar dan rumit dan dengan cepat menghasilkan lapisan logam atau paduan non-kolumnar yang padat. Pada sistem megatron tak seimbang dapat dicapai jarak antara sasaran dan substrat hingga 20 cm.



Gambar 5. Mega-netron tak seimbang

### Penembakan Partikel

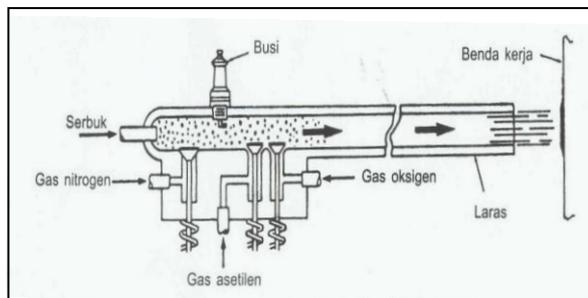
Sejak penggunaan pertama mesin turbin gas pada era tahun 1940-an, derap pengembangan rekayasa terutama ditentukan oleh tersedianya material temperatur tinggi yang cocok. sisa pembakaran panas yang bergerak dengan kecepatan tinggi yang mengenai komponen dibagian mesin yang paling kritis. selain itu terdapat pula berbagai zat perusak yang melewati mesin, seperti garam laut dan pasir. Untuk lingkungan yang merugikan ini sangat sulit bahkan tidak mungkin dikembangkan paduan yang memiliki kombinasi sifat kekuatan pada temperature tinggi dan ketahanan korosi. berbagai usaha dilakukan untuk menciptakan sistem paduan yang menghasilkan suatu kerak oksida pelindung tipis yang bersifat memulihkan diri.

Dalam praktek lapisan tipis ini tidak menghambat difusi atom ke substrat dan bereaksi dengan paduan substrat yang juga mengalami penipisan karena erosi. Akibat perbedaan muai termal antara kerak oksida (keramik) dan substrat metalik terjadi repture dan retak pada kerak apabila kerak tidak plastis atau memiliki ikatan lemah dengan paduan. Pelapisan bahwa tahan api yang tahan aus dan korosi merupakan salah satu jawaban terhadap masalah ini.

Sebagai gambaran singkat dipilih pelapisan thermal untuk komponen turbin gas. pada penyemprotan thermal serbuk disuntikkan dalam gas yang sangat panas dan disemprotkan dalam kecepatan tinggi ke permukaan substrat (komponen).

Pada impact, partikel mengalami deformasi plastis dan melekat dengan kuat dengan kuat dan juga melekat satu dengan yang lainnya. Struktur lapisan pada penampang melintang memiliki penampilan lentikular karakteristik, dan terdiri dari partikel tahan api, seperti karbida, oksida dan atau alumida, dan satu fasa paduan pengikat. Berbagai lapisan penyemprotan termal beroperasi pada suhu >1000 °C. Ketebalan dapat disesuaikan dengan kebutuhan, bervariasi dari beberapa micron hingga millimeter.

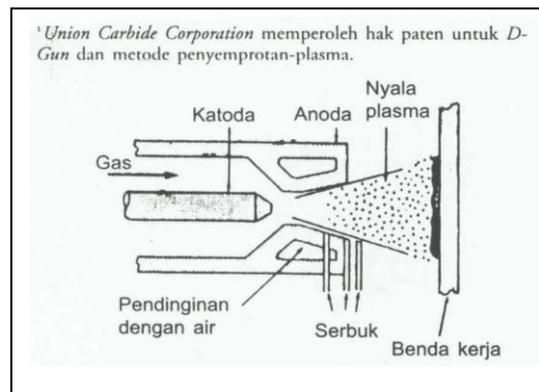
Pada metode senapan detonasi (gambar 6.) campuran oksigen dan asetiline (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) terukur diledakkan dengan letupan api. serbuk dengan diameter rata-rata 45 mm disuntikkan, dan dipanaskan oleh gas panas kemudian ditembakkan dengan laras panjang 1m ke benda kerja dengan kecepatan 750 m/s.



Gambar 6. Pelapisan dengan senapan detonasi

Laras diisi dengan gas nitrogen diantara detonasi, yang terjadi setiap empat atau delapan kali per detik. Aplikasi tipikal dengan komposisi tertentu meliputi, lapisan *D-Gun* tahan aus dan permukaan perapat bantalan (WC-9Co), Sudu kompresor (WC-13Co) dan *shroud interlocks* dari sudu turbin (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/80Ni-20Cr).

Pada teknik semprot plasma, serbuk dipanaskan oleh busur arus searah dengan umpan argon (gambar 7) dan kemudian ditembakkan ke benda kerja dengan kecepatan 125-600m/s.



Gambar 7. Pelapisan dengan semprotan plasma.

Dalam proses ini digunakan gas pelindung berupa gas mulia Argon (Ar) untuk mencegah oksidasi material yang diendapkan. Proses ini diterapkan untuk membuat lapisan tipe MCrAlY pada komponen turbin dimana dipersyaratkan ketahanan korosi pada temperature tinggi (seperti sudu, kipas), dan M adalah logam dengan titik lebur tinggi seperti Fe, Ni, dan Co.

Pelapisan ini lebih banyak mengandung banyak elemen pembentuk kerak seperti krom dan aluminium dibandingkan dengan super alloy (39 Co-32Ni-21Cr-7,5Al-0,5Y). lapisan tersebut merupakan sumber elemen yang dapat teroksidasi dan memungkinkan timbulnya kerak pelindung yang mampu memulihkan diri. Iterium dalam jumlah kecil meningkatkan adhesi kerak. Lapisan dengan komposisi khusus ini digunakan sebagai preparat saluran gas panas dilokasi dimana terdapat toleransi rendah antara sudu yang berputar dan bagian dalam dinding mesin sehingga efisiensi bahan bakar meningkat. Lapisan ini tahan terhadap kontak gesekan yang kadang kadang terjadi.

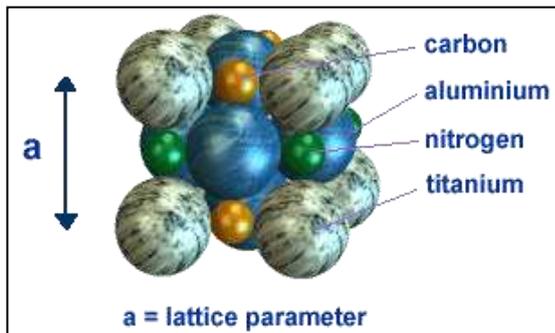
### Implantasi Ion

Komposisi kimia dan struktur fisika dipermukaan material dapat diubah dengan penembakan, *in vacuo*, dengan aliran ion berkecepatan tinggi. energi berkas sekitar 100 ke V, dan telah dilakukan berbagai usaha untuk meningkatkan arus berkas melebihi 5 mA agar waktu pemrosesan dapat dipersingkat. kini, implantasi masih memerlukan waktu beberapa jam.

Ion-ion tersebut dapat berasal dari berbagai elemen dalam table periodic susunan zat, baik sebagai elemen ringan (nitrogen) ataupun elemen berat bahkan bahan radio aktif.

Implantasi ion merupakan proses *line-of-sight*. Dosis penembakan tipikal untuk tiap sentimeter persegi permukaan sasaran adalah  $10^{17}$  -  $10^{18}$  ion. Ion tersebut berpenetrasi hingga kedalaman 100-200 nm dan mempunyai profil konsentrasi gaussian dalam bidang tegak lurus permukaan. Di daerah luar termodifikasi ini, sifat substrat tidak mengalami perubahan.

Berkas biasanya menimbulkan efek semburan karena mengeluarkan atom dari permukaan dan terjadi perubahan profil konsentrasi. efek ini sangat menonjol apabila digunakan ion berat atau dosis yang tinggi. Keadaan seimbang akan dicapai apabila laju erosi semburan sama dengan laju implantasi. jadi bergantung pada sasaran, tipe dan energi ion serta material substrat, erosi semburan mampu membatasi jumlah implantasi.



Gambar 8. Struktur atom dengan pelapisan PVD



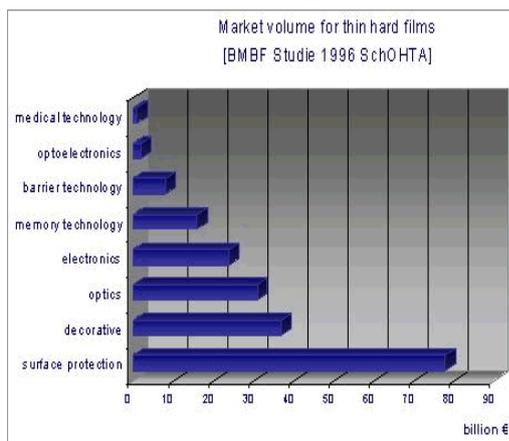
Gambar 10. Peralatan pelapisan dengan PVD

#### Daftar Pustaka

Sallman.R.E., Bishop.R.J., 1999, Metalurgi Fisik dan Rekayasa Modern, Penerbit Erlangga Jakarta.

[www.amstrong-sceinces.com](http://www.amstrong-sceinces.com)

[www.pvd-coating.co.uk](http://www.pvd-coating.co.uk)



Gambar 9. Penggunaan material dengan pelapisan PVD