

**BUKU PENDUKUNG PERKULIAHAN
PENGENDALIAN KOROSI DAN PERLAKUAN PERMUKAAN**

PELAPISAN LOGAM

Oleh: Darmawi



Penerbit Universitas Sriwijaya

Cetakan kedua, Maret 2018

Kutipan Pasal 44:

Sanksi Pelanggaran Undang-undang Hak Cipte 1987

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah)

Oleh:

Darmawi

PELAPISAN LOGAM



Hak penerbitan pada Penerbit Universitas Sriwijaya

Cetakan Kedua, Maret 2018

ISBN : 979 -587 -199 – 4

Dicetak di percetakan F18.

Isi diluar tanggung jawab percetakan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah pada kesempatan ini, buku yang telah terbit sejak bulan Juli tahun 2002 telah dapat diperbaharui dengan menambahkan informasi pada beberapa sub-bab, terutama Metal spraying dan Cladding.

Dewasa ini, media informasi sudah sangat beragam terutama media online, sehingga pengetahuan apapun yang kita butuhkan dengan mudah kita peroleh dimanapun kita berada. Namun kami memandang tetap perlu melakukan pembaharuan terhadap buku ini dalam rangka memperbanyak sumber informasi bagi mahasiswa dan bagi masyarakat umum yang membutuhkan.

Melalui kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pembaharuan buku ini terutama penerbit Universitas Sriwijaya dan mahasiswa-mahasiswa yang telah membantu menyalin ulang buku terbitan pertama.

Ahirnya perkenankanlah penulis menyampaikan harapan, agar semoga buku yang sederhana ini bermanfaat bagi pembaca dan bagi masyarakat pada umumnya. Amien.

Palembang, Maret 2018

Penulis.

**KATA SAMBUTAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Bismillahirrohmanirohim,

Puji syukur kehadirat Allah swt, dimana atas rahmatNya jua maka buku Pelapisan Logam yang telah terbit pada bulan Juli tahun 2002 dapat diperbaharui. Buku ini lebih layak disebut sebagai pendukung perkuliahan karena isinya yang sederhana dan mudah dipahami, khususnya untuk mata kuliah Pengendalian Korosi dan Perlakuan Permukaan pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unsri.

Sebagai buku pendukung, tentu saja isinya masih merupakan pemahaman dasar yang perlu dipelajari dan dikembangkan lebih lanjut terutama oleh mahasiswa yang membacanya. Sebagai Dekan Fakultas Teknik, kami selalu mendukung semua kegiatan yang sifatnya akan meningkatkan kualitas belajar mengajar, yang pada akhirnya akan meningkatkan mutu akademik lulusan.

Ahirnya, kami mengucapkan selamat atas penerbitan dan pembaharuan buku ini semoga memberikan manfaat bagi mahasiswa dan bagi masyarakat yang membutuhkan informasi yang terkait.

Indralaya, Maret 2018

**Prof.Ir. Subriyer Nasir, MS.,PhD
NIP: 196009091987031004**

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
KATA SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWJAYA.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN JENIS PELAPISAN LOGAM	2
III. MACAM-MACAM PELAPISAN LOGAM	3
III.1. Pelapisan Dekoratif.....	3
III.2. Pelapisan Protektif.....	4
III.3. Pelapisan Untuk Sifat Khusus	4
IV. PELAPISAN LOGAM DITINJAU DARI SIFAT ELEKTROKIMIA BAHAN PELAPIS	6
IV.1. Pelapisan Anodika atau Sacrificial Coating.....	6
IV.2. Pelapisan Katodik.....	7
V. METODE PELAPISAN LOGAM	8
V.1. Pelapisan Dengan Celup Panas (Hot Dipping).....	8
V.2. Pelapisan Dengan Penyemprotan Logam (Metal Spraying)	13
V.3. Cladding.....	26
V.4. Conversion Coating	30

V.4.a. Pelapisan Phosfat	31
V.4.b. Pelapisan Chromat	33
V.4.c. Anodizing.....	34
V.5. Pengendapan Uap (Vapor deposition).....	36
V.5.a. Pengendapan uap secara fisik (PVD).....	37
V.5.b. Pengendapan uap secara kimia (CVD).....	40
V.6. Pelapisan Dengan Elektroplating.....	40
V.6.a. Larutan (Bath).....	42
V.6.b. Preparasi Benda Kerja (Substrate).....	47
V.6.c. Proses Pengendapan (Elektrodeposition).....	54
V.6.d. Anoda.....	59
VI. LOGAM-LOGAM PELAPIS	61
VI.1. Logam Pelapis Anodik	64
VI.1.a. Zinc	64
VI.2. Logam Pelapis Katodik	66
VI.2.a. Nikel.....	67
VI.2.b. Chromium.....	69
VI.2.c. Perak	72
VI.2.d. Emas	77
VII. PELAPISAN DENGAN CAT.....	81
VII.1. Pigmen.....	82
VII.1.a. Pigmen Aktif	82
VII.1.b. Pigmen Pasif.....	83

VII.1.c. Pigmen Racun.....	84
VII.2. Zat Pengikat (Binder).....	84
VII.3. Zat Pelarut	85
VII.4. Pengisi (Filter).....	86
VII.5. Zat Tambahan (Additif)	86
VIII. DAFTAR BACAAN	87
IX. LAMPIRAN	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 : Diagram Alir Pelapisan Zn Dengan Metode Celup Panas	10
Gambar 2. Pelapisan dengan baja dengan kandungan chromium 13%. Titik-titik hitam menunjukkan porositas	17
Gambar 3. Pelapisan dengan nickel. Titik-titik hitam menunjukkan porositas	18
Gambar 4. Pelapisan dengan Molybdenum. Titik-titik hitam menunjukkan porositas	19
Gambar 5. Pelapisan metoda spraying dengan baja karbon tinggi. Titik-titik hitam menunjukkan porositas	20
Gambar 6. Anatomi ‘pistol’ dimana logam pengumpan berbentuk kawat	21
Gambar 7. Anatomi ‘pistol’ dimana logam pengumpan berbentuk serbuk	23
Gambar 8. Pelapisan spraying komposit Cu-Al dengan pengumpan serbuk. Bagian- bagian hitam menunjukkan porositas.	24
Gambar 9. Anatomi pistol dimana logam pengumpan berbentuk plasma	25
Gambar 10. Pelapisan anodizing aluminium dengan katoda timbal (Pb)	36
Gambar 11. Diagram listrik proses pelapisan dengan electroplating	40
Gambar 12. Bak plating untuk pelapisan lebih dari satu buah benda kerja	42
Gambar 13. Distribusi endapan logam pelapis terhadap substrate	56
Gambar 14. Levelling	59
Gambar 15. Elektroda bipolar	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1 : Konstanta Hasil Kali Kelarutan Beberapa Senyawa	46
Tabel 2 : Larutan Untuk Pembersih Kerak, Pickling Asam Dan Pencerah Dalam % Volume.....	50
Tabel 3 : Komposisi Larutan Untuk Proses electropolishing	53
Tabel 4 : Daftar Periodik Unsur-Unsur.....	63
Tabel 5 : Komposisi Larutan Zn Cyanida.....	65
Tabel 6 : Larutan Nikel Watt	67
Tabel 7 : Larutan Pelapisan Chromium Dasar	71
Tabel 8 : Larutan Untuk Pelapisan Perak	73
Tabel 9 : Larutan Pendahulu Pelapisan Perak.....	76
Tabel 10 : Komposisi Larutan Alkalin Emas.....	79
Tabel 11 : Komposisi Larutan Netral Emas.....	79
Tabel 12 : Komposisi Larutan Asam Emas	80
Tabel 13 : Larutan Pendahulu Pelapisan Emas	80
Tabel 14 : Komponen-Komponen Utama Dalam Cat	82

I. PENDAHULUAN

Untuk memberikan wawasan tentang lingkup pekerjaan pelapisan dalam proses produksi dapat dijelaskan, bahwa pelapisan pada umumnya merupakan bagian ahir dari proses produksi suatu produk. Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk ahir, atau setelah proses pengerjaan mesin serta proses penghalusan terhadap permukaan benda kerja dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan *finishing* dari suatu benda kerja.

Pengerjaan ahir suatu benda kerja dewasa ini menjadi penting karena sangat berperan dalam menembus pasar. Ditengah keberhasilan para ilmuwan mengembangkan teknologi material abad ini, dimana tantangan teknis telah banyak terantisipasi ditingkatoperasional, maka kebutuhan akan tampak luar yang menawan menjadi mengemuka.

Proses pelapisan logam dengan berbagai tujuannya menjadi semakin penting dan diperkirakan akan menjadi topik yang makin aktual karena sangat membantu dalam menekan biaya produksi dengan capaian mutu yang prima. Buku ini wat masih serba terbatas cakupan bahasannya diharapkan dapat menjadi pembuka bagi studi lebih lanjut dan lebih dalam tentang pelapisan logam.

II. TUJUAN DAN JENIS PELAPISAN LOGAM

Proses pelapisan bertujuan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja. Secara teknis sifat sifat tersebut dapat diklasifikasikan antara lain bertujuan untuk:

- Memperbaiki tampilan luar permukaan
- Mengisolasi permukaan logam dari interaksi dengan lingkungan
- Memberikan sifat khusus pada permukaan logam, antara lain sifat keras, sifat tahan aus, sifat tahan suhu tinggi dll
- Gabungan dari beberapa tujuan diatas secara bersama- sama.

Dilihat dari jenis material pelapis, maka pelapisan dapat dikategorikan dalam tiga jenis pelapisan, yaitu:

- Pelapisan organik
- Pelapisan inorganik
- Pelapisan metalik

Pelapisan organik, adalah pelapisan dengan bahan-bahan organik seperti Pelapisan dengan Cat, Lacquer dan Vernis. Pelapisan inorganik adalah pelapisan yang dilakukan dengan bahan-bahan inorganik seperti Gelas Porselain dan Enarael. Pelapisan Metalik merupakan suatu proses pelapisan logam terhadap logam lain yang dilakukan secara sengaja untuk suatu tujuan. Pada buku yang sederhana ini, yang akan dibahas sedikit mendalam adalah Pelapisan Metalik dengan Hot Dipping dan Elektroplating sedang pelapisan dengan Cat (Painting) akan dibahas pada bagian ahir buku ini.

III. MACAM-MACAM PELAPISAN LOGAM

Tujuan pelapisan terutama secara garis besar dapat diklasifikasikan untuk kegunaan-kegunaan berikut

1. Pelapisan Dekoratif
2. Pelapisan Protektif
3. Pelapisan untuk sifat khusus permukaan

III.1. Pelapisan Dekoratif:

Pelapisan dekoratif terutama bertujuan untuk menambah keindahan tampak luar suatu benda atau produk. Suatu produk yang terbuat dari bahan Zinc atau bajabiasa, akan nampak tumpul dan kurang menarik. Bila produk engineering ini dilapisi dengan Chromium, maka akan lebih atraktif dan nilaijualnya akan lebih tinggi.

Pelapisan dekoratif dengan bahan chromium dewasa ini lebih banyak memperoleh perhatian diluar pelapisan dengan perak dan emas karena warnanya yang cemerlang dan tahan lama. Untuk pelapisan yang tebal, chromium dilapiskan setelah lapisan awal tembaga atau nikel.

Pelapisan dekoratif untuk keindahan banyak digunakan untuk perhiasan dan peralatan interior rumah tangga. Logam- logam yang umum digunakan untuk pelapisan dekoratif adalah Emas, Perak, Nikel, Tembaga dan Rhodium.

III.2. Pelapisan Protektif

Pelapisan protektif adalah pelapisan yang terutama bertujuan untuk melindungi logam yang dilapisi dari serangan korosi. Pada umumnya, pelapisan protektif tidak berdiri sendiri dalam tujuannya. Umumnya, pelapisan protektif juga dirancang untuk memperbaiki tampak luar benda. Pelapisan protektif terutama ditujukan untuk melindungi logam substrate (logam yang dilapisi dari serangan korosi). Dengan pelapisan itu, logam *substrate* akan terhindar dari interaksi dengan lingkungan sehingga terhindar dari proses oksidasi atau korosi.

Untuk pelapisan protektif dengan tujuan utama melindungi substrate dari korosi, logam Zinc, Cadmium dan Timah putih lebih banyak digunakan.

III.3. Pelapisan Untuk Sifat Khusus

Pelapisan ini bertujuan untuk alasan khusus, misalnya pemakaian paduan Timah hitam dan Timah putih dengan konstituent lain dalam jumlah kecil pada kabel-kabel tembaga yang ada dalam alat-alat elektronik dan komunikasi berguna untuk memudahkan proses solder. Solder terhadap logam tembaga tanpa lapisan timah putih sebagai 'undercoats' akan menghasilkan kontak listrik yang kurang baik.

Termasuk kedalam kategori ini pelapisan yang dilakukan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan, seperti sifat keras, sifat tahan aus dan sifat tahan suhu tinggi atau gabungan dari beberapa tujuan diatas

secara bersama-sama. Pelapisan untuk tujuan ini umumnya lebih tebal dibanding lapisan terdahulu. Satuan ketebalan umumnya dinyatakan dalam milimeter, tidak dalam micrometer seperti umumnya.

Pelapisan untuk menambah ketebalan suatu bagian mesin yang aus setelah sekian lama beroperasi, juga termasuk dalam kategori ini. Misalnya pada bagian bantalan poros, atau roll pada pabrik baja. Pelapisan Nikel, merupakan salah satu jenis pelapisan untuk menghasilkan sifat keras dan tahan aus pada permukaan logam. Misalnya untuk permukaan dalam silinder mesin Diesel dimana selalu terjadigesekan dengan cincin iston pada suhu yang tinggi. Pelapisan yang sama juga dapat dilakukan pada permukaan poros yang ditumpu dengan bantalan journal

Cincin piston yang terbuat dari paduan Aluminium, umumnya dilapisi dengan timah putih (Sn) timbel (Pb). Indium atau Perak untuk menghindari timbulnya oxida Aluminium yang sangat abrasif pada dinding silinder pada motor pembakaran dalam. Suatu proses yang tergolong untuk kegunaan khusus, adalah Pengerasan Setempat (Case Hardening) Yaitu suatu proses yang dilakukan untuk menutupi kebutuhan operasional, misalnya pada daeah dimana terdapat bantalan luncur yang memerlukan proses pengerasan setempat dan ketahanan terhadap aus. Salah satu contoh proses pengerasan setempat adalah proses Carburizing pada permukaan baja.

IV. PELAPISAN LOGAM DITINJAU DARI SIFAT ELEKTROKIMIA BAHAN PELAPIS

Dilihat dari sifat Elektrokimia bahan pelapis terhadap substrate, maka sifatsuatu pelapisan dapatdikategorikan dalam klasifikasi berikut:

IV.1. Pelapisan Anodik atau Sacrificial Coating

Pelapisan Anodik merupakan pelapisan dimana potensial listrik logam pelapis lebih anodik terhadap substrate. Pelapisan dengan Zinc dan Cadmium terhadap besi dan baja merupakan pelapisan anodik yang paling populer.

Logam Zn dengan potensial listrik $-0,762$ Volt Vs SHE dan logam Cadmium dengan potensial listrik $0,402$ Volt Vs SHE akan bersifat anodik terhadap baja dengan potensial listrik $-0,04$ Volt Vs SHE, sehingga ketika kedua jenis logam ini berkontak maka logam anodik akan bersifat melindungi logam yang katodik. Dalam bahasa yang sederhana, logam yang anodik akan mengorbankan dirinya (sacrifice) dalam bentuk korosi yaitu suatu reaksi penguraian logam berupa suatu reaksi oksidasi sehingga logam yang lebih katodik terhindar dari reaksi korosi. Pelapisan Anodik umumnya dipilih untuk pelapisan dengan tujuan utama untuk melindungi logam dari serangan korosi (Pelapisan Protektif).

Keunggulan dan Pelapisan Anodik adalah sifat logam pelapis yang bersifat “melindungi” logam yang dilapisi, sehingga walaupun terjadi cacat pada permukaan pelapis karena berbagai sebab seperti tergores retak, terkelupas dll, sehingga terjadi ‘exposure’ terhadap lingkungan sekitarnya, sampai batas tertentu tetap terproteksi oleh logam pelapis. Sifat seperti ini tidak terdapat pada logam yang dilapisi dengan logam yang lebih katodik.

IV.2. Pelapisan Katodik

Pelapisan katodik dikatakan pada setiap pelapisan dimana logam pelapis sifat elektrokimianya lebih Katodik dibandingkan dengan

substrate. Pelapisan yang dilakukan dengan Emas atau Perak terhadap Tembaga merupakan contoh Pelapisan Katodik yang banyak dikenal.

Emas dengan potensial elektrokimia 1,5 Volt atau Perak dengan potensial elektrokimia +0,799 Volt akan bersifat Katodik terhadap Tembaga dengan potensial elektrokimia 0,34 Volt atau Besi dengan potensial elektrokimia -0,04 Volt. Dalam hal ini, bahan pelapis Emas (Au) atau Perak (Ag) bersifat lebih mulia dibanding substrate yang berupa Tembaga (Cu) atau Besi (Fe). Pelapisan Katodik pada umurnya dipakai pada perhiasan dimana tujuan Dekoratif lebih utama daripada tujuan Protektif.

Kelemahan dari Pelapisan Katodik, adalah kerawanan terhadap korosi lokal bila terjadi cacat pada permukaan logam pelapis, baik karena tergores, karena tergesek atau karena sebab lain yang tak dapat diperkirakan. Bila terjadi cacat pada logam pelapis, maka logam yang dilapisi akan terekspose ke lingkungan dan akan bersifat anodik, sehingga akan terjadi korosi lokal yang intensif terhadap substrate.

Pelapisan Katodik sangat cocok digunakan pada Pelapisan Dekoratif, karena umumnya aksesoris dan perhiasan dari bahan-bahan imitasi tidak dikenai gaya-gaya dari luar sehingga kecil kemungkinan untuk mengalami cacat lokal pada permukaan.

V. METODE PELAPISAN LOGAM

Secara teknis, pelapisan metalik dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain adalah dengan cara-cara sebagai berikut:

- Pelapisan dengan Celup Panas (Hot Dipping)
- Pelapisan dengan Penyemprotan (Metal Spraying)
- Cladding
- Conversion Coating
- Pelapisan Listrik (Elektroplating)

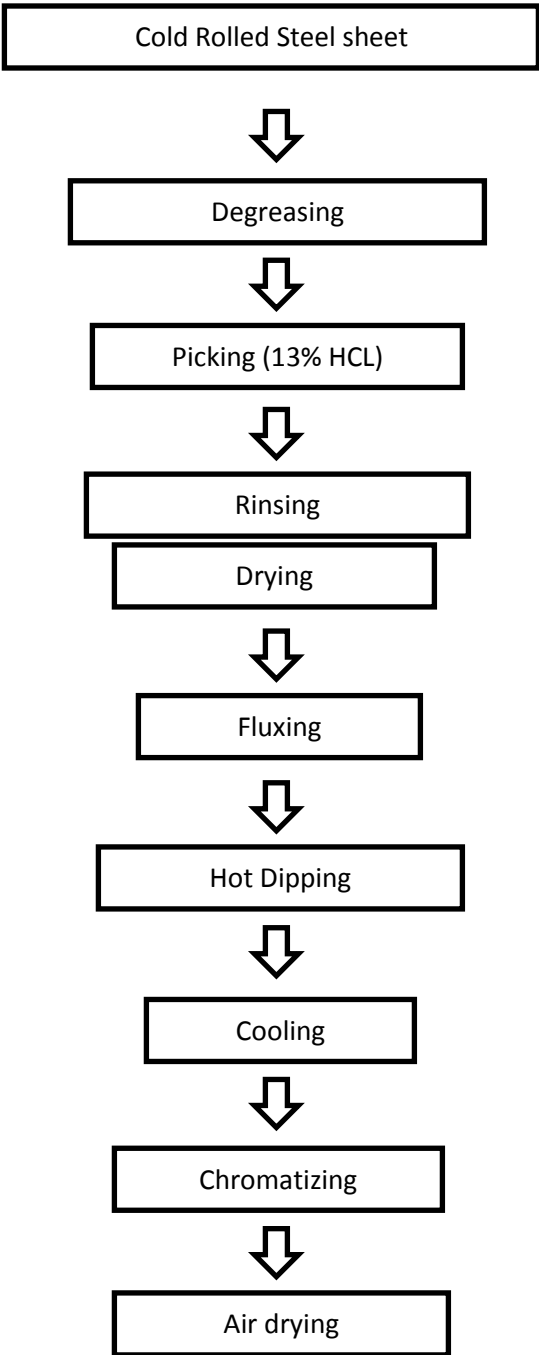
V.1. Pelapisan dengan Celup Panas (Hot Dipping)

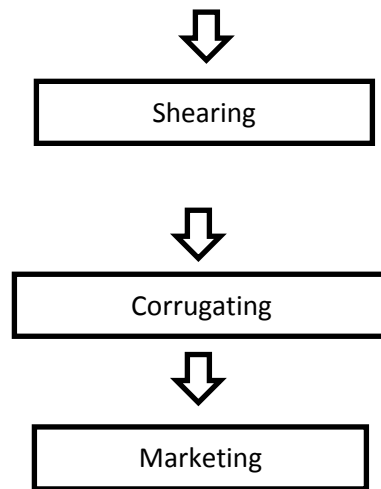
Pelapisan dengan celup panas dilakukan dengan cara mencelupkan logam yang akan dilapisi kedalam logam pelapis yang berada dalam keadaan cair. Karena itu titik cair logam

yang akan dilapisi harus lebih tinggi dari titik cair logam pelapis. Metode pelapisan Celup Panas yang paling dikenal di tingkat komersial adalah pelapisan sheet baja dengan Zinc pada pembuatan atap seng.

Untuk mengenal lebih dalam tentang praktek Pelapisan Celup Panas dalam skala industri, dapat kita lihat pada sebuah pabrik seng di Kota Palembang sebagai acuan praktis. Pabrik ini memproses baja lembaran polos menjadi seng gelombang dengan volume produksi mencapai 150.000 m³ per-tahun. Pabrik ini merupakan pabrik baja dengan tingkat proses sekunder. Umumnya pabrik seng memproses “cold rolled steel sheet” dengan tebal 0,2 mm menjadi “zinc plated steel” dengan metode “hot dipping”.

Secara garis besar proses Zinc Coating berlangsung dengan rangkaian proses seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. Diagram alir pelapisan Zn dengan metode celup panas

Proses yang terjadi pada setiap tahapan adalah sbb:

- Degreasing, adalah suatu proses untuk menghilangkan lemak, minyak dan kotoran lain yang melekat pada permukaan CRS (Colled Rolled Steel Sheet). Proses ini dilakukan paling awal dengan air bercampur chloride pada konsentrasi rendah.
- Pickling, adalah proses pembersihan permukaan CRS dengan larutan berupa air dengan 10% HCL pada suhu kamar. Proses ini dimaksudkan agar permukaan CRS bebas dari lapisan pasif yang dapat menghalangi proses pelapisan.
- Rinsing, adalah proses pembersihan permukaan CRS dari unsur-unsur chloride yang berasal dari unsur-unsur chloride yang berasal dari proses degreasing dan proses pickling yang dilakukan sebelumnya

serta untuk membersihkan kotoran yang dilakukan sebelumnya serta untuk membersihkan kotoran yang mungkin masih melekat pada permukaan CRS setelah proses itu. Proses ini dilakukan dengan air hangat tanpa campuran pada temperatur $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. pemanasan air ini dilakukan dengan suplai uap yang terus menerus.

- Drying, adalah proses pengeringan permukaan CRS yang sudah bersih dari proses sebelumnya. Pengeringan dilakukan dengan pemanasan yang berasal dari 'filament' yang ditempatkan pada sepanjang laluan CRS.
- Fluxing, merupakan persiapan akhir yang dilakukan agar bahan pelapis dapat melekat dengan baik di permukaan CRS. Larutan fluxing berupa $0,85\text{ Kg ZnCl}_2$ dan $0,8\text{ Kg NH}_4\text{Cl}$ yang dilarutkan dalam lima liter air. Kapasitas tanki fluxing pada adalah 600 liter dengan penambahan terus menerus sebanyak 4 kg fluxing per 1 ton CRS. Pengeringan tak perlu dilakukan setelah fluxing, karena temperature operasi fluxing yang berkisar pada $340\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Hot Dipping, merupakan proses celup panas setelah fluxing. Pada proses ini CRS yang akan dilapisi dilewatkan pada tanki Zn cair yang berada pada temperatur $440\text{ }^{\circ}\text{C} - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalam bahan pelapis ini terkandung juga Belerang dan Antitin (Antimony dan Tin Ingot) yang berfungsi untuk memberikan efek mengkilap pada permukaan.

Proses hot dipping ini dilanjutkan dengan proses pendinginan CRS dengan air pada suhu kamar. Proses ini sekaligus memberikan efek ‘tempered’ terhadap permukaan pelapis. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pelapisan lanjutan berupa “chromatizing”.

- Chromatizing, merupakan proses yang berguna untuk membuat agar CRS yang sudah dilapisi awet dalam penyimpanan. Chromatizing merupakan proses pelapisan lanjutan dengan Sodium Dichromat (CrO_3) kepermukaan seng.
- Drying dengan udara hembus. Proses ini dilakukan dengan udara hembus untuk memberikan efek ‘Sakura Flower’ pada permukaan CRS. Setelah proses ini, maka CRS sudah selesai diproses dan dapat disebut sebagai “galvanized-CRS”
- Shearing, yaitu proses pemotongan galvanized-CRS dengan gunting. Proses ini sudah merupakan proses teknis biasa yang bukan merupakan proses pelapisan.
- Corrugating, yaitu proses pembuatan gelombang pada galvanized-CRS. Proses ini dilakukan dengan Corrugated rolls.
- Marketing, merupakan proses akhir dari proses produksi galvanized-CRS.

Perlu diketahui bahwa untuk mendapatkan suatu hasil yang baik, proses pelapisan Celup Panas memiliki keterbatasan dalam penerapannya, yaitu :

- Bentuk permukaan logam yang akan dilapisi tidak kompleks

- Pelapisan relative tebal, yaitu sekitar 50 hingga 150 mils.

Guna memperkecil resiko teknis yang dapat timbul, maka metode pelapisan ini terutama diterapkan pada pelapisan yang tidak memerlukan kerataan permukaan secara mutlak.

V.2. Pelapisan dengan Penyemprotan Logam (Metal Spraying)

Pelapisan dengan penyemprotan logam ini dilakukan dengan menyemprotkan logam cair dalam bentuk partikel-partikel halus kepermukaan logam yang akan dilapisi hingga membentuk suatu lapisan. Metal spaying adalah suatu metode pelapisan logam dengan menyemprotkan material logam atau non-logam dalam bentuk butiran halus agar membentuk lapisan. Jenis pelapisan ini digolongkan sebagai “*non fusion*” dimana material yang dilapisi dan endapan lapisan tidak menyatu karena tidak mencair bersama-sama.. Jenis material yang biasa digunakan berupa logam, ceramic, cermet dan bahkan plastik. Sebenarnya semua jenis material bisa digunakan selama material tersebut bisa mencair dan mudah dibentuk saat panas dan tidak mudah menguap saat dipanaskan namun adhesifnya terhadap substrate dipertimbangkan.

Endapan yang dihasilkan tidak mencair bersamaan dengan permukaan yang dilapisi. Oleh karena itu, permukaan yang akan diapisi harus dibuat kasar dengan kedalaman pengasaran ini sekitar 1,25 mm. Ada

tiga bentuk pengkasaran yang umumnya dilakukan sebelum melakukan metal spraying, yaitu:

1. Pengkasaran alur (Grooving), berupa pengkasaran yang dilakukan dengan membentuk slot atau alur-alur dengan sudut tajam yang dimaksudkan agar dapat mengikat logam pelapis yang disemprotkan dengan kuat dan tak mungkin bergeser.
2. Pengkasaran bubut (Rough turning), yaitu pengkasaran bergelombang yang dilakukan dengan mata pahat sementara benda kerja berputar sehingga terbentuk alur melingkar.
3. Pengkasaran amplas (abrasive blasting), yaitu pengkasaran dengan menggunakan amplas atau tembakan pasir.

Cara lain untuk mengikat logam pelapis adalah dengan menggunakan pengikat yang bekerja secara chemical.

Karena proses deposisi partikel-partikel logam yang disemprotkan ini telah mengalami gesekan dengan udara sebelum menyentuh permukaan yang dilapisi, maka lapisan yang terbentuk cenderung porous dan kurang solid. Sifat lapisan yang 'porous' ini akan menguntungkan bila lapisan yang sudah ada ini akan di-overcoat dengan lapisan lain, karena akan memperkuat ikatan logam pelapis berikutnya. Namun, bila pelapisan lanjut tidak dilakukan lagi, maka untuk menutupi porositas ini, pada umumnya pelapisan dengan penyemprotan ini dilengkapi dengan

jenis pelapisan lain, yaitu pengecatan untuk mengisolasi bahan pelapis yang sudah ada dari proses oksidasi atmosfer.

Pelapisan dengan Penyemprotan ini dapat dilakukan dengan alat yang mirip alat tembak ('pistol') dengan tiga bentuk logam pengumpan, yaitu: bentuk Kawat, bentuk Bubuk dan bentuk Plasma.

Metal spraying dengan pengumpan kawat

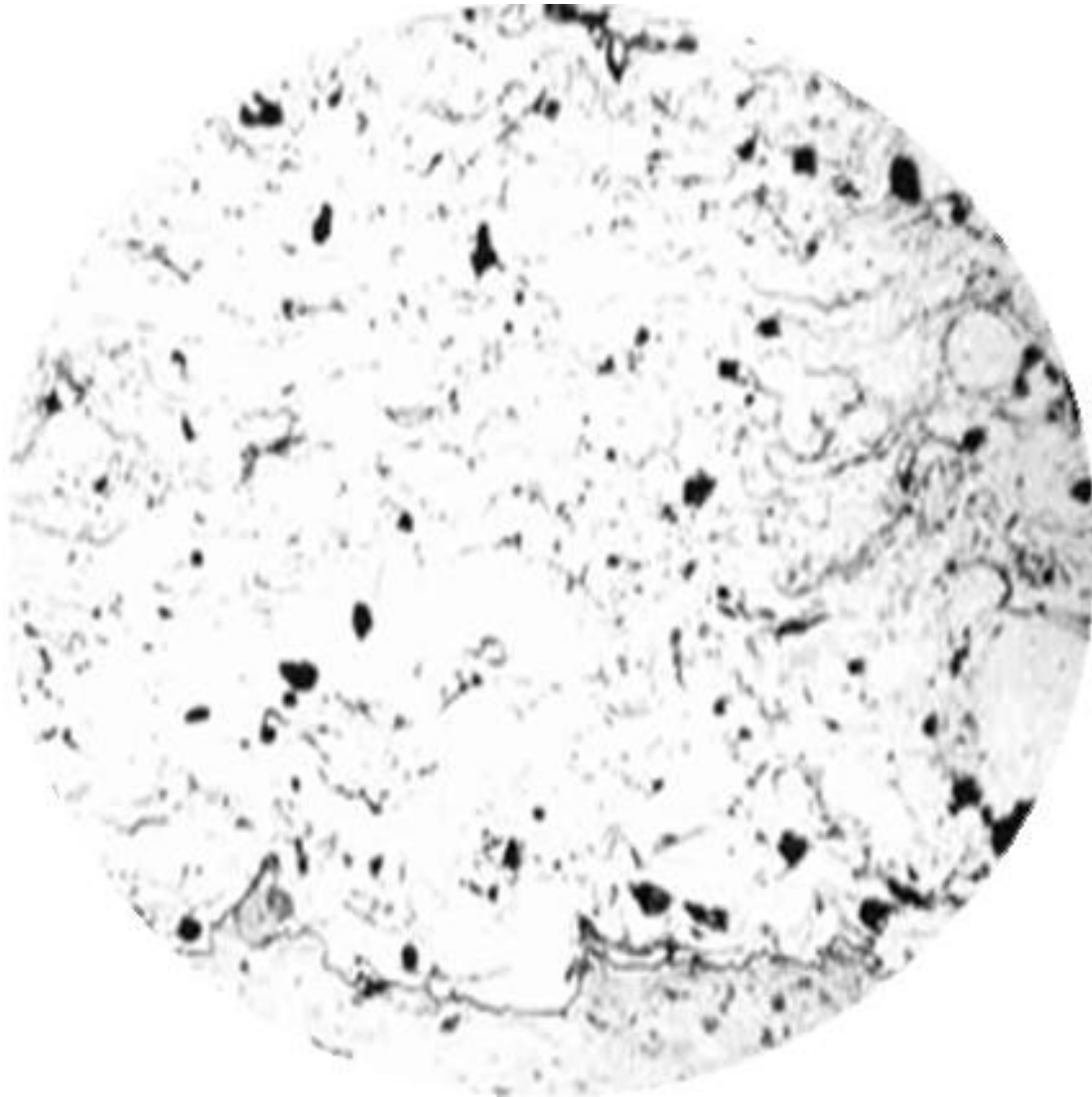
Proses ini spraying dengan pengumpan kawat pertama kali ditemukan oleh Schoop pada tahun 1910. Proses ini terdiri dari penarik kawat, udara bertekanan, tanki oxygen, acetylene dan roller. Cara kerjanya kawat ditarik ke ruang bakar yang berbahan bakar oxygen, acetylene dan udara bertekanan. Tetesan kawat yang mencair, diatomasi oleh udara yang bertekanan dan mendorongnya ke luar menuju permukaan yang dilapisi. Jarak penyemprotan berkisar 10 – 25 cm dan menghasilkan luas permukaan sekitar 2,5 – 10 cm². Kemampuan alat ini untuk melapisi sekitar 93 m² / jam.

Material yang biasa diumpankan :

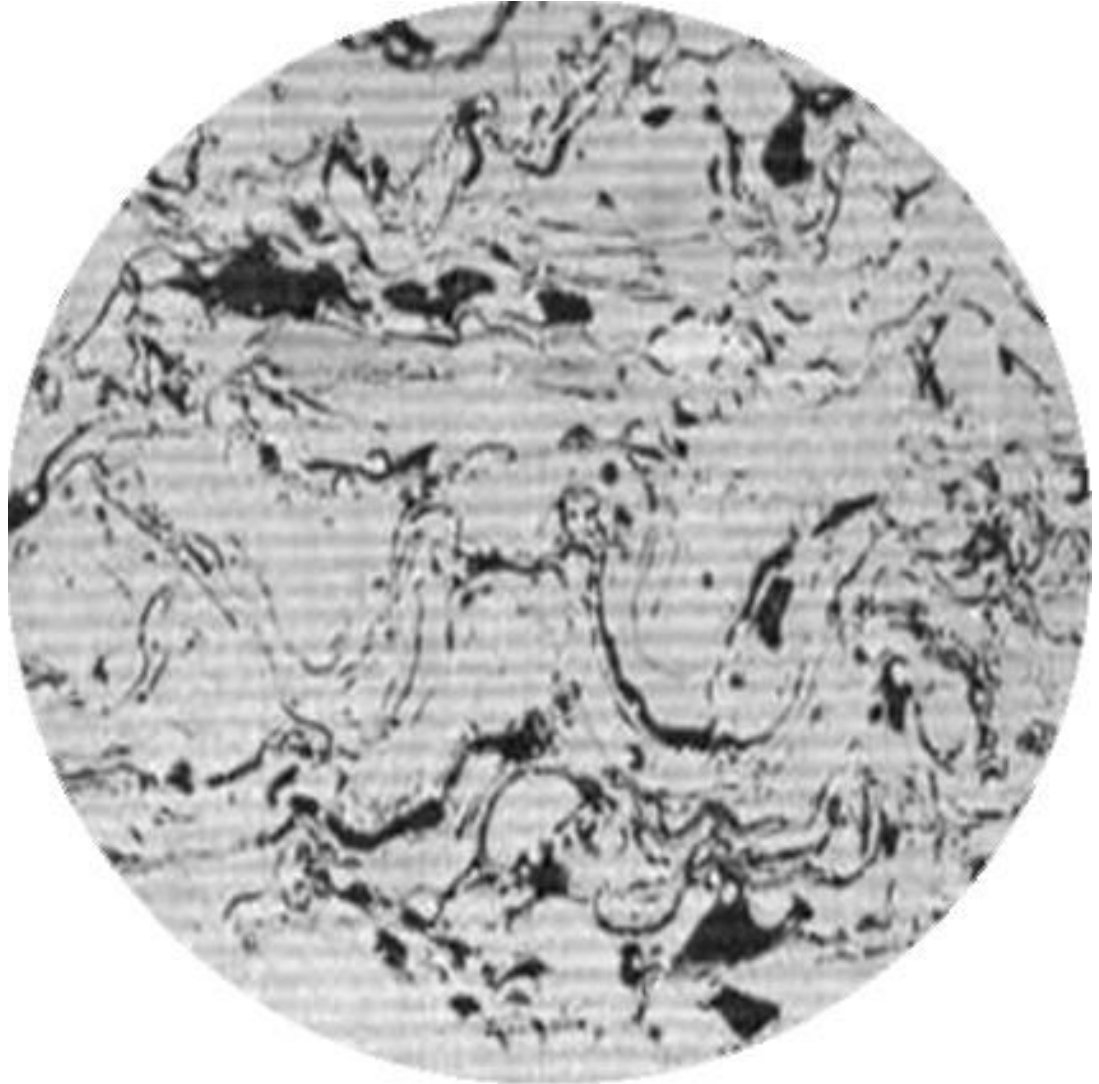
- Zinc, aluminium dan stainless steel untuk anti-korosi cathodic pada baja
- Molybdenum untuk pengikat lapisan
- Molybdenum untuk pengerasan dan ketahanan gesek.
- Baja kromium tinggi untuk kekerasan dan tahan aus.

- Stainless steels, nickel and monel untuk anti-corrosion and tahan aus.
- Aluminium, nickel/aluminium untuk tahan korosi

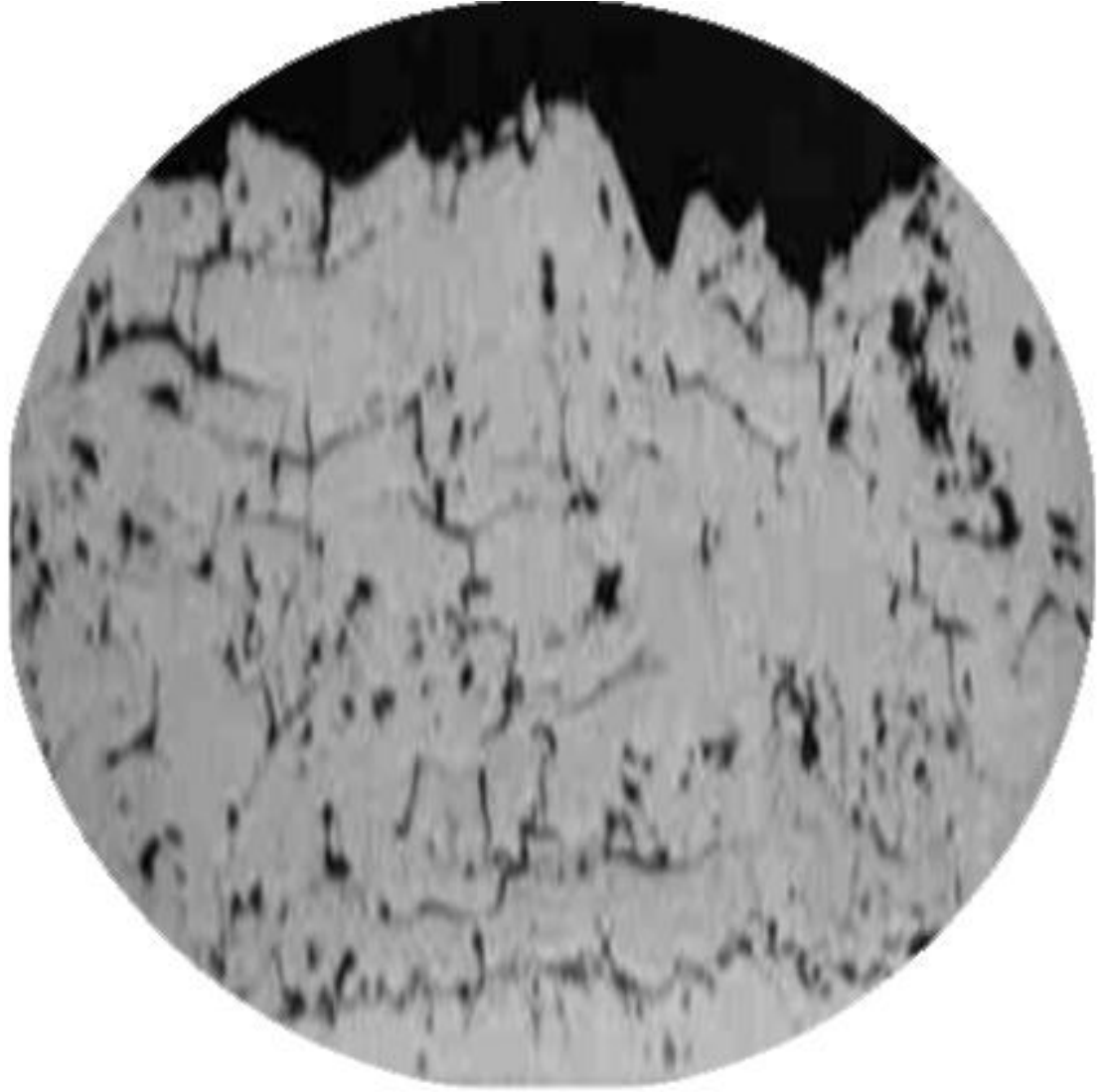
Struktur mikro logam pelapis yang dilapisi dengan metoda metal spraying, mengandung banyak pori atau void. Gambar-gambar berikut menunjukkan struktur mikro logam pelapis dimana titik-titik hitam adalah porositas yang berisi gas atau oksida.



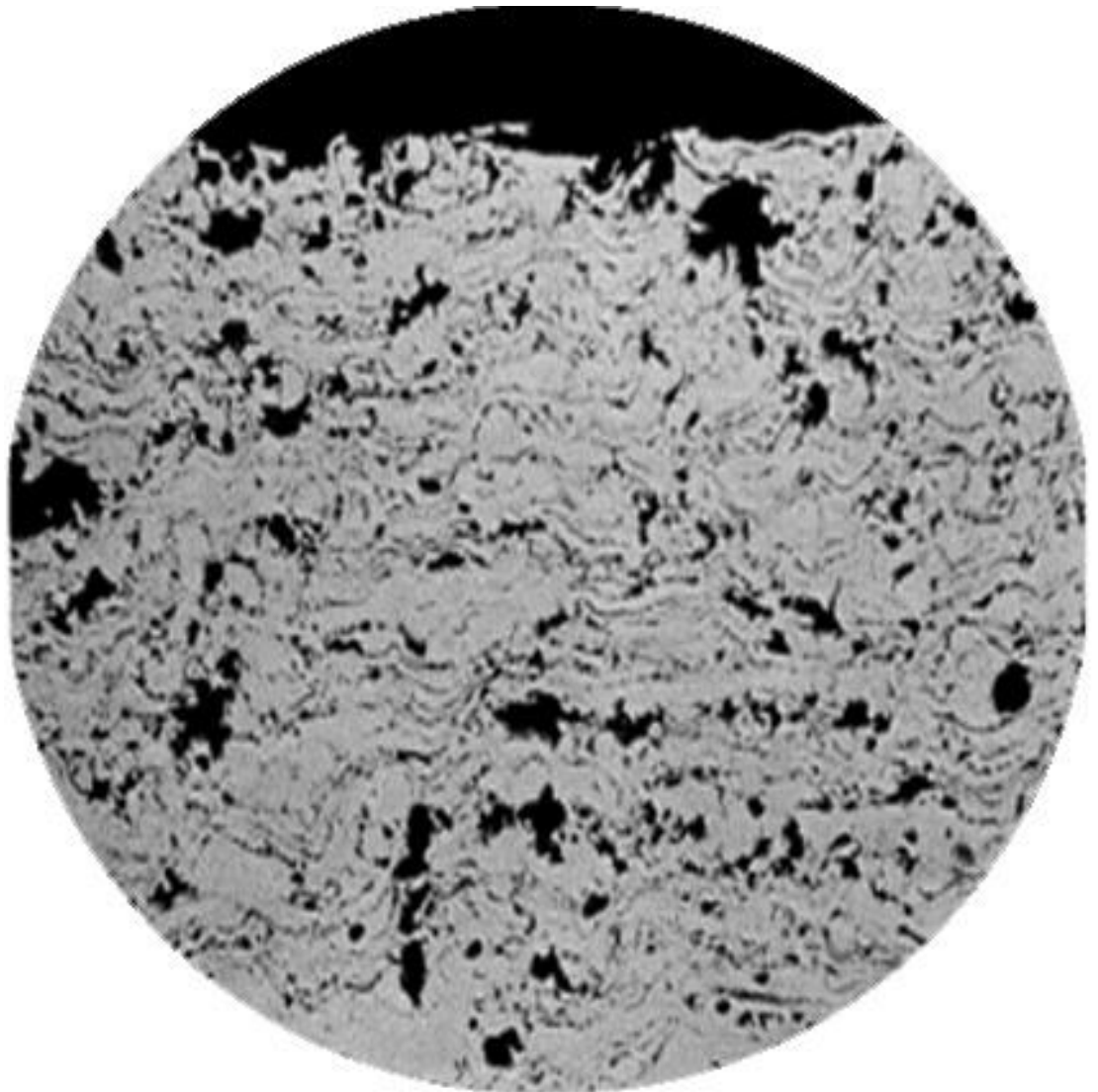
Gambar 2. Pelapisan dengan baja dengan kandungan chromium 13%. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.



Gambar 3. Pelapisan dengan nickel. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.



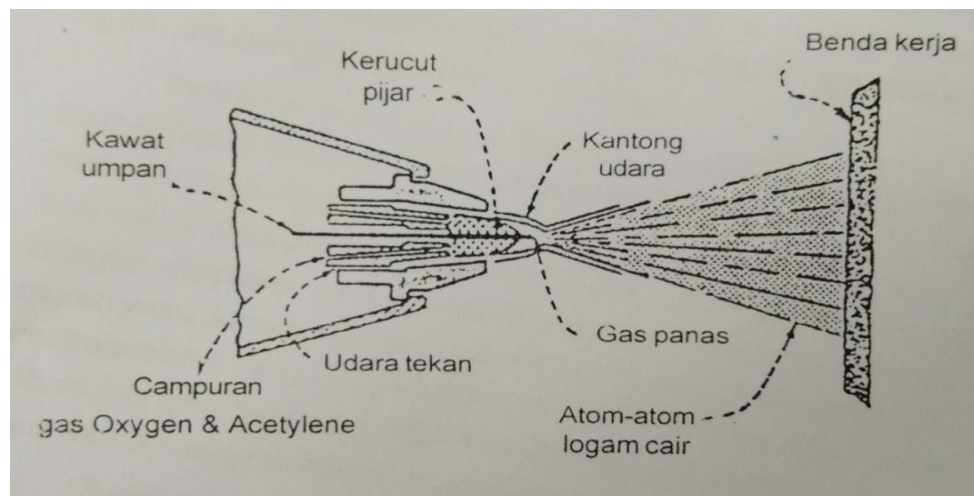
Gambar 4. Pelapisan dengan Molybdenum. Titik-titik hitam menunjukkan porositas.



Gambar 5. Pelapisan metoda spraying dengan baja karbon tinggi.
Titik-titik hitam menunjukkan porositas.

Prinsip kerjanya sama, dimana ke bagian dalam 'chamber' atau ruang pembakar dialirkan gas campuran antara acetylene dan oksigen. Gas ini akan terbakar ketika melewati elektroda panas dalam 'chamber' sehingga timbul suhu yang tinggi mencapai 8500 – 17000 ($^{\circ}\text{C}$).

Dalam waktu yang bersamaan, gas panas ini akan melelehkan logam pengumpan yang diumpankan kedalam 'chamber' setelah tercapai stabilitas temperatur dalam 'chamber'. Gas panas yang mengalir dengan kecepatan tinggi ini kemudian akan memecah logam umpan yang meleleh tersebut menjadi butiran-butiran yang halus dan membawa butir-butir logam cair ini ikut serta dalam aliran gas tersebut hingga keluar alat penyemprot. Ketika aliran gas ini disemprotkan ke permukaan 'substrate', butiran-butiran logam yang halus ini akan terdampar pada permukaan logam 'substrate' dan tetap disana sebagai logam pelapis.

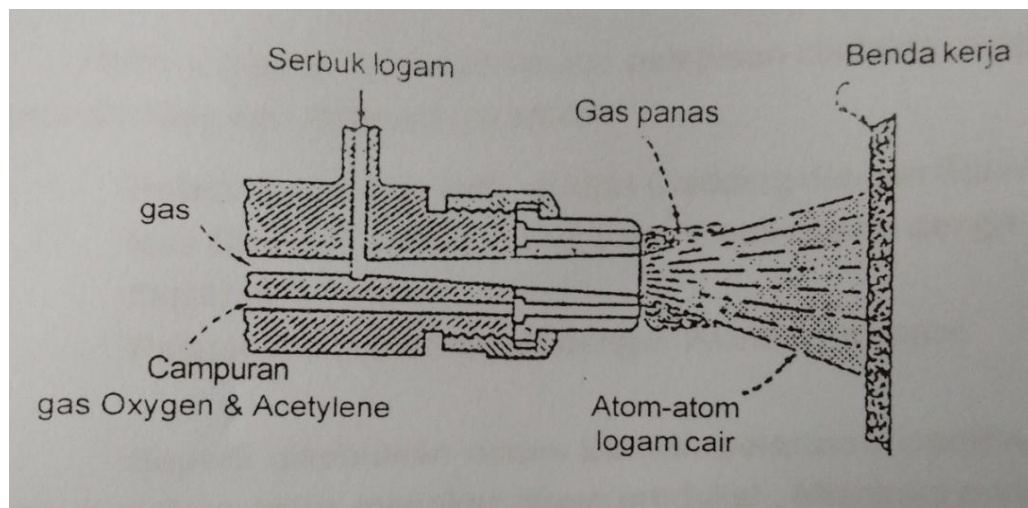


Gambar 6. Anatomi pistol dimana logam pengumpan berbentuk kawat.

Temperatur gas panas dalam chamber berkisar antara 8500 hingga 17000 °C. Gas ini dapat diatur kecepatannya dengan mengatur kelep yang ada pada alat penyemprot tersebut. Pada pistol dengan logam pengumpan berupa kawat, butir-butir halus logam cair berasal dari kawat yang di umpankan kedalam aliran gas panas. Karena dalam kondisi operasi, timbul panas yang tinggi dalam ‘chamber’ maka pelapisan dengan penyemprotan ini sering juga disebut “Flame Spraying”.

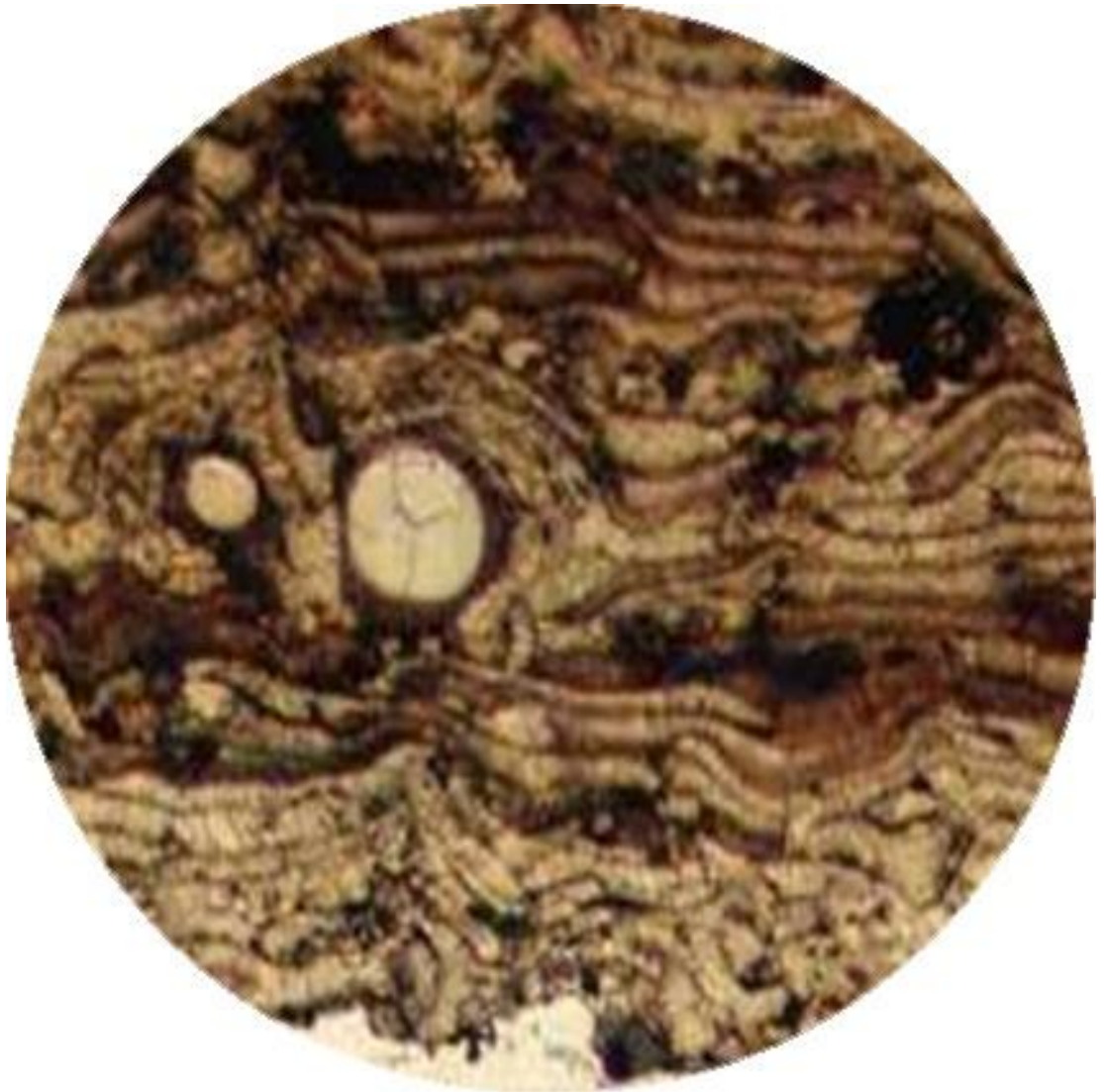
Operasional pengaturan kelep, jarak permukaan logam yang akan dilapisi serta kaitannya dengan logam pelapis yang digunakan (antara lain Zinc dan Aluminium) amat merupakan keahlian praktis yang dimiliki seorang operator pengguna peralatan tersebut.

Metal Spraying dengan pengumpan Serbuk



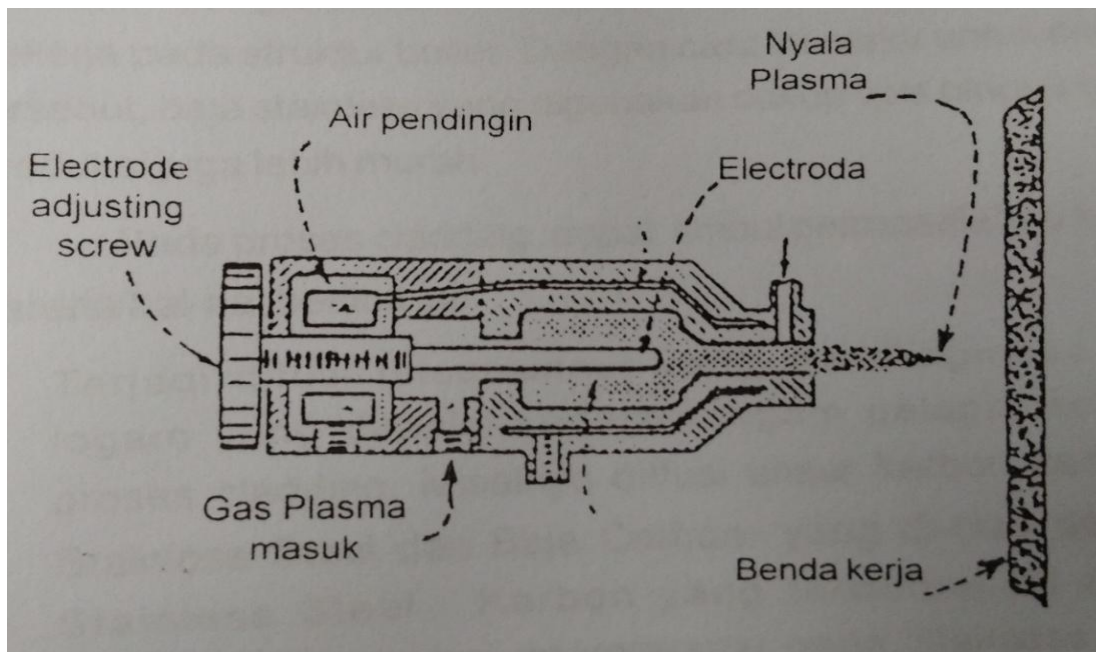
Gambar 7. Anatomi ‘ pistol’ dimana logam pengumpan berbentuk serbuk

Proses pelapisan dengan pengumpan serbuk ini bekerja dengan cara serbuk dialirkan ke ruang bakar yang berbahan bakar gas (Acetylene / Hydrogen) ditambah dengan Oxygen. Temperatur di ruang bakar 3.100 °C (Oxy-Acetylene), 2.700 °C (Oxy-Hydrogen) sehingga akan dapat mencairkan serbuk dan udara yang bertekanan mendorong serbuk cair tersebut dengan kecepatan sebesar 60 – 240 m/s. Material yang sering digunakan pada pelapisan metoda ini diantaranya adalah karbida, baja paduan tinggi, stainless steel cobalt-base alloy dan ceramic.



Gambar 8. Pelapisan spraying komposit Cu-Al dengan pengumpan serbuk. Bagian-bagian hitam menunjukkan porositas.

Metal Spraying dengan pengumpan Plasma



Gambar 9. Anatomi pistol dimana logam pengumpan berbentuk plasma.

Proses ini adalah suatu proses dimana serbuk yang digunakan, ditaburkan pada bagian dimana plasma akan disemburkan sehingga serbuk mencair dan diatomisasi oleh aliran jet plasma itu sendiri. Plasma adalah berupa gas yang terionisasi yang terdiri dari electron dan molekul gas plasma. Gas yang digunakan adalah gas-gas inert, yaitu Argon, helium, nitrogen dan hydrogen. Gas tersebut dialirkan oleh control unit ke penembak. Di dalam penembak, gas tersebut dinyalakan oleh percikan busur api yang berarus tinggi yang menyebabkan ionisasi local dan membentuk konduktifitas busur dc antara katoda dan anoda. Gas tersebut mencapai temperatur puncak,

memecah dan mengionisasi sehingga membentuk plasma yang kemudian mendorong serbuk yang ditaburi ke luar menuju permukaan. Tungsten digunakan sebagai elektroda yang memancing terjadinya busur api dan air pendingin yang digunakan untuk mengurangi panas yang ditimbulkan. Temperatur plasma sebesar 28.000 °C dan diameter partikel serbuk sebesar 30 – 100 µm. Serbuk yang digunakan dicampur dengan inert gas dan digetarkan agar tidak terjadi gumpalan. Jenis serbuk yang biasa digunakan yaitu logam, ceramic (Oxide dan Carbida), Cermet dan komposit. Jarak penyemprotan sekitar 25 mm.

V.3. Cladding

Cladding adalah suatu proses penyatuan dua logam yang berbeda melalui proses extruding melalui sebuah laluan roll dengan tekanan yang besar dan temperatur tinggi.

Proses cladding yang dikenal hingga saat ini diantaranya adalah

- Hot rolling
- Explosive forming.
- Laser cladding

Hot rolling , merupakan sebuah proses ‘cladding’ yang dilakukan dengan melewati dua keping logam yang akan disatukan melalui

sebuah celah roll dan dikenai suhu tinggi sehingga menyatu. Untuk itu, kedua permukaan logam harus benar-benar bersih hingga tak terhalang untuk menyatu. Proses ini terutama digunakan pada pembuatan heat exchanger pada peralatan sistem pendingin.

Explosive forming atau disebut juga explosive welding adalah sebuah proses untuk menyatukan dua buah logam yang berbeda untuk suatu tujuan, terutama untuk menahan serangan korosi. Explosive sendiri merupakan suatu 'ledakan' dari senyawa kimiawi yang membentuk suatu lapisan antara keduanya. Flat dengan ukuran 4 – 16 meter dapat dikerjakan dengan metode ini.

Laser cladding merupakan suatu metoda pengendapan material berupa bubuk logam atau berupa pengumpan kawat yang dilelehkan dengan laser dipermukaan material lainnya hingga membanetuk suatu pelapisan. Metoda ini sering digunakan untuk menciptakan ketahanan korosi bahan, memperbaiki bagian mesin yang aus dan fabrikasi metal matrix composite.

Dari kedua cara ini, metode pelapisan dengan rolling lebih banyak digunakan, karena hasilnya lebih rata kekuatannya dan lebih mudah dikontrol. Cladding merupakan suatu proses pelapisan dengan kesenyawaan yang sangat kuat.

Cladding umumnya dilakukan untuk pelapisan logam dengan logam lain yang tidak berbeda jauh potensial elektrokimianya. Cladding

merupakan pelapisan logam dengan logam lain dengan ketebalan yang tinggi.

Pelapisan ini terutama digunakan pada keadaan khusus dengan tujuan untuk mereduksi biaya manufaktur. Misalnya pada dinding vessel, bila keseluruhan dinding dibuat dari baja stainless, maka biaya produksi akan mahal dan harga alat akan tinggi. Dengan cladding, maka proses produksi dapat dibuat lebih murah yaitu dengan menyatukan kedua flat logam stainless dan flat baja biasa yang harganya lebih murah. Dimana baja biasa dibuat menghadap ke luar, dan baja stainless dibuat menghadap kedalam dimana diperlukan ketahanan terhadap korosi.

Cladding merupakan suatu cara pelapisan logam untuk mengendalikan korosi merata dalam jangka waktu yang relative panjang. Misalnya dilingkungan dengan korosifitas yang tinggi. Tujuan pelapisan dengan perbedaan potensial elektrokimia yang kecil adalah untuk menghindari efek korosi galvanic antara keduanya selama masa operasi.

Berikut adalah beberapa contoh pelapisan cladding yang pernah dilakukan, diantaranya adalah:

- Pelat baja tebal $\frac{3}{4}$ inch, di lapis Cladding dengan Stainless Steel
1/8 inch.
- Flat baja 1 inch dilapisi dengan flat Nikel 1/8 inch.
- Paduan Aluminium dilapisi dengan Aluminium murni.

Seperti disebutkan diatas bahwa, pelapisan cladding diaplikasikan untuk menekan biaya produksi. Misalnya pada bejana-bejana tekan dan pada boiler.

Misalnya baja yang dilapisi cladding dengan Stainless Steel, dimana stainless steel digunakan untuk memberikan ketahanan korosi, sedang baja digunakan untuk memenuhi kekuatan yang diperlukan untuk menopang gaya-gaya yang bekerja pada struktur boiler. Dengan cara ini maka untuk bejana tersebut, baja stainless yang digunakan cukup tipis hingga biaya produksi juga lebih murah.

Pada proses cladding, dapat timbul permasalahan korosi karena hal-hal berikut ini:

- Terjadi difusi unsur-unsur yang tak diinginkan dari logam yang dilapisi kedalam logam pelapis selama proses cladding. Misalnya difusi unsur karbon kedalam Stainless Steel dari Baja Karbon yang di-clad dengan Stainless Steel. Karbon yang terdifusi ini dapat menyebabkan korosi intergranular pada Stainless Steel karena terbentuknya karbida pada batas butir di dalam logam stainless.
- Terjadi perubahan metalurgis yang besar pada logam pelapis sehingga perlu perlakuan panas pasca proses Cladding untuk menghilangkan tegangan dalam (internal stress) pada logam clad, dan mengembalikan struktur mikro logam mendekati bentuk awalnya..

V.4 Conversion Coating

Conversion Coating merupakan pelapisan logam yang dilakukan dengan cara ‘mengkorosikan’ permukaan logam tersebut sehingga membentuk lapisan yang kuat melekat serta protektif. Zat yang sebenarnya merupakan oksida logam ini menjadi bagian yang integral dan merupakan bentuk lapisan yang dikehendaki pada permukaan logam tersebut. Karena material pelapis yang terbentuk merupakan suatu oksida, maka Pelapisan Konversi dapat dikategorikan, termasuk pelapis inorganic.

Beberapa Pelapisan Konversi yang sudah luas dikenal saat ini adalah:

- a. Pelapisan Phosfat
- b. Pelapisan Chromat dan
- c. Anodizing

Dalam implementasinya, Pelapisan Konversi memiliki fungsi-fungsi berikut:

1. Menimbulkan lapisan yang melekat kuat pada permukaan.
2. Bersifat dapat menahan korosi, setidaknya selama proses pengapalan.
3. Dapat menyerap oil atau wax sehingga membantu ketahanan korosi permukaan.
4. Memberikan warna permukaan yang lebih baik.
5. Memperbaiki ketahanan permukaan terhadap abrasi.

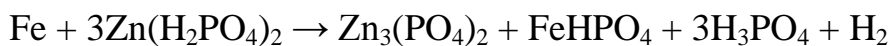
V.4.a. Pelapisan Phosfat

Pelapisan Phosfat umumnya digunakan untuk logam ferrous dan non-ferrous. Ketebalan pelapisan phosfat adalah sekitar 0,0001 hingga 0,002 inch. Sedemikian tipisnya, sehingga lapisan konversi phosfat umumnya tidak berdiri sendiri untuk menahan korosi. Lapisan konversi phosfat umumnya digunakan untuk dua tujuan berikutnya, yaitu:

- Sebagai lapisan dasar dari proses pengecatan.
- Sebagai lapisan yang dapat menyerap Oil atau Wax agar tahan terhadap korosi.

Lapisan konversi phosfat yang banyak dipakai adalah phosfat yang mengandung Zinc, Ferro dan Mangan. Bahan-bahan ini semua larut dalam asam, tetapi tidak dalam larutan yang netral atau alkali. Salah satu aplikasi lapisan konversi phosfat yang populer adalah pada body mobil. Lapis konversi phosfat.

Mekanisme pelapisan terjadi bila sepotong baja dicelupkan dalam larutan asam phosphor, maka permukaan logam tersebut akan terkorosi, namun reaksi katodik dari titik-titik katoda di permukaan tersebut akan meningkatkan alkalinitas disekitar permukaan. Sebagai akibatnya, jika dalam larutan tersebut terdapat unsur Zinc atau Mangan Phosfat, maka akan terjadi deposisi pada permukaan dengan reaksi yang disederhanakan sebagai berikut:



Unsur $\{Zn_3(PO_4)_2 + FeHPO_4\}$ merupakan senyawa yang terbentuk pada permukaan logam yang membentuk lapisan konversi fosfat. Dalam praktek, pada saat logam dicelupkan dalam larutan asam fosfat, selalu ditambahkan nitrit sebagai akselerator reaksi guna memperkecil dampak polarisasi katodik akibat evolusi hydrogen di permukaan.

Urutan proses pelapisan fosfat ini adalah sebagai berikut:

1. Pickling, untuk membuang kerak pada permukaan. Dapat juga dengan cara lain, yaitu secara mekanik atau secara kimiawi.
2. Pembersihan lanjut dalam pembersih alkaline selama 4 menit pada 170 °F.
3. Bilas (Rinsing) sebanyak dua kali dalam air pada 90 °F selama 30 detik.
4. Lakukan pelapisan konversi dalam larutan asam Zinc Fosfat selama 4 menit pada temperatur 160 °F.
5. Bilas dengan air pada 90 °F selama 30 detik.
6. Lakukan pelapisan sekunder dengan Chromate, selama 30 detik.
7. Keringkan.

Pelapisan sekunder Chromate sering ditambahkan untuk menutupi sifat porous pada pelapisan Fosfat sehingga meningkatkan sifat tahan korosi pada permukaan.

V.4.b. Pelapisan Chromate

Pelapisan konversi dengan Chromate terutama digunakan untuk logam-logam non-ferrous, seperti Zinc, Cadmium, Magnesium, Aluminium, Tembaga dan Perak. Pelapisan Chromate dapat digunakan sebagai lapisan final pada permukaan logam, tetapi dapat juga digunakan sebagai lapisan dasar bagi proses pengecatan. Pelapisan konversi Chromate lebih solid dibandingkan dengan lapisan konversi Phosfat, karenanya lapisan Chromate lebih tahan korosi dibanding lapisan Phosfat, tetapi kurang mampu menyerap Oil atau Wax.

Karena alasan ini pula pelapisan Chromate dapat menjadi pelengkap bagi pelapisan Phosfat, dan tidak sebaliknya. Pelapisan Chromate sangat banyak digunakan pada Aluminium dan Zinc.

Urutan proses pelapisan dengan Chromate adalah sebagai berikut:

- a. Pickling, untuk membuang kerak pada permukaan. Dapat juga dengan cara lain, yaitu secara mekanik atau secara kimiawi.
- b. Degreasing dengan cairan atau dengan phasa uap.
- c. Bersihkan dengan pembersih alkaline pada temperatur 170 °F
- d. Bilas dengan air.
- e. Lakukan pelapisan Chromate pada 80 °F selama 30 detik hingga 1 menit.
- f. Bilas dengan air
- g. Keringkan pada suhu 150 °F.

Pelapisan konversi Chromate dilakukan dengan mencelupkan logam yang akan dilapisi kedalam larutan asam yang mengandung banyak ion Cr^{+6} . Larutan itu misalnya $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang dilarutkan dalam asam mineral H_2SO_4 . Lapisan itu terbentuk dengan cepat. Namun perlu diingat hasil pelapisan chromate tidak boleh diganggu selama 24 jam pertama, dengan maksud agar struktur pelapisan benar-benar mantap.

V.4.c. Anodizing

Anodizing merupakan pelapisan oxida yang banyak diterapkan pada logam Aluminium. Anodizing dilakukan dengan mencelupkan logam Aluminium dalam posisi sebagai anoda kedalam sel elektrolitik sehingga terbentuk oxida Al_2O_3 pada permukaan logam. Oxida Al_2O_3 bersifat sangat keras dan sangat kuat melekat sehingga logam aluminium dapat bersifat katodik terhadap logam lain yang lebih mulia dilingkungan atmosfer bila semua permukaannya telah teroksidasi sehingga terbentuk oxide Al_2O_3 .

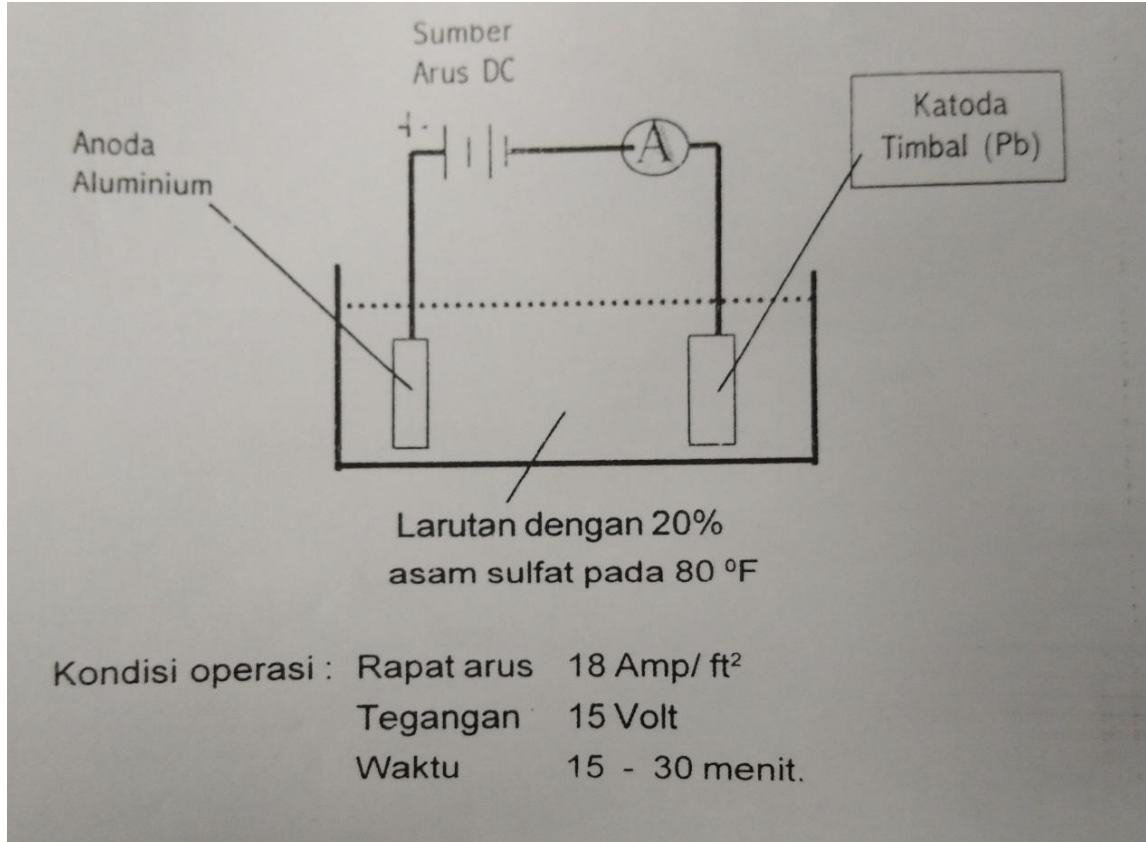
Urutan proses anodizing adalah sebagai berikut:

1. Proses pembersihan, dengan pickling, mekanikal atau kimiawi.
2. Lakukan anodizing dengan mencelupkan logam (aluminium) kedalam larutan asam dengan posisi sebagai anoda. Lihat gambar.

3. Bilas dengan air.
4. Lakukan penyempurnaan oksida dengan mencelupkan hasil pelapisan kedalam larutan dengan 4% sodium dichromate selama 10 hingga 20 menit.

Larutan elektrolit yang sering digunakan adalah asam sulfur. Larutan asam chromic dapat juga digunakan, namun kurang memberikan hasil yang baik untuk paduan dengan kadar tembaga lebih dari 5%. Ketebalan pelapisan anodizing berkisar antara 0,0001 hingga 0,003 inch atau lebih. Kebanyakan hasil anodizing bersifat agak porous, sehingga untuk menyempurnakannya diperlukan proses tambahan, yaitu dengan dicelupkan dalam air mendidih atau dalam larutan sodium dichromate sehingga terbentuk lapisan oksida yang solid.

Pelapisan anodizing dapat merupakan lapisan final untuk ketahanan terhadap korosi dan abrasi, tetapi dapat juga merupakan lapisan dasar bagi proses pengecatan setelah itu.



Gambar 10. Pelapisan anodizing logam aluminium dengan katoda timbal (Pb)

V.5. PENGENDAPAN UAP (Vapor Deposition)

Pengendapan uap (Vapor Deposition) adalah suatu proses pelapisan dimana material yang digunakan sebagai pelapis dipanaskan hingga menjadi uap dan uap tersebut mengendap pada permukaan dan menghasilkan lapisan. Uap tersebut terdiri dari atom-atom atau molekul-

molekul dan dikondensasikan sebagai lapisan/film pada permukaan yang hendak dilapisi. Transformasi dari padat menjadi uap terjadi akibat pemanasan dimana berlaku aturan apabila pada suatu keadaan energi kinetic atom-atom cukup besar untuk memisahkan diri dan membentuk uap. Semakin tinggi temperature maka energi kinetic atom akan semakin besar. Dalam keadaan kedap udara dan tekanan rendah, material padat lebih cepat menjadi uap.

Pelapisan logam atau non logam dengan metode penguapan, biasanya terjadi dengan ikatan Van Der Waals atau ikatan mekanik dan bahkan keduanya. Jika logam yang akan diuapkan bersifat reaktif terhadap benda yang akan dilapisi maka akan terjadi ikatan kimia.

Proses pelapisan dengan Pengendapan Uap ini terdiri dari dua cara yaitu :

1. Pengendapan Uap secara Fisik (Physical Vapor Deposition)
2. Pengendapan Uap secara Kimia (Chemical Vapor Deposition)

IV.5.a. Pengendapan Uap secara Fisik (PVD)

Pengendapan uap secara fisik adalah sebuah metoda pelapisan logam dengan cara mengendapan lapisan tipis uap dipermukaan logam hingga membentuk lapisan yang keras. Prosesnya berlangsung dalam ruang hampa udara dan bersuhu tinggi sehingga, logam pelapis pada kondisi itu mudah menguap dan mengendap dipermukaan substrate.

Pelapisan dengan proses seperti ini diantaranya dilakukan pada alat mesin, optik, elektronik dan alat kimia. Diantara proses dengan prinsip PVD ini adalah Sputtering, Penguapan Thermal (Thermal Evaporation) dan Ion Plating.

Sputtering

Sputter Coating adalah suatu proses pelapisan dalam ruang vakum dengan menggunakan ion dari gas plasma untuk memindahkan atom pelapis atau molekul dari material pelapis ke permukaan logam yang hendak dilapisi.. Plasma yang merupakan gas inert Argon dialirkan diantara permukaan yang dilapisi dan material pelapis. Sementara panas diperoleh dari tegangan listrik yang berkisar antara 500 – 5000 volt.. Tegangan listrik DC digunakan apabila material yang dilapisi dan yang melapisi adalah material penghantar listrik. Sedangkan tegangan AC (RF) digunakan bila material yng dilapisi dan yang melapisi adalah material isolator (non-konduktor). Gas yang digunakan dapat juga bereaksi dengan material pelapis seperti titanium sebagai material pelapis dan gasnya adalah ammonia (NH_3) maka akan menghasilkan lapisan Titanium Nitrida dimana sifatnya sangat keras dan tahan aus.

Thermal evaporation

Thermal Evaporation terjadi dalam ruang bakar kedap udara dengan tekanan $1,3 \times 10^{-3}$ Pa. System pemanasan digunakan untuk menguapkan logam. Dinding Ruang bakar terbuat dari baja yang tahan terhadap tekanan rendah. Pelapisan thermal evaporation akan menghasilkan lapisan jika benda kerja berada dalam fluks logam pelapis yang diuapkan. Benda yang akan dilapisi dapat berupa logam, plastic, cermet. Ikatan pada permukaan tergantung dari kebersihan permukaan benda kerja, tegangan dalam lapisan dan rekasi kimia yang terjadi antara endapan dan permukaan. Permukaan yang dilapisi harus bersih agar ikatan yang terjadi lebih kuat dengan cara melakukan pembersihan dengan bahan pelarut (acetone atau isopropyl alcohol) atau pembersihan secara mekanikal, yaitu dengan sand blasting.

Ion plating

Pelapisan dengan ion, memiliki kemiripan dengan sputtering, yaitu adanya gas yang membawa uap sebagai plasma. Pada ion plating, logam pelapis di-ion-kan dengan bantuan busur listrik dengan arus tinggi pada tegangan rendah sehingga di dapat ion logam pelapis yang terbang bersama plasma. . Sumber listrik yang digunakan adalah sumber listrik DC. Tekanan dalam ruang bakar sekitar $1,3 \times 10^{-3}$ Pa. Ketika gas dialirkan ke ruang bakar, tekanan naik menjadi 13 Pa. Gas plasma dihasilkan diantara filament dan permukaan yang dilapisi. Ion ini kemudian di tabrakkan ke permukaan yang hendak

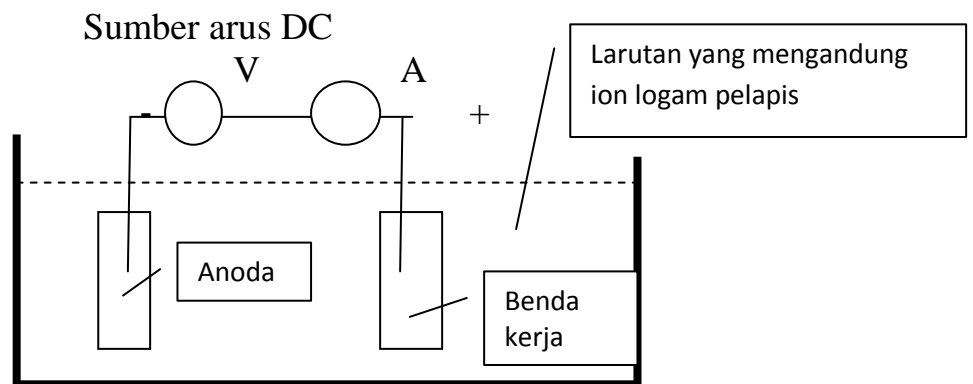
dilapisi, hingga terbentuk lapisan ionik dipermukaan logam. Proses ini semuanya berlangsung dalam ruang vakum. Tebal lapisan sekitar 3 – 5 $\mu\text{m}/\text{menit}$ dan temperatur dalam ruang pemanas yaitu $260^{\circ} - 540^{\circ}\text{C}$.

V.5.b. Pengendapan uap secara kimia (CVD)

Pengendapan uap secara kimia merupakan sebuah proses kimia yang digunakan untuk menghasilkan pelapisan yang berkualitas tinggi, solid dan handal yang dibutuhkan pada industri elektronik. Proses ini sering digunakan pada industri semikonduktor guna menghasilkan lapisan yang berupa film tipis.

V.6. PELAPISAN DENGAN ELEKTROPLATING

Proses pelapisan dengan Elektroplating disebut juga dengan Elektrodeposition. Secara skematis, proses electroplating dapat digambarkan sebagai berikut :

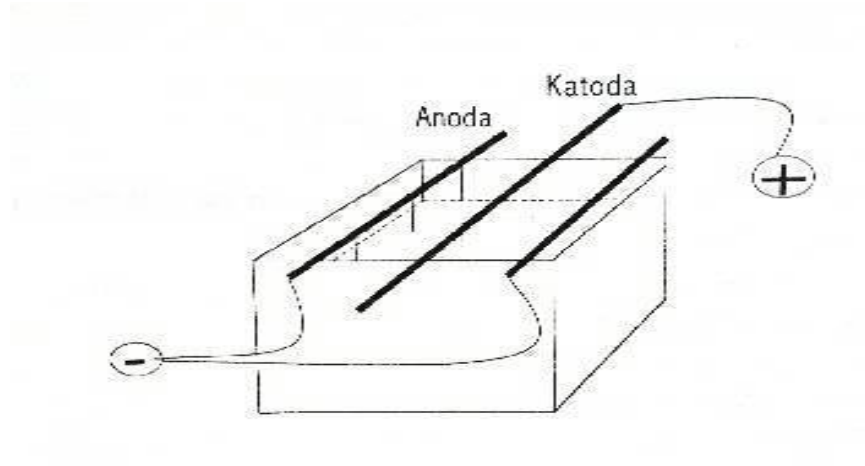


Gambar 11. Diagram kelistrikan proses pelapisan dengan elektroplating

Terdapat 4 (empat) unsur electroplating yaitu;

1. Sirkuit luar, yang terdiri dari sumber arus DC dan peralatan terkait seperti : Ammeter , Voltmeter , serta alat pengatur voltage serta arus
2. Katoda , yaitu elektroda negative , yang merupakan elektroda yang akan dilapisi
3. Larutan pelapis dimana terdapat ion-ion logam pelapis. Dikalangan asosiasi pelapisan disebut “ bath ”.
4. Anoda , yaitu elektroda positif yang merupakan elektroda pelapisan. Namun, kadang kala hanya merupakan material penghubung untuk melengkapi sirkuit tempat terjadi reaksi reduksi, anoda tersebut merupakan logam inert atau logam yang tidak larut. Pada pelapisan semacam ini ion logam pelapis semuanya tersedia dalam elektrolit atau larutan pelapis.

Tanki atau bak penampung larutan pelapis harus terbuat dari material yang tahan dan tidak bereaksi dengan larutan didalamnya. Untuk larutan alkali dapat terbuat dari bahan baja lunak dan untuk larutan asam dapat dibuat dari baja yang dilapisi dengan karet, gelas atau keramik.



Gambar 12. Bak plating untuk pelapisan lebih dari satu buah benda kerja.

Untuk suatu produksi massal, dapat dibuat bak yang cukup besar dengan batang anoda yang bermuatan positif mengapit batang katoda yang bermuatan negative yang ditempatkan ditengah-tengah. Dalam hal ini, benda kerja digantung pada batang bermuatan positif. Prinsip kerja pelapisan yang terjadi, sama dengan proses pelapisan untuk benda kerja tunggal.

V.6.a. Larutan (Bath)

Pelapisan dengan metode electroplating selalu melibatkan arus listrik dalam prosesnya. Arus listrik dihantarkan oleh media, dengan dua cara, yaitu melalui kontak metalik (elektronik) dan kontak elektrolitik (konduksi). Penghantar arus listrik dengan kontak metalik tidak disertai oleh pergerakan material dalam konduktor dan tidak pula oleh reaksi

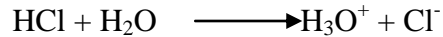
kimia; sedang penghantaran arus listrik dengan kontak elektrolitik , selalu disertai oleh pergerakan material dalam konduktor serta diikuti oleh suatu reaksi kimia.

Pada pelapisan dengan electroplating , arus listrik dihantarkan dengan kedua cara itu sekaligus .diimana elektroda berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dengan anoda pada kutub positif (+) dan katoda pada kutub negative (-). Perbedaan antara keduanya adalah pada tahanan listrik yang besar , diimana tahanan listrik pada elektrolit sangat besar sedangkan tahanan listrik pada elektroda sangat kecil bahkan sering diabaikan.

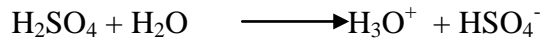
Proses peralihan arus listrik dari satu type penghantar ke type penghantar yang lain selalu disertai oleh reaksi kimia. Artinya ketika arus listrik keluar dari anoda menuju elektrolit terjadi reaksi anodic dan ketika akan keluar dari elektrolit memasuki katoda terjadi reaksi katodik.

Agar sebuah elektrolit dapat menghantarkan arus listrik dengan baik, maka didalam larutan tersebut harus terdapat ion-ion. Pada proses electroplating , ion-ion tersebut terutama berasal dari logam yang akan diendapkan pada permukaan katoda dan ion-ion yang berasal dari unsur kimia yang sengaja ditambahkan untuk mendapatkan lapisan terbaik.

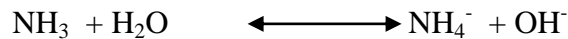
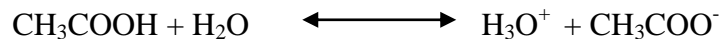
Pada umumnya senyawa kimia yang dilarutkan dalam air atau dalam pelarut yang lain akan membentuk ion-ion. Misalnya : Asam klorida HCl yang dilarutkan dalam air akan membentuk :



Asam sulfat yang diencerkan dalam air akan terlarut menjadi :



Begitu juga NaOH akan terurai menjadi Na^+ dan OH^- . Namun demikian , terdapat juga unsur-unsur yang tidak sepenuhnya larut, misalnya asam asetat dan ammonia.



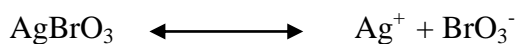
Zat garam dari basa, yang sukar larut dalam air akan membentuk kesetimbangan dinamis antara ion-ion yang larut dan zat padat yang mengendap yang ditunjukkan oleh tanda panah dua arah. Larutan dengan senyawa yang terlarut penuh , disebut larutan ‘kuat’ dan larutan yang tidak terlarut penuh disebut “lemah”.

Dalam proses electroplating , sangat diperlukan suatu kesetimbangan larutan. Pada larutan yang setimbang, akan didapat daya hantar listrik yang konstan. Untuk mendapatkan kelarutan yang setimbang, maka untuk setiap senyawa yang suka larut dalam air terdapat suatu tetapan atau konstanta yang disebut *konstanta hasil kali kelarutan* atau dalam Bahasa Inggris *solubility product constant* yang disingkat K_{sp} . Harga K_{sp} menunjukkan banyak atau setidaknya suatu senyawa elektrolit yang dapat larut dalam air. Makin besar harga K_{sp} makin mudah elektrolit

itu larut. Harga K_{sp} dipengaruhi oleh temperature. Makin tinggi temperature, makin besar pula kelarutan suatu zat dalam air.

Dalam proses electroplating, mengetahui kelarutan suatu senyawa adalah penting dalam upaya untuk mendapatkan daya hantar listrik yang konstan sepanjang proses. Oleh sebab itu penyiapan larutan (elektrolit) untuk proses electroplating adalah penting. Tujuannya adalah untuk mendapatkan larutan yang tepat jenuh dan menghindari larutan yang belum jenuh atau lewat jenuh, karena akan merubah tahanan listrik larutan secara signifikan.

Ambil contoh, harga K_{sp} untuk $AgBrO_3$ adalah $3,4 \times 10^{-5}$. Reaksi kesetimbangan kelarutannya adalah :



Bila kelarutan $AgBrO_3 = x$ mol/liter. Maka $[Ag^+] = x$ mol/liter dan $[BrO_3^-] = x$ mol/liter. Untuk reaksi tersebut berlaku rumus :

$$K_{sp} = [Ag^+] [BrO_3^-]$$

$$\text{Berarti : } 3,4 \times 10^{-5} = x \cdot x$$

$$x = \sqrt{3,4 \times 10^{-5}}$$

$$\text{Sehingga : } x = 5,85 \times 10^{-3}$$

Jadi kelarutan $AgBrO_3 = 5,85 \times 10^{-3}$ mol/liter.

Tabel 1. Konstanta hasil kali kelarutan beberapa senyawa

Nomor :	Senyawa	K_{sp}
1	$Al(OH)_3$	$2,0 \times 10^{-33}$
2	BaF_2	$1,7 \times 10^{-6}$
3	$BaSO_4$	$1,5 \times 10^{-9}$
4	CuS	$8,5 \times 10^{-36}$
5	$Pb Cl_2$	$1,6 \times 10^{-5}$
6	$Ag Cl$	$1,7 \times 10^{-10}$
7	$AgBr$	$5,0 \times 10^{-13}$
8	AgI	$8,5 \times 10^{-17}$
9	Ag_2CrO_4	$1,9 \times 10^{-12}$
10	ZnS	$1,2 \times 10^{-23}$

Dalam suatu pelapisan larutan (elektrolit) yang digunakan harus mengandung bahan-bahan yang antara lain diperlukan untuk fungsi dan tujuan sebagai berikut:

1. Mengandung cukup ion logam pelapis yang akan diendapkan pada permukaan katoda.
2. Mengandung zat pembentuk senyawa kompleks dengan ion-ion yang mengendap pada permukaan logam.
3. Mengantarkan arus listrik sehingga berlangsung reaksi deposisi dan oksidasi.
4. Mengandung zat buffer , yang berfungsi untuk menstabilkan pH.
5. Membantu mengatur dan merubah bentuk fisik endapan.
6. Mempermudah pelarutan anoda.
7. Mengandung zat penstabil larutan yang dapat berubah karena proses hidrolisa.

Tidak semua proses pelapisan harus menggunakan larutan dengan kandungan bahan- bahan untuk melaksanakan semua fungsi diatas. Ini semua tergantung pada kondisi-kondisi yang ingin dicapai. Misalnya , pelapisan untuk tujuan teknis yang lebih mengutamakan pembentukan senyawa ion kompleks yang pada umumnya lebih kuat daripada pelapisan dengan ion tunggal. Pelapisan dekoratif akan mengutamakan sifat halus, rata dan mengkilap sehingga unsur kerataan arus dan brightener lebih diperhatikan. Namun ada beberapa fungsi yang harus dimiliki larutan, apapun tujuan pelapisan tersebut , yaitu:

- Larutan harus mengandung ion logam yang akan diendapkan kepermukaan benda kerja.
- Memiliki sifat hantar listrik yang baik. Untuk garam-garam logam yang kurang baik sifat konduktor listriknya, agar tidak menggunakan tegangan yang tinggi, sering ditambahkan garam-garam lain untuk memperbaiki konduktifitas larutan.

V.6.b. Preparasi Benda Kerja (Substrate)

Benda kerja adalah benda yang akan dilapisi, atau disebut juga substrate. Sebelum benda ini dicelupkan kedalam larutan pelapis, terlebih dahulu dipersiapkan dengan benar, agar diperoleh pelapisan yang baik, yaitu kuat melekat dan tahan lama. Untuk itu benda kerja harus

dibersihkan (cleaning) , dimana rangkaian dari proses pembersihan ini disebut “ preparasi ” atau penyiapan.

Terdapat tiga tipe umum proses cleaning benda kerja secara kimiawi , yaitu:

1. Degreasing dengan Pelarut Organic
2. Pembersih Alkaline
3. Pickling Asam

Degreasing dengan Pelarut Organik

Pelarut organic terutama digunakan untuk membersihkan kotoran-kotoran yang berupa minyak oil, lemak, wax, dan berbagai material organic. Pemakaiannya dapat dengan dicelupkan kedalam pelarut atau dengan penguapan atau yang dikenal dengan “ Vapor Deagreasing ”. Proses degreasing dilakukan bilamana permukaan benda kerja benar-benar kotor.

Pembersih Alkaline

Untuk benda-benda yang tidak kotor benar, proses deagreasing dapat diabaikan. Benda tersebut langsung saja dibersihkan dengan Pembersih Alkaline. Pembersih Alkaline dapat

dipakai dengan cara elektrolitik, atau dengan cara lain seperti pencelupan , penyemprotan , atau dengan gosokan tangan. Pembersihan logam dengan alkaline harus dilakukan secara hati-hati , tergantung pada factor-

faktor antara lain : kondisi permukaan logam , keadaan kotoran yang akan dibersihkan , metode pembersihan dan tingkat kebersihan yang diharapkan.

Pickling Asam

Pickling Asam digunakan untuk tujuan yang sama dengan Pembersihan Alkanie. Pickling Asam dapat digunakan untuk membersihkan scale (kerak) dan karat yang tebal. Namun , dalam proses pembersihan yang baik, pickling asam digunakan untuk membersihkan oxide yang terbentuk setelah proses pembersihan alkaline. Walaupun dilakukan proses bilas yang tertib setelah pembersihan dengan alkaline oxide yang terbentuk setelah proses alkanie harus tetap ternetralisir sebelum benda kerja dicelupkan dalam bak pelapis.

Asam-asam yang digunakan untuk proses pickling antara lain adalah Asam sulfur , Asam hydrochloik , Nitrit , Phosforik , Hydroflourik , Chromic , dan Sulfamik. Garam-garam asam yang digunakan untuk proses pickling antara lain: Sodium bisulfat , Ferikhlorida , dan Ammonium.

Penelitian dan pengalaman yang telah berlangsung puluhan tahun telah memungkinkan para ahli membuat spesifikasi tentang hubungan antara jenis logam dan jenis zat yang digunakan untuk masing-masing proses, berikut konsentrasi dan temperature larutan.

Tabel 2. Larutan pembersih Kerak, Pickling asam dan Pencerah dalam % volume

Logam Dasar	Pembersih Kerak	Pickling Asam	Pencerah
Baja Karbon Rendah	15-25% H ₂ SO ₄ ; 50 - 82 °C 25-85% HCL ;Temp. kamar	4-10% H ₂ SO ₄ ;Temp.kamar 5-15% HCL ;Temp.kamar	25 - 30 g/lAsam Oxalik + 3 -5 g/l H ₂ O ₂ + 0,08 g/lH ₂ SO ₄
Baja Karbon Tinggi	Dilakukansecara mekanikal	10% HCL : Temp. kamar	Samasepertidiatas
Baja Stainless	10 - 20 % HNO ₃ + ½ % HFpadattemperatur 50 - 60 °C H ₂ SO ₄ + CrO ₃ + HF masing-masing 60 g/l ; Temp. kamar	20 - 50 % H ₂ SO ₄ ; 65 - 82 °C 1% H ₂ SO ₄ + 0,1 % HCL ; temp. kamar 5-50% HCL Atau H ₂ SO ₄ , cathodic pickling, temp. kamar	25% H ₂ SO ₄ + 4% HCL + 3 % HNO ₃
Paduan Tembaga	10 - 40 % H ₂ SO ₄ ; Temp. kamaratau 10-15% H ₂ SO ₄ + 15 - 30 g/l Na ₂ Cr ₂ O ₇ ; Temp.kamaratau 25 % H ₂ SO ₄ + 12,5% HNO ₃ ; Temp.Kamar	4-10% H ₂ SO ₄ ; Temp. Kamar	40-45% H ₂ SO ₄ + 20 - 25 % HNO ₃ + 0,1 % HCL ; Temp. kamar. CrO ₃ 270 g/l ; Temp. kamar
Zinc	-	0,25 - 1 % h ₂ so ₄ ; Temp. Kamar	-
Nikel	-	5% H ₂ SO ₄ ; Temp.kamar 20% HCL ; temp. kamar	60 % H ₃ PO ₄ + 20% H ₂ SO ₄ + 20 % HNO ₃ ; Temp. kamar

Bahan-bahan Yang Terkandung Dalam Larutan Pembersih

Untuk mendapatkan hasil cleaning yang maksimal , maka bahan pembersih harus mengandung unsur sabun dan unsur lain yang diperlukan seperti : Soda Abu (Na_2CO_3) untuk buffer dan untuk pelunakan air: Soda Caustik (NaOH) : Phosfat dan lain-lain.

Implementasi Proses Pembersihan Terhadap Benda Kerja

Pembersihan benda kerja dapat diimplementasikan dalam berbagai cara , yang antara lain adalah sebagai berikut :

1. Pemberihan Dengan Tangan

Pembersihan dengan tangan dilakukan bila ukuran benda kerja cukup besar untuk dimasukkan dalam cawan.Pembersihan dapat dilakukan manual dengan menggunakan sikat atau kain lap.Untuk itu, personal pembersihan harus mengenakan saung tangan, masker dan kain pelindung badan.Tidak diperbolehkan menggunakan larutan yang toxic.

2. Pembersihan Dengan Pencelupan Dalam Alkaline

Pada metode ini , benda kerja di celupkan dalam tangka dengan alkali yang dipanaskan hingga temperature tertentu. Lamanya pencelupan sangat tergantung pada jenis logam, tingginya temperature dan konsentrasi alkaline.Untuk benda-

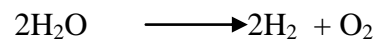
benda dengan bentuk yang kompleks serta kotoran yang melekat, kadang-kadang perlu agitasi.

3. Pembersihan Dengan Mesin

Pembersihan dengan mesin sering dilakukan dalam bentuk penyemprotan zat kimia embersih terhadap kotoran yang melekat. Penyemprotan ini akan memperkuat aksi kimia terhadap kotoran, baik dengan alkaline maupun dengan asam. Namun , hal ini dilakukan bila produksi bersifat massal dan cukup ekonomis untuk menggunakan mesin.

4. Pembersihan Dengan Listrik (Elektrocleaning)

Pembersihan dengan listrik dapat dilakukan bila waktu yang disediakan untuk proses pembersihan cukup Panjang. Pada electrocleaning , benda kerja dapat ditempatkan pada posisi katoda (pembersihan langsung) atau pada posisi anoda (pembersihan Balik). Sedang elektroda lainnya adalah inert (umumnya adalah baja). Bila benda kerja di tempatkan pada posisi katoda (pembersihan langsung) , maka gas hydrogen akan berevolusi pada permukaan benda kerja (katoda) sebanyak dua kali rapat arus, sedang pada bagian lain, oxygen pada anoda dengan reaksi :



Benda kerja yang bermuatan negative akan menolak kotoran yang bermuatan negative pada permukaannya dan terkelupas oleh hydrogen yang berevolusi pada permukaan. Pada larutan alkali, kebanyakan koloid akan bermuatan negative.

Untuk logam-logam non fero, sebaiknya pembersihan dilakukan dengan tangka terpisah , untuk mengurangi kerawanan terhadap penetrasi hydrogen yang menyebabkan pengetsaan hydrogen. Untuk nikel dan paduan nikel , harus dibersihkan secara katodik, karena pembersihan anodic akan menyebabkan permukaan logam nikel menjadi pasif.

5. Pembersihan Dengan Poles Listrik (Electropolishing)

Pembersihan dengan Poles Listrik dilakukan dengan sirkuit yang sama dengan sirkuit pada proses pelapisan, dimana benda kerja ditempatkan pada posisi anodic. Arus lebih besar lima hingga sepuluh kali dari arus pelapisan. Banyak larutan yang dapat digunakan, antara lain adalah campuran asam sulfur dan asam posfor dengan kondisi seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi larutan untuk proses electropolishing

No	Jenis Logam	Perbandingan Campuran Asam Posfor Thd Asam Sulfat (% berat)	Temperatur Larutan (°C)
1	Baja dan Paduan-Paduannya	50 : 50	55 - 105

2	Tembaga	85 : 15	45- 60
3	Kuningan	AsamPosfordengan 5 - 7 % chromic anhydrit (CrO ₃)	60

Rapat Arus berkisar antara 500 hingga 4000 A/m² dengan waktu proses 2 hingga 7 menit.

V.6.c. Proses Pengendapan (Electrodeposition)

Terdapat beberapa unsur praktis dalam semua proses electroplating, diantaranya adalah: efisiensi arus dan distribusi endapan.

Efisiensi arus ditandai oleh adanya perbedaan antara jumlah logam pelapis yang mengendap pada permukaan katoda dan jumlah logam terlarut yang dihitung secara teoritis berdasarkan Hukum Faraday. Secara matematis, dapat ditulis :

$$\text{Efisiensi Arus} = 100 \times \text{actual} / \text{Teoritical}$$

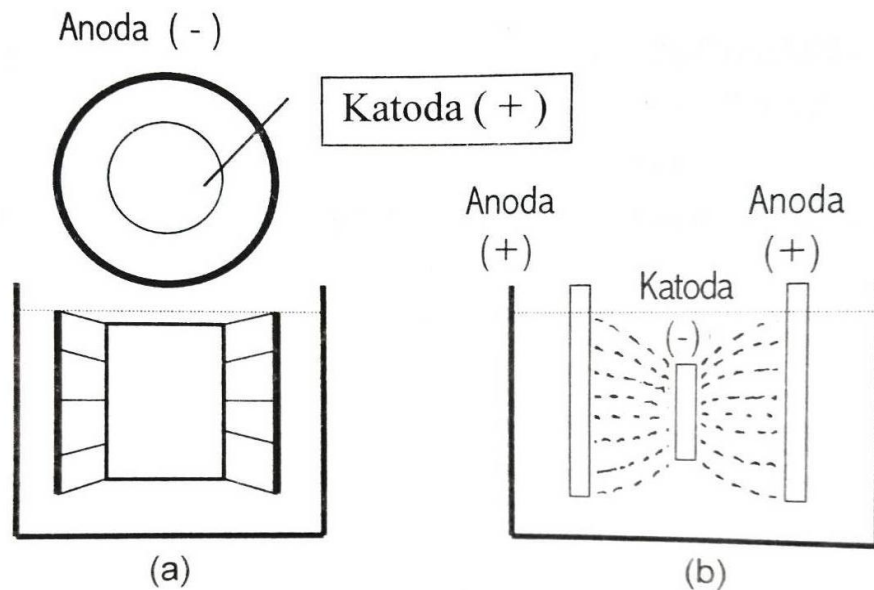
Hukum Faraday menyatakan bahwa besarnya aliran arus listrik $9,65 \times 10^4$ Coulomb adalah sama dengan pelarutan satu atom logam equivalent. Bila logam yang dilarutkan adalah Emas dengan berat atom 196,9665 gram dan electron yang terlepas dari proses reaksi adalah $3e^-$, maka berat equivalent adalah: 65,655 gram. Bila rapat arus anodic adalah 10^{-4} A/cm²,

atau sama dengan 10^{-4} cb/det-cm² , maka laju pelarutan logam emas perdetik perasentimeter bujursangkar adalah :

$$\begin{aligned} r &= \{(65,655 \text{ gr}) / (9,65 \times 10^{-4} \text{ cb})\} \times 10^{-4} \text{ cb/det-cm}^2 \\ &= 6,8036 \text{ gr/det.cm}^2 \end{aligned}$$

Perbedaan antara logam yang terlarut pada Anoda Jan yang mengendap pada katoda pada proses pelapisan disebabkan oleh adanya reaksi samping yang menyertai proses oxidase dan reduksi, yaitu adanya evolusi hydrogen pada permukaan katoda dan evolusi oxygen pada permukaan anoda serta adanya logam pencemar (impurities) dalam elektroda. Dalam hal ini logam pelapis yang mengendap di permukaan Katoda akan tertolak atau terganggu oleh adanya evolusi hydrogen pada katoda, sehingga berdampak pada penurunan efisiensi arus.

Permasalahan distribusi endapan pada permukaan Katoda timbul karena distribusi arus yang cenderung tidak merata pada benda kerja dengan bentuk yang tidak konsentrik. Gambar kanan menunjukkan kecenderungan arus untuk terkonsentrasi pada bagian ujung ujung dan sisi yang tajam, kecuali untuk benda yang konsentrik, arus terdistribusi secara merata (gambar kiri).



Gambar 13. Distribusi endapan logam pelapis terhadap substrate.

- a. Distribusi arus yang merata pada benda yang konsentrik.
- b. Arus cenderung terkonsentrasi pada bagian ujung dan sisi tajam.

Perbedaan distribusi arus pada permukaan katoda ini mengakibatkan endapan yang tidak merata pada benda kerja. Hal ini secara visual hampir tidak nampak, sehingga untuk benda benda yang dilapisi dengan tujuan keindahan seperti ada aksesoris, hal ini tidak menimbulkan persoalan, kecuali bila harga logam pelapis cukup mahal, maka pelapisan yang tidak merata dapat menyebabkan pemborosan.

Namun untuk pelapisan yang dilakukan untuk tujuan Teknis, maka persoalan dapat timbul karena dua hal yaitu :

- Permukaan yang tidak merata yang menyebabkan penerapan pelapisan tidak dapat dilakukan pada bagian yang memerlukan akurasi tinggi
- Kekuatan atau kekerasan atau ketahanan permukaan yang dihasilkan akan menjadi tidak merata pula.

Dalam praktek untuk mendapatkan ketebalan pelapisan yang merata, sangat diperlukan pengalaman dari ‘electroplaters’ dan perancang bak elektrolit. Dalam hal ini, bentuk bak elektrolit sangat berpengaruh dalam menciptakan distribusi arus yang merata.

“Throwing Power”

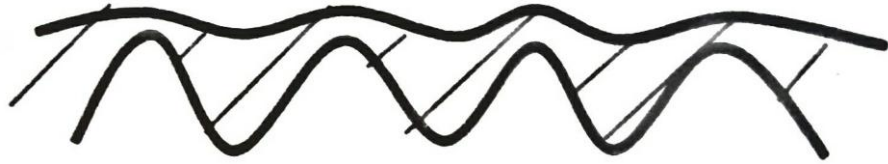
Secara kimiawi, terdapat larutan yang memiliki kecenderungan untuk mengurangi perbedaan rapat arus antara satu lokasi dengan lokasi yang lain pada benda kerja yang sama. Larutan seperti ini disebut memiliki throwing power yang baik.

Terdapat dua macam Throwing Power, yaitu ‘Macro throwing power’ dan ‘micro throwing power’. Macro throwing power adalah kemampuan elektrolit untuk menghasilkan endapan yang sama tebalnya pada benda kerja yang tidak beraturan bentuknya. Variablenya adalah

distribusi arus, kondisi operasi, efisiensi arus, dan konduktivitasnya. Sedangkan micro throwing power adalah kemampuan elektrolit untuk menghasilkan lapisan yang sama tebalnya pada permukaan benda kerja, dimana factor difusi ion logam merupakan variable yang menentukan.

Microthrowing power dapat bekerja sebaliknya, yaitu bila terdapat permukaan gelombang, maka deposit justru menebal pada bagian puncak dan tipis pada bagian lembah. Ini adalah kerja microthrowing yang buruk. Microthrowing power yang baik dapat bekerja sesuai geometri gelombang permukaan, sehingga ketebalan yang dihasilkan akan sama baik dipuncak maupun pada lembah.

Keadaan yang luar biasa, adalah bila microthrowing power dapat bekerja dengan menebalkan deposit pada bagian lembah dan menipiskan distribusi pada bagian puncak, sehingga permukaan gelombang menjadi cenderung rata setelah proses electroplating. Microthrowing seperti ini disebut “ levelling ”. Umumnya elektrolit dengan kemampuan levelling digunakan untuk melapisi permukaan yang banyak mengandung cacat. Elektrolit dengan kemampuan levelling umumnya didapat dengan zat tambahan organik.



Gambar 14. Levelling

Zat-zat tambahan pada proses pelapisan dapat memberikan efek khusus pada bahan pelapis, antara lain sifat untuk menghasilkan permukaan pelapis yang rata yang disebut *levellers*, sifat untuk menghasilkan kilap yang disebut *brighteners*, sifat untuk mengurangi tegangan dalam, disebut *stress reducers*.

V.6.d. Anoda

Anoda pada proses pelapisan ada dua jenis yaitu:

- Anoda yang terbuat dari logam yang akan diendapkan yang disebut anoda terlarut (*soluble anode*).
- Anoda yang tidak larut atau disebut anoda inert (*inert anode*)

Anoda terlarut digunakan terutama bila bahan anoda sama dengan logam yang akan diendapkan pada permukaan katoda. Ion logam yang berasal dari anoda akan terlarut kedalam elektrolit dan akan mengendap dipermukaan logam yang hendak dilapisi, demikian seterusnya. Anoda inert merupakan anoda yang pada permukaannya hanya berlangsung

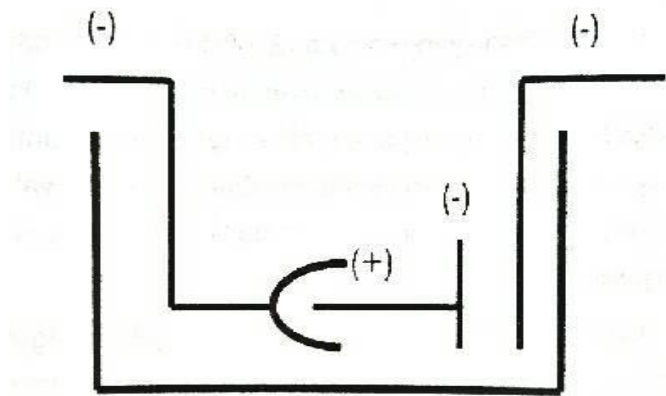
reaksi elektrolit saja dan menyuplai elektron ke permukaan katoda. Dengan elektron ini, proses deposisi ion logam pelapis akan berlangsung di permukaan substrate.

Persoalan penting pada anoda terlarut adalah kemurnian material. Hampir tak ada logam komersial yang murni. Logam pencemar (impurities) yang ada di dalam anoda akan menjadi kontaminan di dalam elektrolit. Bagian-bagian anodik dalam anoda akan terlarut lebih cepat dari bagian yang lain dan akan mengendap di permukaan substrate sehingga terbentuk lapisan yang tidak homogen, mengandung nodul-nodul dan terbentuknya lobang-lobang (pits). Sebaliknya bila logam-logam pencemar dalam anoda tersebut lebih mulia, maka akan lebih sukar larut dan dianggap lebih aman bagi elektrolit. Dalam praktek, efek-efek yang kurang menguntungkan ini diatasi dengan menggunakan sarung anoda atau diafragma, atau penyaringan bertingkat dalam elektrolit.

Diantara anoda, ada yang tidak memerlukan aplikasi potensial external untuk terlarut. Misalnya anoda zinc, didalam larutan sulfat atau larutan cyanida, sudah cukup terlarut karena reaksi kimia dengan larutan.

Untuk katoda dengan bentuk yang kompleks, misalnya bagian dalam sebuah pipa, atau katoda bentuk cekung, akan terdapat bagian yang terlindung dari arus listrik sehingga menyebabkan pelapisan yang tidak rata, meskipun larutan cukup baik 'throwing power' nya. Untuk mendapatkan pelapisan yang merata diperlukan alat bantu yang disebut

‘anoda bipolar’ atau anoda dua kutub. Anoda bipolar adalah sebuah anoda yang terbuat dari logam inert yang tidak dihubungkan ke sirkuit listrik, namun ditempatkan diantara anoda dan katoda yang aktif, sehingga arus cenderung melewati anoda tersebut dan melompat ke permukaan yang terlindung.



Gambar 15. Elektroda bipolar.

VI. LOGAM-LOGAM PELAPIS

Tidak semua logam dalam sebuah larutan dapat diendapkan atas permukaan logam lain secara electrochemical sehubungan dengan faktor-faktor kinetika pada proses pengendapan. Pada umumnya, hal ini terjadi karena tegangan lebih hydrogen (hydrogen overvoltage) yang lebih positif daripada potensial reduksi dari logam yang akan diendapkan dari larutan, sehingga yang akan mendominasi reaksi katodik adalah evaluasi

hydrogen dan menghalang pengendapan logam bila ada. Ambil contoh, pada pelapisan dengan logam nikel, pH larutan adalah 5 potensial kesetimbangan untuk evolusi hydrogen adalah $-0,295$ volt sedangkan potensial elektrokimia standard adalah logam nikel adalah $-0,250$ volt. Pada larutan alkali dengan pH 10 potensial reduksi hydrogen adalah $-0,59$ volt, lebih positif lagi.

Karena alasannya yang sama maka Zn tak dapat diendapkan pada besi tuang yang banyak mengandung “grafit”, karena *potensial lebih hydrogen* pada grafit, sangat rendah. Untuk ini, biasanya dilakukan “flash”, yaitu membuat deposit awal yang tipis pada permukaan besi tuang, dengan logam cadmium atau timah putih.

Pada tabel sistem periodic, unsur logam yang dapat diendapkan dari larutan adalah logam-logam yang menempati posisi dalam box yang bergaris tebal. Logam-logam tersebut meliputi chromium, Mangan, Ferrum, Cobalt, Nikel, Cuprum, Zinc, Indium, Stannum, Stibium, Arsen, Platinum, Aurum, Plumbum.....

Pada buku ini penulis membagi pelapisan logam berdasarkan potensial elektrokimia logam pelapis, menjadi dua macam pelapisan saja, yaitu pelapisan anodic atau disebut juga *Sacrificial Coating* dan pelapisan katodik. Oleh karena itu penulis juga membagi logam pelapis menjadi dua macam pula yaitu logam pelapis yang anodic dan logam pelapis yang katodik. Logam pelapis yang anodic antara lain adalah : Zinc dan Cadmium sedangkan logam pelapis yang katodik antara lain

VI. 1 . Logam Pelapis Anodik

Termasuk dalam kategori logam pelapis anodic adalah Zinc, Alumunium dan Cadmium. Dalam buku ini yang akan dibahas hanyalah logam zinc yang telah umum dikenal oleh masyarakat

VI. 1. A . Zinc

Zinc tidak banyak di alam, hanya kurang lebih 0,03% di Lithosfir. Zinc banyak ditemukan berupa senyawa zinc sulfide (ZnS). Campuran antara Zinc dan tembaga adalah kuningan yang kita kenal.

Sifat fisik Zinc:

Berat atom	65,37
Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	419,5
Density (gr/cm^3) pada 25°C	7,133
Potensial standar pada 25°C	-0,7628 Volt
Electrochemical equivalent (mg/C)	0,339
Electrochemical equivalent (gr/A.-jam)	1,22

Pelapisan dengan Zinc

Ada 3 macam larutan (bath) untuk pelapisan dengan zinc, yaitu: alkaline zinc cyanide, alkaline non cyanide dan Asam. Larutan alkaline zinc cyanide lebih disukai untuk proses pelapisan karena throwing powernya yang baik, mudah dikontrol,

kondisi operasi dengan kisar yang luas dan telah banyak pengalaman dalam penggunaannya.

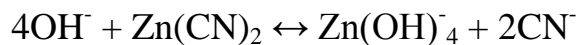
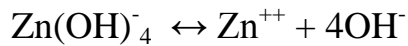
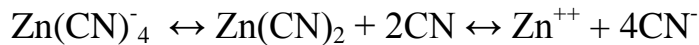
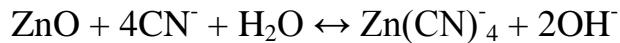
Larutan zinc cyanide mengandung ion kompleks cyano-zincate $Zn(CN)_4$, ion zincate, cyanide bebas dan ion hydroxyl serta ion sodium untuk pembalans

Komposisi larutan zinc cyanidaa adalah seperti tertuang pada tabel:

Tabel 5 : Komposisi Larutan zinc cyanide

	Gram/liter	
	Dekoratif	Protektif
Zinc	20-45	45-60
NaCN	50-140	90-150
NaOH	60-120	90-140
Na ₂ CO ₃	20-120	30-75
Ratio NaCN/ZN	2,5-3,1	2,0-2,5
Rapat Arus Katoda (A/m ²)	100-900	
Rapat Arus anoda (A/m ²)	30-450	
Temperature (°C)	20-50	

Keseimbangan larutan merupakan hal yang rumit, namun persamaan berikut merupakan reaksi-reaksi yang penting diantaranya:



Ion pengimbang positif umumnya selalu Na^+ , terlebih untuk pelapisan dengan tembaga, perak, emas dan timah putih. Perbandingan antara senyawa complex (hidroksida dan cyanide) terhadap konsentrasi Zinc merupakan hal penting untuk tujuan control. Perbandingan NaCN / Zn biasanya diambil 2,7 untuk pelapisan dekoratif dan antara 2,0 – 2,5 untuk pelapisan protektif.

VI. 2 . Logam Pelapis Katodik

Termasuk kedalam logam pelapis katodik adalah logam-logam Chromium, Tembaga, Nikel, Perak dan Emas. Dalam buku ini yang akan dibahas adalah logam pelapis Nikel, Chromium, Perak dan Emas.

VI. 2 .a . Nikel

Nikel ditemukan dalam bentuk senyawa metalik dengan besi, pada meteorit dan batuan mineral. Banyak terdapat di Canada, Afrika Selatan, Rusia, dan Finlandia.

Sifat fisik Nikel

Berat atom	58,7
Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	1453
Density (gr/cm^3)	8,908
Potensial standar pada (Ni^{++}) pada 25°C	-0,25 Volt

Pelapisan Nikel

Pelapisan nikel komersial pertama dilaporkan pada tahun 1870 oleh Bottger. Pada masa berikutnya diperkenalkan suatu larutan asam boric plus chloride yang disebut larutan watt sang penemu, pada tahun 1916. Larutan ini hingga kini menjaddi dasar bagi kebanyakan pelapisan nikel.

Formula larutan watt adalah tertuang pada tabel

Tabel 6 : Larutan Nikel Watt

	Kisaran konsentrasi	Konsentrasi umum
	Gram/liter	Gram/liter
Nikel Sulfat $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	225-375	330
Nikel Chlorida $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30-60	45
Asam Borik H_3BO_3	30-40	37
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	45-65	60

pH	1,5-4,5	3-4
Rapat Arus (A/m ²)	250-1000	500

Nikel sulfat memberikan bagian terbesar dari ion Nikel, dan nikel chloride merupakan sumber ion chloride yang diperlukan guna menghindari pembentukan lapisan pasif pada permukaan anoda. Pada proses pelapisan, ion chloride juga berfungsi untuk meningkatkan konduktifitas larutan dan memperbaiki “throwing power”.

Asam boric berfungsi sebagai buffer, mengendalikan pH pada katoda dan cenderung menghasilkan lapisan yang lebih putih. Asam boric tersedia dalam bentuk extra-pure. Harganya murah, stabil dan non-volatile.

Untuk pemakaian larutan watt tanpa tambahan bahan organic, dianjurkan untuk menambahkan 0,5 ml hydrogen peroksia dari 30% per liter larutan, untuk mengurangi tegangan dalam lapisan serta mengeluarkan hydrogen bubble yang dapat menyebabkan pitting pada lapisan yang dihasilkan.

Pada pelapisan nikel dewasa ini, telah dikembangkan suatu larutan yang dapat menghasilkan lapisan yang terang (bright) tanpa perlu zat tambahan untuk “buffing”. Persoalan yang harus dihadapi bila masih diperlukan “buffing” pada larutan adalah perlunya tenaga kerja terampil sebagai pekerja dan biaya produksi yang tidak ekonomis.

Terdapat dua kelas pengkilap (brighteners), yaitu pengkilap kelas I, yang meliputi asam sulfonic aromatic, sulfonamide, dan asam sulfinic. Konsentrasi zat-zat tambahan ini relative tinggi, yaitu 1-10 gr/l. Pengkilap kelas II digunakan dalam kombinasi dengan pengkilap kelas I untuk menghasilkan endapan yang mengkilap penuh, brilliant dan level. Umumnya, unsur-unsur ini berupa senyawa organik tak jenuh dari banyak type. Pengkilap kelas II umumnya kurang baik bila digunakan tanpa disertai pengkilap kelas I, karena hasilnya akan bersifat getas, mengandung tegangan dalam dan kurang adhesi terhadap substrate.

VI. 2 .b . Chromium

Mineral chromium pertama kali ditemukan di Siberia pada tahun 1762. Chromium merupakan 0,035% bagian dari lithosfir. Banyak terdapat di rusia, afrika selatan, dan philippina dalam bentuk batuan mineral chromite dengan formula ideal $FeO : Cr_2O_3$ atau $Fe Cr_2O_4$. Chromium dan senyawanya digunakan untuk tiga pemakaian, masing-masing pada metallurgy, refractory dan industry kimia. Chromium diekstraksi melalui reaksi reduksi terhadap oxide chromic yaitu



Sifat fisik Chromium:

Berat atom	51,996
------------	--------

Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	1875
Density (gr/cm^3)	7,19
Potensial standar pada Cr^{+++}	-0,71 Volt
Cr^{++}	-0,41 Volt

Pelapisan Chromium

Dikenal dua type pelapisan chromium, yaitu :

- Pelapisan dekoratif, yang tipis dan lebih mengutamakan faktor estetis.
- Pelapisan untuk industry atau Hard chromium. Coating ini yang tebal dan sasaran teknisnya antara lain adalah untuk tahan panas, tahan aus, tahan korosi, tahan erosi dan koefisien gesek lebih rendah. Pada plating chromium untuk industri, chromium langsung diendapkan tanpa pelapis perantara yang biasa dilakukan melalui larutan pendahuluan (strike solutions). Sedang pada pelapisan dekoratif, chromium merupakan lapisan teratas setelah lapisan lapisan pendahuluan yang umumnya adalah copper-nikel.

Larutan untuk pelapisan chromium, terutama terdiri dari asam chromic (CrO_3) ditambah sejumlah kecil anion dari senyawa sulfat atau fluoride complex.

Larutan Asam Chromic untuk Pelapisan Chromium

Untuk pelapisan chromium, senyawa utama dalam larutan adalah asam chromic (CrO_3) yang diencerkan dalam larutan kental H_2CrO_4 dan beberapa asam lain. Namun untuk dapat diendapkan dari air, didalam larutan tersebut harus ada zat tambahan yang berfungsi sebagai katalis yang memungkinkan terjadinya pengendapan logam chromiumpada katoda. Zat tambahan tersebut umumnya adalah sulfat dan fluoride dalam bentuk fluosilikat atau silicoflorida (SiF_6).

Perbandingan antara CrO_3 terhadap katils yang pada umumnya adalah sulfat memiliki arti penting bagi hasil yang didapatkan. Oleh karena itu ratio antara CrO_3 terhadap sulfat harus dibuat optimum dalam rangka mendapatkan cakupan arus yang merata dan menyeluruh (good coverage).

Tabel 7 :Larutan pelapisan chromium dasar

	Larutan encer (Gr/Ltr)	Larutan pekat (Gr/Ltr)
Asam chromic, CrO_3	250	400
Sulfate, SO_4	2,5	4
Rapat Arus (A/m^2)	700-3600	700-3600
Ratio $\text{CrO}_3 / \text{SO}_4$	100	100

Kedua larutan memiliki kelebihan dan kelemahan, dimana larutan yang encer lebih rendah biaya, efisiensi katoda lebih baik. Sedangkan untuk larutan yang pekat memerlukan voltage yang lebih rendah, tidak sensitive terhadap kontaminasi dan cakupan arus lebih baik. Temperature operasi keduanya antara 32⁰C hingga 50⁰C dan umumnya diambil 43⁰C. Rapat arus untuk keduanya biasanya diambil 1430 A/m². Voltage umumnya antara 4 hingga 12 volt.

VI. 2 .c . Perak

Tidak banyak terdapat di alam, yaitu kurang lebih 5 x 10⁻⁶ % dari lithosfir. Senyawa utamanya, adalah sulfide argentit, Ag₂S dan sering bersosiasi dengan senyawa lain yaitu timah hitam dan tembaga. Perak banyak ditambang di Canada, USA, Mexico, Peru, Jerman, dan Australia.

Perak, tembaga, dan emas sejak lama dikenal sebagai mata uang. Perak sangat lunak. Dalam pemakaiannya umumnya perak diperkeras dengan tambahan tembaga.

Ciri fisik perak :

Berat atom	107,868
Titik cair (⁰ C)	1960,8
Density (gr/cm ³) pada 20 ⁰ C	10,491
Potensial standar pada Ni ⁺ pada 25 ⁰ C	+0,7991 Volt

Pelapisan dengan perak

Larutan untuk pelapisan perak terdiri dari cyanide perak dengan sodium cyanide, $\text{NaAg}(\text{CN})$. Larutan ini telah terbukti sukses di tataran komersial. Masih ada larutan lain berupa senyawa iodide yang mengandung ion perak seperti sulfamat dan fluoborat, namun tidak sukses secara komersial karena kasar, distribusi buruk dan berubah warna terhadap cahaya. Pada elektrolit $\text{NaAg}(\text{CN})$ dengan cyanide tinggi perak lebih mulia daripada emas, dan karenanya cenderung untuk mengendap hanya melalui pencelupan tanpa arus listrik pada berbagai permukaan logam.

Dalam banyak operasi pelapisan, perak tidak berdiri sendiri sebagai pelapis. Pada pelapisan untuk industri peralatan elektronik dimana konduktifitas listrik diutamakan, maka lapisan perak dilakukan setelah lapisan tembaga atau paduan tembaga atau senyawa nikel-tembaga dilapiskan sebagai pendahulu.

Tabel 8 : Larutan untuk pelapisan perak

	Pelapisan dekoratif		Pelapisan industri	
	Konvensional (gr/ltr)	Kec. Tinggi (gr/ltr)	Larutan I (gr/ltr)	Larutan II (gr/ltr)
Cyanida perak, AgCN	30-55	45-150	45-50	75-110

Ag sebagai logam	24-44	36-121	36-40	60-89
Cyanide potassium, KCN	50-78	70-235	65-72	85-143
KCN bebas	35-50	45-160	45-50	50-90
Potassium karbonat K ₂ CO ₃	15-90	15-90	45-80	15 minimal
Potassium nitrat KNO ₃	-	40-60	40-60	-
Potassium hidroksida, KOH	-	4-30	10-14	0-30
Zat pengkilap	rekomendasi	rekomendasi	rekomendasi	rekomendasi
Rapat arus (A/m ²)	50-150	50-1000	500-1000	500-1000
Temperature °C	20-28	38-50	42-45	38-50

Alkali cyanide berfungsi untuk mengkompleks-kan perak sehingga memperkecil kecenderungan untuk mengendap melalui celupan. Cyanide bebas diperlukan untuk melarutkan lapisan AgCN yang akan terbentuk pada anoda agar tidak pasif, serta memperbaiki konduktivitas larutan, cyanide bebas, berfungsi juga untuk meningkatkan polarisasi katoda dan memperbaiki “throwing power”.

Potassium cyanide digunakan karena beberapa alasan teknis, dimana bila dibandingkan dengan garam-garam sodium, potassium cyanide lebih konduktif, lebih mudah larut dan memungkinkan pelarutan karbonat lebih tinggi tanpa efek merusak. Selain itu, dengan garam-garam potassium dan potassium cyanide hasil pelapisan lebih mengkilap dan kecepatan pelapisan lebih tinggi.

Agitasi pada pelapisan perak sangat dianjurkan, baik melalui pergerakan katoda (benda kerja) maupun melalui putaran mekanis

Larutan Pendahulu Untuk Perak

Larutan pendahulu (strike solutions) untuk pelapisan perak mengandung kadar perak yang rendah, dengan cyanide bebas yang tinggi. Perbandingan antara keduanya adalah, cyanide bebas 90 gram/ltr sedangkan perak 1,25-3,5 gram/liter. Larutan pendahulu ini berguna untuk menghasilkan endapan perak yang tipis dan kuat sebagai lapisan pendahulu, baru kemudian dilapis dengan lapisan perak sesungguhnya. Perlu diingat, bahwa jenis logam yang menjadi lapisan pendahulu ini tidak selalu harus logam yang sama dengan lapisan teratas. Itu semua tergantung keadaan dan juga kebiasaan. Bila logam yang dilapisi (substrate) adalah baja maka diperlukan dua kali “strike”, yaitu dua kali dicelupkan dalam larutan pendahulu, yang pertama dengan larutan pendahulu yang mengandung cyanide tembaga dan yang kedua dengan larutan pendahulu konvensional. Namun untuk logam-logam lain seperti tembaga, nikel, perak-nikel, dan paduan tembaga hanya digunakan larutan pendahulu konvensional saja, dimana tidak terdapat kandungan cyanide tembaga.

Tabel 9 : larutan pendahulu pelapisan perak

	Larutan pendahulu pertama (gr/ltr)	Larutan pendahulu konvensional (gr/ltr)
Cyanide perak, AgCN	1,5-2,5	1,5-5
Cyanida tembaga, CuCN	10-15	-
Potassium cyanide, KCN	75-90	75-90
Temperature ⁰ C	22-30	22-30
Rapat arus (A/m ²)	150-300	150-300
Potensial, Volt	4-6	-

Disamping berfungsi untuk menciptakan permukaan dengan daya adhesi yang kuat, larutan pendahulu juga berfungsi untuk menutupi bagian-bagian benda kerja yang mengandung jenis logam lain, seperti bagian solder dan bagian-bagian sambungan lainnya. Waktu pelapisan antara 8-25 detik untuk pelapisan dekoratif dan 15-35 detik untuk pelapisan teknis.

Pada selang antara larutan pendahulu dengan larutan pelapis sesungguhnya, boleh dilakukan “rinsing” yaitu pencucian atau pembilasan dengan air bersih. Boleh juga tidak dilakukan “rinsing” tergantung pada derajat kontaminasi larutan pendahulu.

Brightener (zat pengkilap) biasanya selalu ada untuk pelapisan dekoratif, diantaranya carbon disulfide dan ammonium thiosulfate dengan konsentrasi 0,02-0,05 gr/ltr. Bila pelapisan logam diperlukan memiliki sifat keras, maka digunakan zat pengeras (hardener), yaitu antimony.

VI. 2 .d . Emas

Emas tidak banyak terdapat didalam, yaitu sekitar 5×10^{-7} % di lithosfir. Disamping terdapat dalam bantuan, emas juga terlarut dalam air. Air laut dalam menagndung kurang lebih 0,02 mg/ltr emas. Diperkirakan terdapat kurang lebih sejumlah 70 juta ton emas terkandung di laut dalam di dunia. Walaupun hingga kini belum ada upaya untuk mengeksploitasi emas dari dasar laut, pada massa yang akan datan bukan hal yang tak mungkin. Hingga saait ini emas merupakan satu-satunya patokan yang digunakan sebagai standar moneter Negara-negara di dunia.

Sifat fisik emas :

Berat atom	196,96
Titik cair ($^{\circ}\text{C}$)	1063
Density (gr/cm^3) pada 25°C	19,302
Resistivitas listrik, mW-cm	2,06
Kekerasan skala Vickers	25
Potensial standar pada Au^+ pada 25°C	+1,68 Volt

Emas merupakan logam yang paling mulia, dimana potensial elektrolitkimianya paling positif. Keistimewaan logam ini antara lain, tidak bereaksi dengan oksigen, sulfur, nitrogen, atau karbon pada semua temperature. Keistimewaan lain adalah, pada logam ini hydrogen tidak dapat larut.

Logam emas tahan terhadap serangan sebagian besar asam, kecuali asam hidroklorik, asam nitrat, dan ferri chloride dan alkali cyanide. Logam ini sangat cepat terserang hidroklorik pada temperatur tinggi dan dalam larutan terdapat oksigen. Logam emas juga tahan terhadap serangan alkali hidroksida dan karbonat pada semua temperature. Emas bereaksi cepat terhadap mercury oleh karena itu, kontak dengan mercury harus dihindarkan.

Sistem Pelapisan Emas

Terdapat tiga macam larutan cyanide emas (AuCN) pada pelapisan emas, yaitu larutan dengan alkali cyanide yang beroperasi dengan pH antara 9-13 ; larutan netral cyanide emas yang beroperasi dengan pH antara 6-8 dan larutan asam cyanide emas yang beroperasi pada pH antara 3-6.

Cyanide emas, di tingkat komersial tersedia dalam tiga bentuk, yaitu cyanide emas (AuCN) ; Sodium emas cyanide $\text{NaAu}(\text{CN})_2$ dan potassium emas cyanide $\text{KAu}(\text{CN})_2$. Dalam hal ini $\text{KAu}(\text{CN})_2$ paling banyak digunakan. Senyawa ini memberikan ion $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ yang merupakan senyawa kompleks yang sangat stabil.

Larutan Alkali Cyanida Emas

Larutan ini mengandung emas dalam bentuk $\text{Au}(\text{CN})_2$ pada konsentrasi 8,3 gram/liter. Larutan juga mengandung excess cyanida dengan pH diatas 8,5. Larutan ini memiliki 'throwing power' yang baik.

Tabel 10: Komposisi Larutan Alkali Emas:

	Finish Buram	Finish mengkilap
	Gram/Liter	Gram/Liter
Potassium emas cyanida $\text{KAu}(\text{CN})_2$	3 - 17,5	6 - 23,5
Emas sebagai logam murni	2 - 12	4 - 6
Potassium cyanida, KCN	15 - 45	15 - 90
Potassium karbonat, K_2CO_3	0 - 45	0 - 30
Potassium fosfat, K_2HPO_4	0 - 45	0 - 45
Potassium hidroksida, KOH	10 - 30	10 - 30
Zat pengkilap	0	0,1 - 10
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	50 - 70	15 - 25
Rapat Arus, A/m^2	10 - 50	30 - 150
Anoda	Platina, Baja stainless	
pH	11 - 13	9 - 13
Agitasi	Sedang	Cepat

Tabel 11. Komposisi Larutan Netral Emas:

	Finish buram	Finish mengkilap
	Gram/Liter	Gram/Liter
Potassium emas cyanida $\text{KAu}(\text{CN})_2$	6 - 23,5	3 - 15
Emas sebagai logam murni	4 - 16	2 - 10
Potassium fosfat, KH_2PO_4	0 - 90	0 - 90
Chelates	15 - 90	50 - 150
Zat pengkilap	-	0,1 - 30
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	25 - 70	35 - 60
Rapat Arus, A/m^2	20 - 100	50 - 200
Agitasi	Sedang	Cepat
Anoda	Platina, Baja Stainles	

pH	6 - 8	6 - 8
----	-------	-------

Tabel 12 : Komposisi Larutan Asam Emas

	Finish buram	Finish mengkilap
	Gram/Liter	Gram/Liter
Potassium emas cyanida $\text{KAu}(\text{CN})_2$	3 – 23,5	6 – 17,5
Emas sebagai logam murni	2 – 16	4 – 12
Potassium fosfat, KH_2PO_4	0 – 100	0 – 100
Chelates	10 – 200	10 – 150
Zat Pengkilap primer	0	0,1 – 20
Zat pengkilap sekunder	0 – 10	0,1 – 10
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	40 – 70	25 – 50
Rapat Arus, A/m^2	10 – 50	80 – 200
Anoda	Carbn, Pt,Ti	C, Pt, Ti
Agitasi	Sedang	Cepat
pH	3 – 6	3 – 6

Larutan Pendahuluan Pelapisan Emas

Larutan pendahuluan untuk lapisan emas, hanya ada dua macam, yaitu: Alkali dan Asam. Sama seperti pada larutan pedahuluan lainnya, larutan pendahuluan emas berfungsi untuk menciptakan lapisan tipis dengan adhesi yang kuat, dengan ketebalan antara 0,025 – 0,25 mm. Temperatur dan pH larutan sama dengan pelapisan emas seperti pada tabel diatas.

Tabel 13: Larutan Pendahuluan Pelapisan Emas:

	Alkali	Asam
	Gram/Liter	Gram/Liter
Potassium emas cyanida $\text{KAu}(\text{CN})_2$	0,75 - 3	0,75 – 6
Emas sebagai logam murni	0,5 – 2	0,5 – 4
Potassium cyanida, KCN	15 – 90	0
Potassium fosfat, K_2HPO_4	15 – 45	0

Potassium phosfat, KH_2PO_4	0	0 – 45
Chelates	0	15 – 90
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	40 - 60	30 – 60
pH	8 – 13	3 – 7
Voltage, Volt	3 – 8	4 – 12
Agitasi	Sedang	Sedang
Anoda	Baja stainless	Pt, Ti, C

VII. PELAPISAN DENGAN CAT

Pelapisan logam dengan bahan cat merupakan cara pengendalian korosi yang paling lama dikenal di masyarakat. Cat bukan hanya dikenal untuk mengedalikan korosi pada logam tetapi juga untuk memberikan efek dekoratif pada permukaan lain seperti, kayu, plastik, kaca dll.

Sehubungan dengan fungsinya sebagai bahan pelapis, maka cat harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Cat harus memiliki daya adhesi yang kuat terhadap benda dan sifat ini harus stabil setiap waktu.
2. Cat harus mudah dilapiskan dengan cara-cara yang dianjurkan dalam proses pengecatan, misalnya dengan kuas,rol dan semprot.
3. Lapisan cat yang disapuakan ke permukaan harus bersifat dapat menutupi permukaan dengan merata dan sempurna.
4. Kualitas cat seperti waran dan viskositasnya harus tetap.\
5. Memiliki sifat khusus untuk kegunaan yang khusus pula, misalnya tahan air untuk cat bawah air, tahan suhu tinggi dan anti korosi.

Untuk memnuhi sifat-sifat diatas,maka pada cat harus terkandung komponen – komponen seperti pigmen, zat pengikat,zat filler (pengisi) pelarut dan zat adiftif. Secara diagramatis, komponen-komponen utama pada cat ini dapat dilihat pada tabel.

VII. 1 Pigmen

Pigmen pada cat umumnya berbentuk serbuk yang berfungsi sebagai bahan pelindung yang memberikan efek dekoratif pada tampilan cat, berupa warna yang cerah. Pigmen dapat juga bersifat racun pada cat bawah air. Jika dilihat dari mekanisme kerjanya, maka pigmen dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: Pigmen Aktif, Pigmen Pasif, dan Pigmen Racun.

VII.1.a. Pigmen Aktif

Pigmen aktif merupakan pigmen yang memberikan efek dekoratif dan mampu memberikan efek perlindungan terhadap logam dengan cara bereaksi terhadap lingkungan. Dalam hal ini lingkungan tersebut dapat diartikan sebagai unsur diluar logam yang dilapisi dan dapat juga unsur logam yang dilapisi itu sendiri. Karena unsur bereaksi dengan lingkungan ini maka pigmen-pigmen ini dikatakan aktif.

Tabel 14 : Komponen-komponen Utama pada Cat

Pigmen	Zat Pengikat	Pengisi	Pelarut	Additif
* Aktif:	-Alkyd Resin	-CaCO ₃	-Senyawa HC	-Zat-zat additif
-Serbuk Zn	-Bitumen	-Talc	-Esther	
-Zn khromat	-Khlorinated rubber	-China clay	-Ketone	
-Ca ₂ PbO ₄	-Vinly	-Mica		
* Pasif	-Epoxy			
-Fe ₂ O ₃	-Polyurethane			
-TiO ₂	-Silikat			
* Racun				
-HgO				
-Cu ₂ O				

Diantara pigmen aktif tersebut adalah:

- **Serbuk Seng**

Serbuk seg ini umumnya bersifat 'sacrificial' terhadap logam baja. Sehingga sebagian dari bahan cat, zat ini akan bersifat mengorbankan dirinya dalam bentuk terkorosi atau teroksidasi guna melindungi logam yang dilapisinya dari serangan korosi akibat interaksi dengan lingkungan di luar logam.

- **Zn khromat**

Pigmen ini jika beraksi dengan lingkungan akan membentuk senyawa kompleks pada permukaan logam sehingga menjadi lapisan yang pasif dan protektif.

- **Ca₂PbO₄**

Hampir sama dengan Zn khromat, pigmen ini akan membentuk lapisan yang

tipis berupa Fe₂PbO₄ yang akan merupakan lapisan pasif pada permukaan logam yang dilapisinya, sehingga mampu melindungi logam dari berinteraksi dengan lingkungan.

VII.1.b. Pigmen Pasif

Pigmen pasif merupakan pigmen yang tidak memberikan reaksi terhadap lingkungan. Umumnya, pigmen-pigmen ini berupa oksida-oksida yang tak memiliki kemauan untuk beraksi lagi seperti TiO₂ dan Fe₂O₃.

Umumnya cat dengan pigmen pasif seperti ini kurang baik digunakan pada lingkungan yang ter ekspose lingkungan yang variatif, misalnya hujan dan panas serta temperatur yang berubah-ubah. Cat seperti ini lebih baik digunakan pada interior, dimana lingkungan sekitarnya hampir selalu tetap.

VII.1.c. Pigmen Racun

Pigmen racun merupakan pigmen yang disamping dapat melindungi, juga dapat meracuni makhluk hidup yang menempel pada permukaan. Umumnya pigmen ini digunakan pada cat bawah air.

Pada cat bawah air, diperlukan zat anti fouling dimana hewan – hewan yang menempel pada permukaan cat bila dibiarkan cukup lama dapat merusak cat secara parsial, sehingga tidak dapat menjalankan fungsinya untuk melindungi. Dengan pigmen racun, hewan – hewan ini akan lepas dengan sendirinya setelah beberapa menit menempel.

Cat seperti ini misalnya digunakan pada lunas kapal, tiang dermaga, ponton, buoy dan lain-lain.

VII.2. Zat Pengikat (Binder)

Bahan pengikat pada cat berfungsi untuk memberikan sifat fisik dan sifat kimiawi tertentu dari cat. Kegunaan cat bahkan dapat dilihat dari jenis pengikat yang digunakannya. Komponen pengikat ini dapat menentukan sifat adhesi cat, elastisitas lapisan cat, ketahanan terhadap cuaca, ketahanan terhadap atmosfer, ketahanan terhadap intrusi air dan senyawa kimia lainnya.

Cat dengan komponen pengikat yang kurang baik akan mudah terkelupas, tidak tahan terhadap perubahan cuaca, tidak elastis sehingga mudah retak, mudah diresapi air dan embun sehingga tidak kedap air.

Diantara jenis bahan pengikat adalah:

- Alkyd resin, merupakan jenis pengikat yang memberikan sifat tahan korosi. Atmosfir, cat mudah dioleskan dan dapat dilapisi ulang. Pengikat ini banyak diadu dengan pigmen Zn khromat dan Zn phosfat.
- Bitumen, merupakan zat pengikat yang tahan terhadap air. Cat jenis ini dapat dilapisi dengan cat jenis lain. Pigmen aluminium yang dipadu dengan bahan pengikat ini, banyak digunakan untuk cat bawah air.
- Khlorinated rubber, merupakan zat engikat dari karet alam dengan khlorinasi sekitar 67%. Cat dengan pengikat ini tahan terhadap lingkungan yang agresif seperti lingkungan yang asam dan alkali serta lingkungan air dan perubahan cuaca.
- Vinyl, merupakan zat pengikat untuk cat dengan tugas berat seperti pengikat khlorinated rubber. Cat dengan zat pengikat ini lebih tahan lama, lebih cerah dan lebih ulet.
- Epoxy, merupakan pengikat untuk cat dengan tugas berat seperti cat industri dengan ketahanan mekanik yang tinggi tahan air laut, tahan atmosfi laut dan atmosfir dengan zat kimia yang kental.

VII.3. Zat Pelarut

Zat pelarut merupakan zat yang berguna untuk menjaga viskositas cat agar mudah disapukan ke permukaan logam dengan kuas, roll atau semprot. Pelarut dapat mengatur cepat lambatnya keringnya suatu lapisan

cat. Cat yang baik selalu mempunyai waktu pengeringan yang tertentu. Misalnya satu jam untuk pengeringan awal, dan dua belas jam untuk pengeringan total. Diantara zat - zat pelarut yang dikenal adalah senyawa-senyawa hidro karbon, alkohol, ester, ketone, dan alifatik.

VII.4. Pengisi (Filler)

Zat pengisi berguna terutama untuk membuat cat menjadi suatu lapisan yang padat. Zat pengisi akan berfungsi mengisi rongga-rongga dan porositas yang mungkin terbentuk dalam cat bila dikeringkan. Dengan adanya pengisi maka lapisan cat akan kuat, padat dan tidak mudah diresapi cairan apapun dari luar. Diantara zat-zat pengisi yang dikenal adalah CaCO_3 , talc, china clay dan mica.

VII.5. Zat Tambahan (Additif)

Bahan additif biasanya ditambahkan dalam jumlah yang sedikit dengan maksud untuk memperbaiki sifat-sifat cat seperti:

- Mencegah terjadinya pemisahan warna
- Mencegah timbulnya jamur pada permukaan benda yang dicat.
- Mencegah terjadinya pengendapan pigmen

DAFTAR BACAAN

1. Frederick A Lowenheim, “ Electroplating”, Mc.Graw Hill Book Co, New York 1978.
2. Gandus Steel Palembang, “ Oprational Manual For Sheet Galvanizing Line”,1976.
3. J.B. Mohler, “ Electroplating and Related process”, Chemical Publishing Co, Inc New York, 1969.
4. Liliasari, “Kimia 3”, Departemen Pendidikan & Kebudayaan, Balai Pustaka, 1996.
5. Anton J. Hartomo; Tomijiro Kaneo, “ Mengenal Pelapisan Logam (Electroplating)”, Penerbit Andi Offset Yogyakarta, 1992
6. K.B Tator, “Engineering Guide to Protective Coatings,” Mc. Graw Hill Publication Co, New York, 1972.
7. Michael Henthorne, “Corrosion Protection Via Coatings”, Mc. Graw Hill Publication Co, New York, 1972.
8. John M. West, “ Basic corrosion and oxidation”, Jhon Willey & Sons, New York, 1972.
9. Mars G. Fontana, “Corrosion Engineerings”, Mc. Graw Hill International Edition, New York, 1986.
10. Guy E. Weismantel, “ Paint Handbook”, Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1986.
11. Surface Engineering Forum,”Metal spray coating Photomicrographs Combustion Wire Process” <https://www.gordonengland.co.uk/pmg14.htm>
12. Surface Engineering Forum,”Flame Spray Coating Metallography Aluminium Bronze”, <http://www.gordonengland.co.uk/pmg2.htm>

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Lampiran I:

Deret Standard Electromotive Force (emf) logam-logam diukur terhadap Elektroda

Hidrogen pada 25⁰C dalam satuan Volt:

1.	$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	+ 1,498
2.	$\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 1,2
3.	$\text{Pd} \rightarrow \text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 0,987
4.	$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+ 0,799
5.	$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 0,788
6.	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 0,337
7.	$\text{H} \rightarrow \text{H}^+ + \text{e}^-$	+ 0,00
8.	$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,126
9.	$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,136
10.	$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,250
11.	$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,277
12.	$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,403
13.	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,440
14.	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	- 0,744
15.	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,763
16.	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	- 1,662
17.	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 2,363
18.	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$	- 2,714
19.	$\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + \text{e}^-$	- 2,925

Lampiran II:

Konsentrasi Larutan Asam untuk Proses Pickling berbagai logam untuk Elektroplating:

Konsentrasi Asam (gr/liter)					Logam yang diproses	Temperatur (°C)
H ₂ SO ₄	HCl	HNO ₃	HF	CrO ₃		
37,5 – 75					Besi	21 – 76
150 – 262,5					Tembaga	21- 60
	37,5 – 7,5				Besi	49 – 60
	75 – 150				Besi	21 – 38
		450 - 600			Perak	21 – 49
			37,5 - 45		Timah hitam	21 - 38
			112,5- 300		Magnesium	21 – 38
37,5 – 75		15 – 30			Besi	21 – 38
22,5 – 45		52,5 – 75			Magnesium	21 – 38
75 – 150		30 – 60			Besi	21 – 38
225 – 337,5		75 – 112,5			Tembaga	21 – 38
37,5 - 75	15 – 30				Besi	21 – 60
60 – 75			30 – 37,5		Baja stainless	21 – 60
		60 – 75	7,5 – 15		Baja Stainless	21 – 60
		112,5 – 150	7,5 – 15		Titanium	31 – 38
		187 – 262,5	15 – 30		Nikel	60 – 76
		150 – 187,5	150 – 187,5		Baja Stainless	49 – 65
		525 – 675	60 – 90		Aluminium	21 – 82
		75 – 105		90 – 120	Magnesium	21 – 38
		15 – 22,5		150 – 180	Magnesium	21 – 32

0,375 – 7,5				150 - 180	Magnesium	21 – 32
300 – 330				60 – 90	Aluminium	38 – 82
15 – 22,5				225 – 300	Zinc	21 – 38
	22,5 – 37,5			450 – 600	Zinc	21 – 38
			7,5 – 15	45 – 60	Baja Stainless	21 – 71
112,5 – 150	45 – 60	60 – 90			Nikel	21 – 38
450 – 525	0,15 – 0,3	375 – 450			Nikel	48 – 82
187,5 – 262,5			30 – 45	60 - 105	Aluminium	60 – 65
	37,5 – 52,5	375 – 450			Nikel	21 – 38

Lampiran III:

Konduktifitas dan Resistifitas

Berbagai Larutan Kimia pada konsentrasi tertentu pada 20⁰C:

Larutan Kimia	Konsentrasi Gr/liter	Resistifitas(R)	Konduktifitas (C)
		Ohm-cm	Mho/ cm
HNO ₃	63	3,2	0,31
HCl	36	3,3	0,30
H ₂ SO ₄	49	5,0	0,20
KOH	56	5,4	0,18
NaOH	40	6,4	0,16
KCl	74	10,2	0,098
NH ₄ Cl	53	10,3	0,097
Nacl	58	13,4	0,075
K ₂ CO ₃	69	14,1	0,071
AgNO ₃	170	14,8	0,067
Na ₂ CO ₃	53	22,0	0,045
Cu ₂ SO ₄ .5H ₂ O	125	38,7	0,026

Lampiran IV:

Faktor konversi beberapa satuan penting dalam elektroplating:

Dari	Menjadi	Dikalikan dengan
Gram/liter	Onze/gallon	0,134
Onze/gallon	Gram/liter	7,5
Amp/ft ²	Amp/dm ²	0,108
Amp/dm ²	Amp/ft ²	9,29
Gr/liter	Onze/ft ³	1,00
Inch	Cm	2,54
cm	Inch	0,394
gallon	Liter	3,78
gallon	ft ²	0,134
liter	gallon	0,264
liter	ft ³	0,0353
ft ³	Liter	28,3
cm ³	In ³	0,0610
In ³	Cm ³	16,4
Cm ²	In ²	0,155
In ²	Cm ²	6,45



Darmawi, adalah dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Lahir di desa Petaling Kecamatan Tulung Selapan, Kabupaten Ogan Komering Ilir, pada tanggal 15 Juni 1958.

Menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tahun 1986. Menyelesaikan S2 bidang Rekayasa Korosi pada Institut Teknologi Bandung pada tahun 1995. Menyelesaikan S2 pada bidang Teknik Energi pada Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tahun 2003.

Menyelesaikan S3 Ilmu Lingkungan dengan kajian utama Energi & Lingkungan pada Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tahun 2013.

Menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tahun 1986. Menyelesaikan S2 bidang Rekayasa Korosi pada Institut Teknologi Bandung pada tahun 1995. Menyelesaikan S2 pada bidang Teknik Energi pada Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tahun 2003. Menyelesaikan S3 Ilmu Lingkungan dengan kajian utama Energi & Lingkungan pada Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tahun 2013.

Menjadi dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya sejak Juni 1988. Mata kuliah yang paling sering diampuh diantaranya adalah Alat Pengangkat dan Pengangkut, Teknik Korosi, Proses Manufaktur, Sistem Pembangkit Tenaga Air, Ilmu Logam dan Membimbing mahasiswa KKN di pedesaan Sumatera Selatan.

Dibidang organisasi perkorosian, beliau pernah menjadi Deputy Ketua Indocor Cabang Palembang, tahun 2002 hingga 2010. Menjadi ketua Indocor Cabang Sumatera Selatan sejak Agustus 2017 hingga sekarang. Menjadi pelaksana Pelatihan Korosi dan Pengendalian Tingkat Dasar pada Tahun 2004, Tahun 2005, Tahun 2006, Tahun 2015 dan Tahun 2017.

Pekerjaan bidang Rekayasa Korosi yang pernah ditangani diantaranya Kajian Resiko Pipa Pertamina DOH dari Simapang Y hingga Borang, Tahun 2006; Kajian Resiko Pipa Pertamina UPMS Plaju – Kertapati dari Depo Kertapati hingga Kilang Plaju, Tahun 2006; Survey dan Perencanaan Penggantian Pipa Pertamina dari Depo Kertapati hingga Plaju tahun 2009; Survey Kondisi Existing Pipa Elnusa dari Sungai Gerong hingga Tempino Jambi pada Tahun 2010.