

LAPORAN PENELITIAN

**KARAKTERISASI REFLEKTIVITAS CAHAYA
LAPIS LISTRIK KROM HITAM PADA PADUAN LOGAM
ALUMINIUM 6063T5 DENGAN
KATALIS SULFAMAT**



NO. SURAT PERMOJOKAN	25-4-99
NO. SURAT PERMOJOKAN	H
NO. SURAT PERMOJOKAN	R
NO. SURAT PERMOJOKAN	299/K/99-k2(2)
NO. SURAT PERMOJOKAN	669.9 Sam k2

OLEH
DRS. SUMANTRI, MT

Penelitian ini dibiayai Oleh :
Dana Rutin IKIP Padang Tahun Anggaran 1998/1999
Surat perjanjian kerja No. 63/ K12.2/KU/Rutin/1998
Tanggal 20 Juli 1998

**INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG
1999**

ABSTRAK

Penelitian pelapisan krom hitam telah dilakukan dengan menggunakan bahan substrat paduan logam aluminium jenis 6063 T5, yang mempunyai konduktivitas panas dan kekuatan yang tinggi diantara logam paduan aluminium. Larutan pelapis yang digunakan adalah asam kromat 250 gpl, dengan katalis sulfamat, dan buffer asam borat. Variabel dalam penelitian ini adalah (1) waktu pelapisan (2), rapat arus, dan (3) konsentrasi katalis, serta suhu pelapisan tetap dipertahankan pada temperatur $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh lapisan krom yang berwarna hitam yang mempunyai sifat absorpsi panas matahari tinggi (90-95%), dan mempunyai daya pantul rendah, tahan temperatur $\pm 200^{\circ}\text{C}$, tahan terhadap korosi sesuai dengan aplikasinya sebagai komponen pemanas air yang memanfaatkan cahaya matahari.

Pengujian hasil lapisan ini meliputi uji reflektivitas, uji semprot kabut garam, dan uji adhesivitas (kerekatan lapisan). Di samping itu hasil pelapisan ini dianalisa komposisinya secara kualitatif dengan difraksi sinar-X.

Dari data yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa kondisi pelapisan yang terbaik sesuai dengan tujuan penelitian dan sesuai dengan aplikasi sebagai bahan komponen pemanas air dengan menggunakan panas dari cahaya matahari adalah dengan menggunakan komposisi larutan (1) asam kromat 250 gpl, (2) waktu pelapisan 20 menit, (3) rapat arus pelapisan 20 Amper/dm², dan (4) konsentrasi katalis 10 gram per liter, serta suhu pelapisan dipertahankan pada temperatur $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

PENGANTAR

Kegiatan penelitian merupakan bagian dari darma perguruan tinggi, di samping pendidikan dan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan penelitian ini harus dilaksanakan oleh IKIP Padang yang dikerjakan oleh staf akademiknya dalam rangka meningkatkan mutu pendidikan, melalui peningkatan mutu staf akademik, baik sebagai dosen maupun peneliti.

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian IKIP Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana IKIP Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait. Oleh karena itu, peningkatan mutu tenaga akademik peneliti dan hasil penelitiannya dilakukan sesuai dengan tingkatan serta kewenangan akademik peneliti.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pendidikan, baik yang bersifat interaksi sebagai faktor yang mempengaruhi praktek kependidikan, penguasaan materi bidang studi, ataupun proses pengajaran dalam kelas yang salah satunya muncul dalam kajian ini. Hasil penelitian seperti ini jelas menambah wawasan dan pemahaman kita tentang proses pendidikan. Walaupun hasil penelitian ini mungkin masih menunjukkan beberapa kelemahan, namun saya yakin hasilnya dapat dipakai sebagai bagian dari upaya peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Kami mengharapkan di masa yang akan datang semakin banyak penelitian yang hasilnya dapat langsung diterapkan dalam peningkatan dan pengembangan teori dan praktek kependidikan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pereviu usul dan laporan penelitian Lembaga Penelitian IKIP Padang, yang dilakukan secara "blind reviewing". Kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan yang melibatkan dosen/tenaga peneliti IKIP Padang sesuai dengan fakultas peneliti. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya, dan peningkatan mutu staf akademik IKIP Padang.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, tim pereviu Lembaga Penelitian dan dosen senior pada setiap fakultas di lingkungan IKIP Padang yang menjadi pembahas utama dalam seminar penelitian. Secara khusus kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor IKIP Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Maret 1999

Ketua Lembaga Penelitian
IKIP Padang,

Kumaidi
Drs. Kumaidi, MA., Ph.D.
NIP 130605231

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK	i
PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB	
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Metodologi Penelitian.....	4
E. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Lapis Listrik Krom.....	5
B. Lapis Krom Hitam (Black Chromium).....	6
C. Tinjauan Termodinamika Pelapisan Krom	8
D. Mekanisme Pengendapan Krom.....	10
1. Pembentukan Film/Lapisan di Katoda.....	11
2. Reaksi di Katoda.....	16
3. Reaksi di Anoda.....	20
III. PERCOBAAN DAN HASILNYA.....	22
A. Percobaan untuk Menentukan Rentang Harga Rapat Arus Pelapisan (Percobaan dengan Hull Cell).....	22
1. Tujuan.....	22

2. Hasil Percobaan.....	22
B. Percobaan Pelapisan Krom hitam.....	24
C. Pengujian Terhadap Lapisan Krom Hitam.....	31
1. Pengujian Kerekatan (Adhesive) Hasil Pelapisan	31
2. Analisa Kualitatif Kandungan Elemen Lapisan Krom Hitam	31
3. Morfologi Lapisan Krom Hitam.....	32
4. Pengujian Ketahanan Korosi Lapisan.....	33
IV. PEMBAHASAN.....	34
A. Pengaruh Rapat Arus Pelapisan Terhadap Reflektivitas	34
B. Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfamat Terhadap Reflektivitas	35
C. Pengaruh Waktu Pelapisan Terhadap Reflektivitas.....	35
D. Kerekatan Lapisan.....	36
E. Ketahanan Korosi Lapisan Krom Hitam	36
F. Morfologi Lapisan Krom Hitam.....	38
G. Analisa Kualitatif Kandungan Elemen Lapisan Krom Hitam.....	39
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	44

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	halaman
2.1. Diagram kesetimbangan potensial untuk Logam krom pada temperatur 25 ⁰ C.....	11
2.2. Senyawa kompleks lapisan pasif di permukaan Katoda.....	14
2.3 Kurva pengaruh pembentukan film.....	14
2.4. Kurva polarisasi untuk katoda platina dalam 1 M Cr ₂ O ₃ + 0,02 N H ₂ SO ₄	15
2.5. Pertukaran ion hidroksil dengan ion sulfat	17
2.6. Kation-kation kompleks pembentuk film katoda	17
2.7. Kurva polarisasi katodik asam kromat tanpa/ dengan katoda	19
2.8. Diagram lokasi terjadinya reaksi-reaksi di katoda	21
3.1. Hasil percobaan pelapisan dengan Hull-Cell	24
3.2. Rangkaian peralatan percobaan pelapisan krom hitam	26
3.3a. Hasil pelapisan selama 10 menit	27
3.3b. Hasil pelapisan selama 20 menit	27
3.3c. Hasil pelapisan selama 30 menit	27
3.4a. Kurva reflektivitas vs rapat arus.....	28
3.4b. Kurva reflektivitas vs rapat arus.....	29
3.4c. Kurva reflektivitas vs rapat arus	29
3.5a. Kurva konsentrasi katalis vs reflektivitas.....	30
3.5b. Kurva konsentrasi katalis vs reflektivitas.....	30
3.5c. Kurva konsentrasi katalis vs reflektivitas.....	31
3.6a. Kurva waktu pelapisan vs reflektivitas	31
3.6b. Kurva waktu pelapisan vs reflektivitas	32
3.6c. Kurva waktu pelapisan vs reflektivitas.....	32
3.6d. Kurva waktu pelapisan vs reflektivitas	33
3.7. Hasil uji bend-test (pembengkokan)	34
3.8 .Morfologi permukaan lapisan	35
4.1. Bentuk korosi sumuran pada lapisan krom hitam	41
4.2. Struktur lapisan krom hitam.....	42

DAFTAR TABEL

TABEL	halaman
2.1. Pengaruh katalis pada pelapisan krom hitam	7
3.1. Data hasil percobaan untuk menentukan rentang harga rapat arus (Percobaan Hull Cell)	23
3.2. Variasi percobaan pelapisan krom hitam	24
4.1. Hasil difraksi sinar-X	40
4.2. Hasil difraksi sinar-X	41

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	halaman
A. Diagram Alir Penelitian	46
B. Diagram Alir Percobaan	47
C. Rangkaian Peralatan Percobaan Hull Cell	48
D. Ukuran-Ukuran Benda Uji (Specimen)	49
E. Data Hasil Percobaan Variasi Waktu Pelapisan, Rapat Arus, Dan Konsentrasi Asam Sulfamat (Katalis)	50
F. Hasil Analisa Difraksi Sinar-X	59
G. Data Hasil Pengujian Korosi Lapisan Krom Hitam	61

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.

Lapis listrik krom hitam atau lapis krom hitam adalah suatu proses pelapisan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil akhir atau finishing lapisan berwarna hitam, mempunyai ketahanan terhadap korosi dan suhu sekitar 200⁰C. Lapis krom hitam banyak dilakukan untuk keperluan dekoratif (pelapisan pada barang-barang perabot/furnitur dan peralatan kantor), dan keperluan teknik seperti untuk komponen pemanas air dengan menggunakan panas dari cahaya matahari (*solar water heater*), karena lapisan krom hitam mempunyai daya refleksi cahaya yang rendah.

Untuk mendapatkan lapisan krom hitam pekat (*jet-black*) digunakan larutan asam kromat dengan berbagai jenis katalis, kecuali sulfat. Ungelenk, dkk yang dikutip oleh Serota, L¹²⁾ menyatakan batas maksimum ion sulfat dalam larutan pelapis krom hitam adalah 0,07%, sedangkan dan Driver, PM¹⁹⁾ menyatakan larutan pelapis krom hitam harus bebas dari sulfat, karena sulfat akan mengganggu pembentukan warna hitam pada lapisan krom hitam.

Qualey, MF, seperti dikutip oleh Serota, L¹²⁾ mendapatkan lapisan krom hitam pada batang baja yang mempunyai kerekatan yang baik, dengan menggunakan komposisi larutan pelapis 200 gpl CrO₃, 20 gpl nikel klorida, 2 gpl vanadium nitrat, 6 ml/l *glacial acetic acid*, dan kondisi operasi rapat arus 86A/dm², serta temperatur 30-35⁰C. Graham, AK, seperti dikutip oleh Serota, L¹²⁾, mendapatkan suatu komposisi larutan pelapis dan kondisi operasi pelapisan setelah melakukan percobaan dengan menggunakan lebih dari 30 katalis yang berbeda. Komposisi yang diajukan adalah 250 gpl CrO₃, 0,25 gpl *fluosilicic acid*, dengan rapat arus 13,9 – 41,8 A/dm², temperatur pelapisan 30 – 35⁰C, dan waktu pelapisan selama 5 menit. Dengan menggunakan larutan pelapis pada komposisi asam kromat (CrO₃) 350 gpl, 0,5-0,8 ml/liter asam acetat, rapat arus 100 - 200 Amper/dm², dan temperatur pelapisan 28⁰C, pada 9 volt Ungelenk, seperti dikutip oleh Serota, L¹²⁾ memperoleh lapisan krom berwarna hitam pucat.

Serota, L.¹²⁾ yang mengutip pendapat dari Gilbert dan Buchman menyatakan bahwa

dengan menggunakan larutan asam kromat 200-500 gpl, 100-350 gpl *glacial acetic acid*, rapat arus pelapisan 4-9A/dm², temperatur pelapisan 32-46⁰C, dan waktu pelapisan 15 detik diperoleh lapisan yang berwarna abu-abu gelap sampai hitam.

Shenoi ¹⁴⁾ menyatakan bahwa dengan menggunakan katalis asam sulfamat dapat memberikan lapisan berwarna hitam yang memuaskan pada beberapa jenis logam dengan variasi kondisi operasi yang lebar. Keuntungan lain penggunaan asam sulfamat adalah pelapisan dapat dilakukan pada batas rapat arus dan suhu yang lebih lebar dibandingkan dengan katalis lain selain sulfat.

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu menunjukkan bahwa cukup sulit untuk dapat memenuhi semua spesifikasi yang telah disebutkan di atas.

Substrat untuk keperluan komponen pemanas air bisa dari logam aluminium, tembaga, baja tahan karat, baja galvanis, dan mild steel. Dari jenis logam tersebut aluminium dan tembaga adalah substrat yang banyak digunakan karena ia mempunyai konduktivitas panas yang lebih baik dibandingkan logam lainnya. Untuk mendapatkan sifat optik yang paling baik pada lapis krom hitam digunakan substrat dari logam nikel atau lapis nikel.

Dengan mempertimbangkan sifat teknis terutama sifat konduktivitas panas dan proses fabrikasinya maka logam aluminium atau paduan aluminium sesuai sebagai substrat untuk lapis krom hitam. Dengan perkembangan teknologi pelapisan krom hitam, maka untuk mendapatkan lapisan krom hitam pada substrat aluminium atau paduannya diperlukan suatu lapis antara dengan *zincate*, lapis tembaga (*copper strike*) dan untuk memperoleh sifat optik yang maksimum digunakan lapis nikel setelah lapis tembaga. Prosedur preparasi untuk lapis krom hitam pada logam aluminium dan paduannya mengikuti prosedur ASTM B253-79.

Pemanas air dengan menggunakan panas dari cahaya matahari telah banyak digunakan di Indonesia, tetapi sebagian besar komponennya masih didatangkan dari luar negeri. Saat ini banyak digunakan cat hitam untuk mendapatkan lapisan hitam pada substrat untuk komponen pemanas air menggunakan panas dari cahaya matahari. Pada dasarnya cat hitam bisa menyerap panas lebih tinggi, tetapi umur pakainya rendah dan cat mudah mengelupas dan berubah warnanya, sehingga daya serap panasnya menjadi

rendah, atau daya refleksinya menjadi besar.

Berbagai usaha untuk memproduksi komponen tersebut atau melapisi komponen tersebut melalui metoda pelapisan telah banyak dilakukan tetapi sejauh ini masih kurang berhasil, karena adanya kendala dalam pelapisan krom hitam, yang berkaitan dengan parameter pelapisan yang harus dikontrol secara ketat, seperti temperatur pelapisan, rapat arus pelapisan, konsentrasi bahan katalis, dan preparasi awalnya.

Dengan demikian penelitian untuk memperoleh kondisi operasi pelapisan krom hitam yang tepat dan optimum masih sangat diperlukan saat ini. Keberhasilan dari penelitian ini akan memberikan sumbangan bagi pengembangan teknologi pelapisan umumnya dan pelapisan krom hitam pada khususnya.

B. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pelapisan krom hitam pada logam paduan aluminium jenis 6063 T5, dengan menggunakan lapis antara *zincate*, tembaga dan nikel (sesuai prosedur ASTM B253-79), sehingga dapat dihasilkan lapisan krom yang berwarna hitam pekat dan mempunyai sifat optik yang maksimum. Katalis yang digunakan dalam percobaan ini adalah asam sulfamat, karena katalis ini mudah didapat dan dari percobaan yang telah dilakukan terdahulu telah dibuktikan bahwa katalis ini dapat bekerja dengan baik.

C. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah dapat memecahkan masalah teknis dalam pelapisan krom hitam, sehingga membantu dalam pengembangan teknologi pelapisan di Indonesia, dan mengembangkan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang pelapisan umumnya dan pelapisan krom hitam pada khususnya. Penelitian ini juga bertujuan untuk mempelajari pengaruh-pengaruh parameter yang disebutkan di muka pada lapis krom hitam, dan diharapkan dapat diperoleh kondisi operasi yang optimum dari proses pelapisan krom hitam, sehingga dapat menghasilkan lapisan krom yang berwarna hitam pekat.

Tujuan khusus dari penelitian ini ialah untuk mendapatkan lapisan krom hitam pada substrat paduan aluminium jenis 6063 T5, dengan spesifikasi teknis daya pantulnya

kurang dari 10 %, dan tidak mengalami kerusakan pada suhu sekitar 200⁰C dilingkungan atmosfir.

D. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian lapis listrik krom hitam pada paduan dengan katalis sulfamat diawali dengan penelusuran literatur untuk mengetahui sejauh mana permasalahan dalam pelapisan krom hitam telah dipelajari orang. Setelah permasalahan diketahui kemudian dilakukan percobaan pendahuluan, untuk menentukan kondisi proses pelapisan yang optimum, seperti temperatur proses, variasi waktu pelapisan, dan variasi lain yang sangat berperan.

Tahapan penelitian selanjutnya adalah penelitian/percobaan lanjutan dengan menggunakan variasi-variasi yang telah ditetapkan. Hasil pelapisan kemudian diuji dengan menggunakan standar pengujian yang mengacu pada standar ASTM.

Pengujian hasil pelapisan seperti derajat kehitaman dilakukan dengan menggunakan spectrophotometer, pengujian kerekatan lapisan dengan metoda pembengkokan dan quench-test, dan analisa kualitatif komposisi lapisan menggunakan metoda difraksi sinar-X. Hasil pengujian kemudian dibahas untuk dituangkan dalam kesimpulan.

Dari pembahasan akan dikaji beberapa aspek yang berkaitan dengan tujuan penelitian, termasuk tinjauan tentang unsur yang terdapat pada lapisan krom hitam dan ketahanan korosi dari lapisan krom hitam. Diagram alir dari metoda penelitian pelapisan krom hitam ini dapat dilihat pada lampiran A.

E. Sistematika Penulisan.

Bab I dari laporan penelitian ini merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang penelitian, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, metoda penelitian, dan sistematika penulisan itu sendiri. Tinjauan pustaka diuraikan dalam bab II, yang dibatasi pada tinjauan termodinamika dan mekanime pelapisan /pengendapan krom.

Bab III membahas tentang pelaksanaan percobaan dan hasil percobaan. Pada bab ini akan diuraikan tentang peralatan percobaan, prosedur pelaksanaan percobaan, hasil percobaan, prosedur pengujian dan hasil pengujian. Pembahasan dari hasil percobaan dituliskan dalam bab IV, dan seterusnya kesimpulan dan saran dituliskan dalam bab V.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. LAPIS LISTRIK KROM

Proses pelapisan logam dengan bantuan arus listrik atau yang dikenal dengan elektroplating telah lama dikenal dan sangat luas penggunaannya. Salah satu proses elektroplating yang terkenal adalah elektroplating logam krom.

Lapis krom dalam penggunaannya dibedakan menjadi dua, yaitu lapis krom keras (hard chromium), dan lapis krom dekoratif. Lapis krom keras terutama untuk kebutuhan permesinan yang memerlukan persyaratan teknis seperti kekerasan, ketahanan terhadap keausan, abrasi, panas dan korosi. Contoh penggunaan lapis krom keras, misalnya pada perkakas potong, boring pada silinder motor bakar, poros-poros engkol, dan poros-poros pada peralatan hidrolik, serta untuk merestorasi peralatan/komponen-komponen mesin yang telah mengalami keausan, sehingga ukurannya dapat dikembalikan pada ukuran standarnya.

Lapis krom dekoratif umumnya digunakan pada peralatan kantor, furniture, peralatan musik, peralatan ukur, seperti jarum-jarum penunjuk, dan untuk asesori. Penggunaan lain lapis krom dekoratif untuk keperluan pemanas air dengan menggunakan panas yang diperoleh dari cahaya matahari (solar collector) masih relatif baru. Lapis krom dekoratif bisa menghasilkan warna putih mengkilap, abu-abu kebiru-biruan, abu-abu, kecoklatan, sampai warna hitam pekat. tergantung dari kondisi proses operasinya.

Secara teoritis logam krom mudah diendapkan dari keadaan valensi 6, seperti dinyatakan oleh Seyb, E¹³⁾ bahwa lebih dari 99% lapis krom menggunakan larutan hexavalen dan sisanya menggunakan larutan trivalen. Alasannya ialah dengan larutan krom hexavalen dapat diperoleh lapisan yang mengkilap, keras, ketebalan yang bervariasi, dan toleransi terhadap bahan pengotor relatif lebar. Sedangkan dengan larutan krom trivalen dihasilkan lapisan yang kurang mengkilap, ketebalan lapisan yang diperoleh terbatas dan lapisan sensitif terhadap bahan pengotor.

Beberapa pakar pelapisan masih belum sepakat mengenai teori pengendapan krom, seperti yang diungkapkan oleh Blum dan Hogaboom, yang dikutip oleh Lowenheim⁴⁾ bahwa tidak ada teori yang memuaskan mengenai lapis krom dari larutan asam kromat murni. Tetapi para pakar juga tidak menentang bahwasanya untuk mengendapkan krom diperlukan bantuan katalis.

B. Lapis Krom Hitam (Black Chromium)

Lapis krom hitam adalah suatu proses pelapisan dengan larutan asam kromat ditambah katalis selain sulfat, dimaksudkan untuk mendapatkan lapisan berwarna hitam, yang mempunyai daya refleksi rendah, tahan korosi, dan suhu sekitar 200°C. Akhir-akhir ini lapis krom hitam pada substrat aluminium atau paduannya dengan lapis antara seng, tembaga, dan nikel banyak digunakan untuk komponen pemanas air dengan memanfaatkan panas dari cahaya matahari. Hal ini karena lapis krom hitam ini mempunyai daya refleksi (ϵ) yang rendah. Lapisan krom hitam dikatakan baik jika daya refleksinya rendah, dan daya reflektivitas cahaya sangat ditentukan oleh komposisi lapisan. Lapis krom konvensional menggunakan larutan asam kromat dengan bahan katalis sulfat, sedangkan lapis krom hitam diperoleh dari larutan asam kromat dengan bahan katalis (1) asam acetat, (2) asam fosfat, (3) asam sulfamat, (4) sodium nitrat, (5) ammonium metavanadat, (6) vanadium pentoksida, (7) urea, (8) fluorida, (9) fluosilikat, (10) kreolitt, kecuali sulfat.

Seyb,E¹³⁾ menyatakan bahwa dengan proses pelapisan yang baik dapat dihasilkan daya absorpsi cahaya/panas dari 0,9-0,95 dan daya pantulnya dapat dipertahankan $< 0,1$, serta mempunyai kestabilan panas sampai 400°C. Sifat lainnya dari lapisan ini ialah tahan lama.

Shenoi, dkk¹⁴⁾ menyatakan pengaruh katalis lain selain asam sulfamat pada pelapisan krom hitam sangat bervariasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Pengaruh Katalis pada Pelapisan Krom Hitam

No	Katalis	Sifat endapan/lapisan
1	Asam Acetat	Abu-abu
2	Nikel Khlorida	Coklat
3	Ammonium Metavanadat	Coklat keabu-abuan
4	Asam Fluosilicic	Abu-abu kehitaman
5	Nitrat (alkali logam)	Striasi abu-abu
6	Urea	Abu-abu kebiruan
7	Asam Sulfamat	Hitam

Dari uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa katalis asam sulfamat merupakan katalis yang baik untuk pelapisan krom hitam.

Lapis krom hitam dapat dilakukan langsung ke logam dasar/substrat, tetapi yang paling banyak dilakukan untuk lapi krom hitam adalah melalui lapis antaran Cu-Cr atau Cu-Ni-Cr ⁴⁾. Ikoma, M, Fkuoka, Y dan Hayashi, ¹⁸⁾ menyatakan bahwa lapis krom hitam yang dikombinasikan dengan nikel sebagai lapis antara akan diperoleh daya absorpsi cahaya sebesar $\pm 0,95$ dan refleksinya $\pm 0,05$, serta ketebalan yang dapat diperoleh adalah 18 mikron. Dubpernel ⁴⁾ menyatakan bahwa dengan menggunakan lapi antara Cu-Cr dan Cu-Ni-Cr dapat dihasilkan lapisan dengan ketebalan 25 mikron dan ketahan korosinya menjadi lebih meningkat.

Pada pelapisan krom hitam, rapat arus dan suhu larutan pelapis harus dikontrol secara ketat untuk mendapatkan lapisan hitam yang stabil. Percobaan yang dilakukan oleh Shenoi, dkk ¹⁴⁾ menunjukkan bahwa pelapisan pada temperatur $<15^{\circ}\text{C}$ diperoleh lapisan berwarna hitam kebiru-biruan, dan pada temperatur $15-30^{\circ}\text{C}$ diperoleh lapisan berwarna hitam pekat, selanjutnya pada temperatur pelapisan $>30^{\circ}\text{C}$ diperoleh lapisan berwarna abu-abu kehitaman.

Beberapa peneliti menemukan bahwa unsur lapisan krom hitam terdiri dari logam krom, dan oksida krom dengankandungan 60-75% logam krom dan 25-40%

adalah oksida krom^{13,14)}. Warna hitam lapisan krom hitam merupakan sifat semikonduksi dari oksida krom.

C. Tinjauan Termodinamika Pelapisan Krom

Tinjauan termodinamika dalam proses pelapisan krom bertujuan untuk memperkirakan reaksi-reaksi yang mungkin terjadi, dan untuk mengetahui apakah reaksi tersebut berlangsung secara spontan atau tidak.

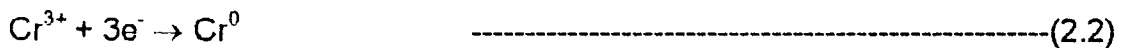
Ryan, NE,¹⁰⁾ menyatakan bahwa krom tidak dapat diendapkan dari elektrolit krom hexavalen, tanpa adanya tambahan bahan katalis atau anion, yang biasanya adalah dulfat, fluoride atau fluosilikat.

Menurut Carveth, HR dan Curry, BE, seperti dikutip oleh Shenoi¹⁴⁾, logam krom dapat diendapkan dari larutan asam kromat pada rapat arus yang tinggi. Seyb, E¹³⁾ menyimpulkan bahwa logam krom diendapkan dari keadaan hexavalen. Hal ini dihubungkan dengan anomali bahwa lebih mudah mengendapkan logam dari valensi yang tinggi, dan ini secara termodinamika dapat difahami untuk beberapa kejadian.

Dari diagram kesetimbangan potensial-pH untuk logam krom pada temperatur 25°C seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, dapat dijelaskan bahwa pengendapan krom dapat berlangsung melalui reaksi:



$$E_0 = 0,295 - 0,0591\text{pH} + 0,0098 \log a_{(\text{H}_2\text{CrO}_4)}$$



$$E_0 = -0,744 + 0,0197 \log a_{(\text{Cr}^{3+})}$$

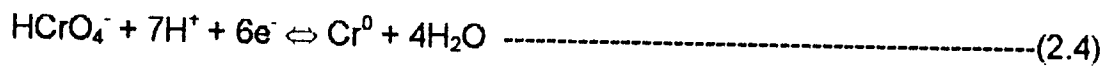


$$E_0 = -0,913 + 0,0197 \log a_{(\text{Cr}^{2+})}$$

Dari ketiga reaksi pengendapan krom diatas dapat disimpulkan bahwa jika pengendapan krom dilakukan dengan penurunan potensial, maka reaksi yang pertama yang akan terjadi adalah reaksi 2.1, yaitu pengendapan dari $\text{Cr}^{6+}/\text{Cr}^0$, selanjutnya jika potensial diturunkan kembali maka reaksi 2.2 yang akan berlangsung, yaitu pengendapan logam krom dari $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^0$, dan seterusnya dengan penurunan

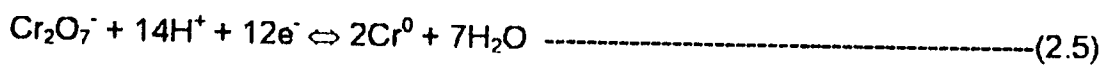
kembali potensial maka reaksi 2.3 yang akan berlangsung, yaitu pengendapan krom dari $\text{Cr}^{2+}/\text{Cr}^0$. Pengendapan krom dari ion hexavalen krom (Cr^{6+}) ke krom metalik (Cr^0) secara teoritis adalah lebih mudah, dibandingkan dengan pembentukan hidrogen.

Jika ion krom dalam larutan berupa HCrO_4^- , maka reaksi pengendapan krom metalik adalah:



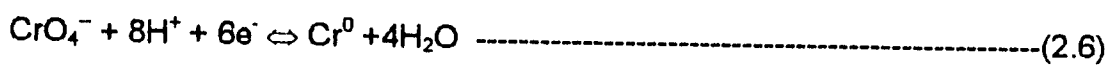
$$E_0 = 0,303 - 0,0689\text{pH} + 0,0098 \log a_{\text{HCrO}_4^-}$$

Jika ion krom dalam larutan berupa $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, maka reaksi pengendapan krom metalik adalah:

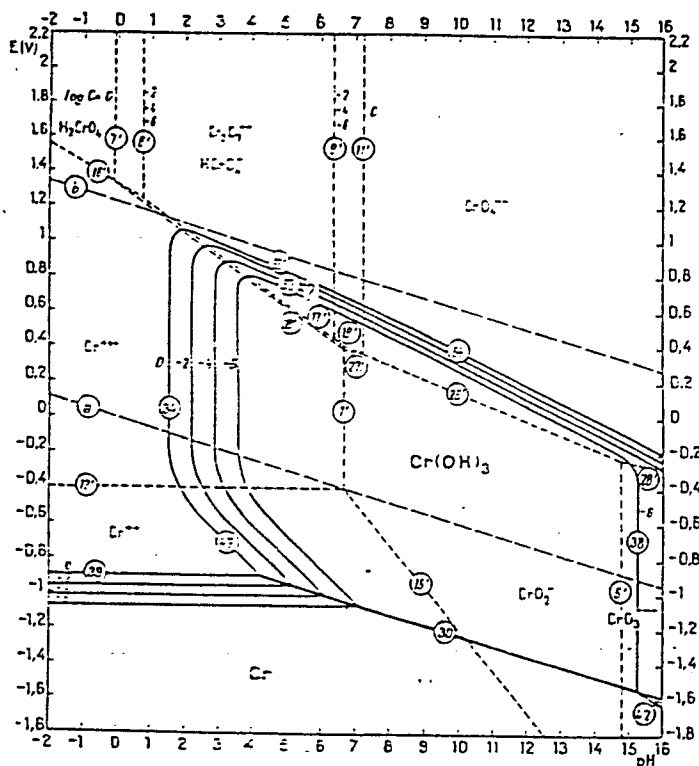


$$E_0 = 0,294 - 0,0689\text{pH} + 0,0049 \log a_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}}$$

Jika ion krom dalam larutan berupa CrO_4^{2-} , maka reaksi pengendapan krom metalik adalah:



$$E_0 = 0,366 - 0,0788\text{pH} + 0,0098 \log a_{\text{CrO}_4^{2-}}$$



Gb.2.1. Diagram kesetimbangan potensial-pH untuk logam krom pada temperatur 25°C ¹⁶⁾

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwasanya secara termodinamika logam krom dapat diendapkan ke permukaan katoda/substrat apabila kondisi potensial dan pH larutan pelapis tetap dalam keadaan stabil dan asam.

D. Mekanisme Pengendapan Krom

Sebagaimana telah diuraikan pada tinjauan termodinamika bahwa pengendapan krom langsung dari asam kromat, beberapa pakar masih berbeda pendapat. Sebagian pakar mengatakan krom bisa diendapkan langsung dari asam kromat pada rapat arus yang tinggi, sedangkan sebagian lagi menyatakan bahwa krom tidak dapat diendapkan dari larutan asam kromat murni, tanpa bantuan katalis.

Beberapa pakar menyatakan bahwa jika didalam larutan asam kromat tidak terdapat ion katalis (SO_4^{2-}), maka dikatoda akan tumbuh film (selaput) oksida amorf yang akan mencegah proses reduksi logam krom, sehingga hanya akan terjadi reduksi ion hidrogen. Tetapi dengan adanya ion katalis (SO_4^{2-}) dalam larutan pelapis krom, maka logam krom dapat diendapkan dari selaput yang terbentuk di katoda melalui kompleks $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}$, dan dipermudah oleh interaksi ion sulfat (SO_4^{2-}), dengan krom hidroksida $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Ion SO_4^{2-} , akan menembusi dan berinteraksi dengan selaput katodik dan mengubah struktur selaput tersebut, sehingga dapat berlangsung reduksi ion krom hexavalen logam krom^{9,11,19)}

Jadi fungsi katalis (SO_4^{2-}) pada pelapisan krom ialah mengurangi ketebalan selaput oksida amorf dengan cara melarutkan sebagian, dan mereduksi senyawa yang dibentuk sehingga dimungkinkan terjadinya reduksi yang menghasilkan logam krom. Dengan mempertimbangkan bahwa selaput oksida amorf tersebut bersifat semikonduktor. Gerischer dan Kappel, seperti dikutip Hoare¹⁷⁾ menyatakan bahwa ion SO_4^{2-} akan membatasi pembentukan atau ketebalan film dengan menghambat pertumbuhannya dan menaikkan overpotensial hidrogen, sehingga laju pengendapan logam krom menjadi meningkat, dikarenakan laju evolusi hidrogen menurun.