

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Adnyani (2009) meneliti tentang pengaruh kuat dan distribusi arus terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan *chrome* pada *stoneware* dan *earthenware*. Metode yang digunakan dalam penelitiannya adalah metode eksperimental. Dalam penelitian ini material non logam dengan lapisan *chromeplating* dengan cara memberikan lapisan karbon tipis terlebih dahulu agar bahan non logam tersebut bisa menjadi konduktor. Pelapisan tersebut menggunakan variasi kuat arus sebesar 0,24 A, 0,54 A dan 0,7 A. Tujuan dari penelitiannya adalah mengetahui kekerasan dan ketebalan lapisan *chrome* yang menempel pada permukaan material keramik-gerabah. Sampel atau benda uji tersebut dibuat dengan ukuran 4 cm x 8 cm x 0,5 cm. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus akan meningkatkan ketebalan. Nilai paling kecil pada kuat arus 0,24 A menghasilkan ketebalan 0,0010 mm, sedangkan nilai tertinggi pada kuat arus 0,7 A yang menghasilkan ketebalan lapisan sebesar 0,00233 mm. Selain ketebalannya meningkat, semakin besar kuat arus juga meningkatkan kekerasannya yang ditunjukkan oleh alat uji kekerasan *vickers*. Dalam pengujian tersebut menunjukkan nilai kekerasan paling kecil adalah pada kuat arus 0,24 A menghasilkan kekerasan 105 VHN dan nilai kekerasan tertinggi pada kuat arus 0,7 yaitu menghasilkan kekerasan 115 VHN.

Satriawan (2006) dalam penelitiannya tentang pengaruh jarak anoda-katoda pada proses *electroplating* terhadap laju korosi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian semu (*quasi experimental research*), dengan mengkondisikan lingkungan agar spesimen yang diuji dapat terkorosi. Dalam percobaan ini diteliti pengaruh dari perubahan jarak anoda-katoda pada proses *chromeplating* (3, 5, 7, 9, 11 cm) terhadap laju korosi baja. Spesimen uji yang digunakan adalah baja JIS S45C (ASSAB 760) dengan ukuran 5,5 cm x 4 cm, tebal 0,5 cm. Dari penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin dekat jarak anoda-katoda akan menurunkan laju korosi.

Fayomi (2011) yang meneliti tentang pengaruh parameter *plating* dan morfologi permukaan pada baja lunak. Dalam penelitian ini, jarak anoda dan katoda divariasikan antara 10 cm sampai 30 cm, dan tegangan listrik divariasikan antara 0,5 V sampai 1 V. Hasilnya, ketebalan paling tinggi adalah pada jarak anoda dan katoda 10 cm dan pada tegangan listrik 1 V dengan ketebalan sebesar 0,5 mm. Kesimpulan dari penelitian

tersebut adalah semakin dekat jarak antara anoda dengan katoda dan semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka ketebalan dan berat lapisannya akan semakin besar.

2.2 Baja

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja $\leq 2\%$ sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Selain itu unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah *titanium*, *chromium*, *nickel*, *vanadium*, *cobalt* dan *tungsten (wolfram)*. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Berdasarkan komposisinya baja dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifat sifatnya adalah karbon, sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut prosentasenya.

Baja karbon sendiri terbagi menjadi 3 yaitu:

a) Baja karbon rendah

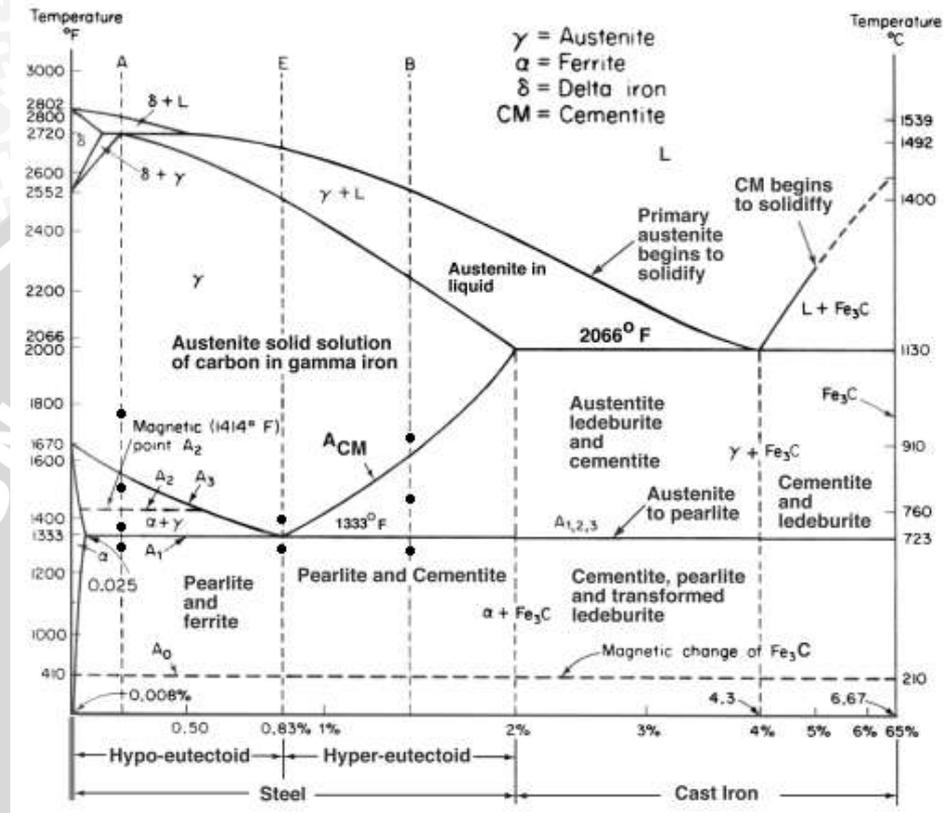
Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon $< 0,3\%$. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk martensit. Baja karbon rendah memiliki sifat lunak, ulet dan tangguh. Baja karbon rendah biasa digunakan sebagai bodi mobil, kontruksi motor dan lain-lain.

b) Baja karbon menengah

Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon antara $0,3 - 0,6\%$. Baja karbon menengah memiliki sifat yang lebih keras dan lebih kuat dari baja karbon rendah. Baja karbon menengah biasa digunakan sebagai poros, roda gigi dan lain-lain.

c) Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,6 – 2 %. Baja karbon tinggi memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon menengah dan baja karbon rendah, akan tetapi memiliki keuletan yang rendah.



Gambar 2.1 Diagram keseimbangan Fe₃C

Sumber : Surdia, 1999

2. Baja Paduan

Baja dikatakan paduan jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur silisium dan mangan. Baja paduan semakin banyak digunakan. Unsur yang paling banyak digunakan untuk baja paduan, yaitu: Cr, Mn, Si, Ni, Mo, Ti, Al, Cu, Tb dan Zn. Penambahan unsur-unsur lain dalam baja paduan dapat dilakukan dengan satu atau lebih unsur, tergantung dari karakteristik atau sifat khusus yang dikehendaki.

2.3 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses perlakuan

panas pada dasarnya terdiri dari 3 tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu (*heating*), lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat (*holding*), baru kemudian dilakukan pendinginan (*cooling*). Perlakuan panas dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik logam agar sesuai dengan yang di inginkan.

2.4 Hardening

Untuk memenuhi tuntutan fungsi material yang keras, tahan gesekan atau beban yang berat, maka baja bisa dikeraskan dengan proses perlakuan panas *hardening*. *Hardening* adalah proses perlakuan panas dengan cara memanaskan sampai suhu *austenite* kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) dengan kecepatan pendinginan di atas pendinginan kritis agar terbentuk martensit dan menghasilkan kekerasan yang tinggi. Proses *hardening* akan menyebabkan kekerasan baja meningkat tetapi biasanya baja akan bersifat rapuh dan juga akan menimbulkan tegangan sisa. Oleh karena itu perlu proses *tempering* untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan keuletan dari baja tersebut.

2.5 Tempering

Proses *temper* adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh ukuran butir yang seragam untuk mendapatkan kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi.

Prinsip dari *tempering* adalah baja panaskan sampai temperatur dibawah A1 (diagram fasa Fe-Fe₃C) ditahan selama 1 jam/25 mm tebal baja, lalu didinginkan di suhu ruangan. Dengan perlakuan *tempering*, kekerasan, tegangan sisa dan kegetasan diperlunak sesuai dengan penggunaan. Ketinggian temperatur proses *tempering* dan waktu *holding* benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagaimana pedoman yang berlaku, bahwa benda kerja ditemper sejauh tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai (Surdia, 1999).

2.6 Pelapisan Logam

Pelapisan logam (*metal coating*) adalah suatu cara yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas material baik dalam hal struktur mikro, ketahanan, dan juga memperbaiki sifat fisiknya. Pelapisan logam merupakan salah satu dari bagian akhir proses produksi dari suatu produk. Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin, serta penghalusan

terhadap permukaan benda kerja yang dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam pekerjaan *finishing* dari suatu produksi benda kerja. Sifat-sifat ideal bahan pelapis dari logam tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Logam pelapis harus jauh lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan dibanding logam yang dilindungi.
- b) Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
- c) Sifat-sifat fisik, seperti kekerasan harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
- d) Tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori-pori (persyaratan ini hampir tidak mungkin dipenuhi).

Namun demikian, tahapan yang paling penting sebelum suatu logam dilakukan pelapisan adalah tahapan persiapan, yaitu untuk:

- a) Membersihkan semua kotoran pada permukaan seperti oli, minyak, debu, dan serpihan dari poses produksi.
- b) Membuang produk-produk korosi yang sudah terbentuk pada permukaan.

2.7 Electroplating

Electroplating merupakan proses pelapisan logam dengan bantuan arus listrik yang berlangsung secara reaksi reduksi oksidasi dari logam pelapis (sebagai anoda yang teroksidasi) ke benda kerja (sebagai katoda yang dilapisi). Pada katoda terjadi proses penangkapan elektron sedangkan pada anoda terjadi reaksi pelepasan elektron, sehingga proses pengendapan berlangsung di katoda yang berdampak terhadap penambahan ketebalan benda kerja (Al Hasa, 2007).

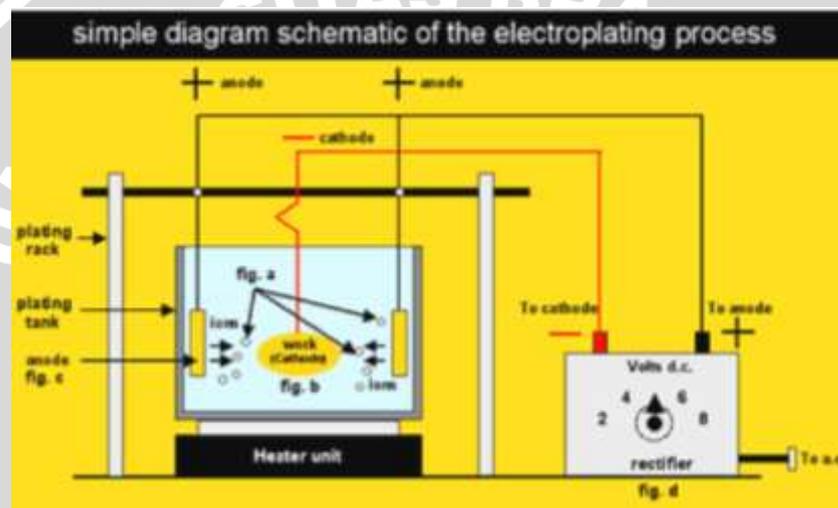
Electroplating memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dibandingkan pelapisan dengan cara yang lainnya. Kelebihannya antara lain: suhu temperaturnya pelapisan relatif rendah, ketebalan lapisan lebih mudah dikendalikan, permukaan halus dan mengkilap, dan hemat dalam pemakaian logam pelapis. Sedangkan kerugian dari *elektroplating* antara lain: adanya keterbatasan dalam unsur lapisan dan desain benda kerja yang akan dilapisi, hanya harus ada listrik, tidak bisa dilakukan di lapangan, terbatas dengan bahan yang bersifat konduktor (Pathasardhy, 1998).

Proses *Electroplating* memiliki empat komponen penting yaitu:

1. Katoda, merupakan elektroda negatif dalam larutan elektrolit dimana logam yang akan dilapisi diletakkan pada posisi ini.

2. Anoda, merupakan elektroda positif dalam larutan elektrolit pada umumnya merupakan sumber ion logam yang melapisi.
3. Larutan elektrolit, merupakan media penghantar yang dapat berupa asam, basa, atau garam. Pada *hard chromium plating* larutan elektrolit berfungsi sebagai penyedia ion logam, yang akan menempel pada logam yang akan dilapisi yang larut dalam larutan.
4. Arus listrik, arus listrik ini mengalir dari anoda ke katoda, arus yang digunakan yaitu arus DC (*Direct current*)

Skema proses *electroplating* dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Proses *Elektroplating*
Sumber : *Journal Electrochemisty Encyclopedia*

2.8 Elemen Sel Elektrolitik

2.8.1 Elektrolit

Jika arus listrik dialirkan pada larutan *sodium chloride* maka larutan tersebut akan dapat menghantarkan arus listrik dan kemudian larutan akan terurai menghasilkan endapan katoda. Larutan yang dapat menghantarkan listrik disebut larutan elektrolit, sedangkan proses penguraian ion-ion dari larutan disebut ionisasi. Proses ionisasi yang diakibatkan oleh adanya arus listrik tersebut dinamakan elektrolisis.

Larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Berdasarkan daya hantar listriknya larutan elektrolit dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Larutan elektrolit kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang mempunyai daya hantar arus listrik yang besar. Yang tergolong elektrolit kuat:

1. Asam kuat antara lain: HCl, HClO₃, HClO₄, HNO₃, dan lain-lain.

2. Basa kuat, yaitu basa golongan alkali dan alkali tanah, antara lain: NaOH, KOH, Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 , Ba(OH)_2 , dan lain-lain.
3. Garam-garam yang mempunyai kelarutan tinggi, antara lain: NaCl, KCl, KI, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

b. Larutan elektrolit lemah

Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang memiliki daya hantar arus yang kecil. Yang tergolong elektrolit lemah:

1. Asam lemah, antara lain: CH_3COOH , HCN, H_2CO_3 , H_2S , dan lain lain.
2. Basa lemah, Antara lain: NH_4OH , Ni(OH)_2 dan lain lain.
3. Garam-garam yang sukar larut, antara lain: AgCl, CaCrO_4 , PbI_2 dan lain lain.

2.8.2 Sumber Arus

Besar arus yang akan digunakan selama proses *Elektroplating* dan kestabilannya harus diperhatikan karena hal itu berhubungan dengan hasil pelapisan yang akan terbentuk. Ditinjau dari kestabilan arus yang dibutuhkan, maka sumber arus yang paling baik adalah DC *power supply* (catu daya searah).

2.8.3 Elektroda

Pada proses *elektroplating* terdapat dua buah elektroda dimana elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif disebut anoda. Sedangkan elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif disebut dengan katoda yang dalam hal ini adalah logam yang akan dilapisi. Ciri-ciri dari elektroda tersebut adalah sebagai berikut (Hartomo, 1992 : 2) :

a) Anoda:

- Merupakan kutub positif
- Terjadi reaksi oksidasi
- Terjadi pelepasan elektron

b) Katoda:

- Merupakan elektroda negatif
- Tempat terjadinya reaksi reduksi
- Merupakan benda kerja yang akan dilapisi

Anoda yang sering digunakan dalam proses *elektroplating* ada dua macam yaitu anoda yang dapat larut dan anoda yang tidak dapat larut. Maksud dari anoda yang dapat larut adalah anoda yang selama proses pelapisan memberikan ion-ion logamnya kepada

katoda sehingga anoda jenis ini makin lama makin habis terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn), *nickel* (Ni), perak (Ag), *Chrome* (Cr), dan lain sebagainya. Penggunaan anoda jenis ini memiliki keuntungan yaitu membantu pengoperasian dalam menjaga konsentrasi larutan agar tetap dalam batas yang diinginkan secara otomatis. Akan tetapi, anoda jenis ini memiliki kelemahan yaitu dalam jangka waktu yang relatif panjang akan menghasilkan kotoran dan memerlukan pengontrolan kondisi apakah anoda masih berfungsi dengan baik untuk pengoperasian (Parthasarady, 1998 :48). Sedangkan anoda yang tidak dapat larut adalah anoda yang selama proses tidak terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah karbon (C), platina (Pt), timah hitam (Pb), dan lain sebagainya. Penggunaan anoda jenis ini tidak membutuhkan pengontrolan kondisi anoda secara khusus.

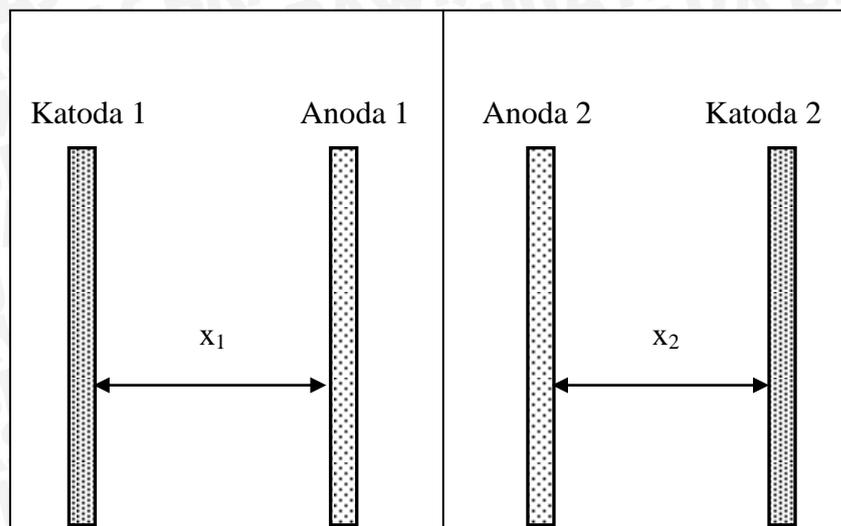
2.8.4 *Throwing Power*

Kemampuan larutan elektrolit untuk menghasilkan ketebalan yang merata pada permukaan katoda dengan bervariasinya jarak anoda-katoda disebut *throwing power* dan dinyatakan dalam (%). Larutan asam kromat mempunyai angka *throwing power* yang kurang baik, oleh karena itu jarak anoda-katoda sangat mempengaruhi hasil pelapisan logam. Walaupun mempunyai *throwing power* yang kurang baik namun permukaan yang merata dapat diperoleh jika perbandingan berat 100 : 1 untuk asam kromat dan asam sulfat masih terpenuhi (Parthasarady, 1988: 277).

Hal-hal yang dapat mempengaruhi *throwing power* (Parthasarady, 1988 :279) adalah:

1. *Physical* : bentuk geometri elektrode, jarak elektrode,
2. *Chemical* : komposisi larutan, PH, kotoran terlarut, zat aditif
3. *Electrical* : *current density*, konduktifitas larutan, efisiensi larutan

Besarnya angka *throwing power* dapat diuji dengan *Haring Blum Cell*. Dua katoda diletakkan dengan jarak yang berbeda dari anoda, kemudian dilakukan *electroplating*. Berat endapan logam dinyatakan dengan w_1 dan w_2 , jarak relatif masing-masing katoda dengan anoda x_1 dan x_2 .



Gambar 2.2 : Skema *Haring-Blum Cell*
 Sumber : N.V. Parthasarady , 1988 :281

Besarnya angka *throwing power* dapat ditentukan dengan rumus *field* (Derek Pletcher,1990 :392).

$$\% \text{ Throwing Power} = \frac{100(K - B)}{K + B - 2} \quad (2.7)$$

Keterangan :

K = perbandingan jarak anoda dengan katoda (x_1 / x_2)

B = perbandingan berat endapan logam (w_1 / w_2)

x_1 = jarak katoda 1 dengan anoda 1 (cm)

x_2 = jarak katoda 2 dengan anoda 2 (cm)

w_1 = berat endapan logam di katoda 1 (gram)

w_2 = berat endapan logam di katoda 2 (gram)

Throwing power dari logam pelapis *chrome* kurang baik, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil pelapisan yang baik maka perbandingan antara *chromium trioksida* dan asam sulfat harus dijaga dengan baik. *Throwing power* setara dengan efisiensi arus listrik selama proses, yaitu prosentase berat endapan secara aktual (sebenarnya) dibandingkan berat teoritis (sesuai perhitungan Hukum Faraday), untuk *chromeplating* efisiensi arus listrik rendah yaitu sekitar 10-25 % (Parthasarady ,1988: 282). *Throwing power* pada *chromeplating* berkisar antara 13 % sampai kurang dari 100 % (Dubpernell,1990 : 100).

2.9 Potensial Elektroda

Reaksi redoks adalah reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi secara serentak dalam suatu sel elektrokimia. Reaksi oksidasi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat melepaskan elektron. Pada sel elektrokimia oksidasi terjadi di anoda. Reaksi reduksi adalah suatu perubahan kimia dimana suatu zat menangkap elektron. Pada sel elektrokimia, reduksi terjadi di katoda. Pada reaksi redoks, zat yang mengoksidasi disebut oksidator. Sedangkan zat yang mereduksi zat lain disebut reduktor.

Suatu reaksi redoks dapat menimbulkan potensial listrik tertentu yang disebut potensial elektroda (E). Potensial elektroda berguna untuk mengetahui dan mengukur kekuatan sifat reduktor logam-logam. Potensial elektroda didefinisikan sebagai potensial listrik yang ditimbulkan apabila suatu ion logam menangkap elektron (mengalami reduksi) menjadi logamnya. Makin mudah suatu ion logam mengalami reduksi, makin besar potensial elektroda yang ditimbulkan. Dengan demikian unsur-unsur dalam Deret Volta dari kiri ke kanan memiliki harga potensial reduksi yang makin besar.

Logam-logam dapat disusun dalam suatu deret menurut kenaikan potensial elektrodanya yang disebut Deret Volta yaitu:

K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Ni Sn Pb H Cu Hg Ag Pt Au

Semakin ke kiri posisi logam dalam deret volta potensial elektrodanya semakin kecil. Semakin kecil potensial elektroda suatu logam makin mudah logam itu mengalami oksidasi, sebaliknya makin besar potensial elektroda suatu logam makin mudah logam itu mengalami reduksi. Akan tetapi harga potensial elektroda dari suatu reaksi reduksi tidak dapat diukur secara langsung, karena tidak mungkin reaksi reduksi tersebut berlangsung sendiri tanpa ditemani reaksi oksidasi. Oleh karena itu harga potensial elektroda yang dipakai adalah E relatif (E) yang dibandingkan terhadap suatu standar adalah hidrogen, dan bagi reaksi reduksi ion H^+ menjadi H_2 Diberikan harga potensial reduksi (E) = 0,00 volt.



Dengan demikian, dapat ditetapkan harga E dari logam-logam, yaitu harga E relatif yang dibandingkan terhadap E hidrogen. Logam-logam di sebelah kiri H dalam deret volta memiliki E negatif, dan logam-logam di sebelah kanan H dalam deret volta memiliki E positif.

2.10 Hubungan Hukum Faraday dengan *Electroplating*

Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dengan jumlah arus yang digunakan, yaitu:

- Hukum I Faraday

Berat arus logam yang diendapkan (w) pada saat berlangsung proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah kuat arus (I) dan waktu (t).

- Hukum II Faraday

Untuk jumlah arus yang sama, berat dari logam yang diendapkan berbanding lurus dengan berat ekuivalen masing – masing zat tersebut.

Hukum I membuktikan terdapat hubungan antara reaksi kimia dan jumlah total listrik yang melalui elektrolit. Menurut Faraday, arus 1 ampere mengalir selama 96,496 detik (26,8 jam) membebaskan 1,008 gram hidrogen dan 35,437 gram klor dari larutan asam klorida dalam bentuk cair. Seperti hasil yang ditunjukkan bahwa 96,496 *coulomb* arus listrik membebaskan satu satuan berat ekuivalen ion positif dan negatif. Oleh sebab itu, 96,496 *coulomb* atau kira-kira 96500 *coulomb* yang disebut 1 Faraday sebanding dengan berat 1 elektrokimia. Pernyataan diatas dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$w = \frac{I \cdot t \cdot A}{z \cdot F}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{10 \times 2700 \times 52}{1 \times 96500} \\ &= 14,549 \text{ gram} \quad (\text{Sanders, 1950})(2-1) \end{aligned}$$

Keterangan:

w = massa logam yang diendapkan (gr)

I = arus yang digunakan (ampere)

A = berat atom (g/mol)

z = jumlah elektron valensi.

t = waktu (detik)

F = bilangan Faraday = 96500 (Coulomb/mol)

Dari rumus tersebut, ketebalan deposit dapat diperoleh dengan asumsi deposit sepanjang permukaan seragam (Sanders, 1950). Untuk mengetahui ketebalan deposit maka kita harus mengetahui volume dari logam, dan hubungan tersebut sebagai berikut.

$$\text{Density} = \frac{\text{berat endapan}}{\text{volume}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \quad (\text{Sanders, 1950})(2-2)$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{berat endapan}}{\text{density}} (\text{cm}^3) \quad (\text{Sanders, 1950})(2-3)$$

Pada kondisi sebenarnya berat yang terbentuk akan lebih rendah daripada berat secara teoritis (berat menurut Hukum Faraday). Hal ini disebabkan karena arus listrik yang digunakan oleh *elektroplating* ini tidak semuanya digunakan untuk pengendapan (deposit) ion logam, namun juga reaksi-reaksi sampingan yaitu: evolusi (pelepasan hidrogen), dan pelepasan kalor pada larutan elektrolit. Perbandingan berat aktual (sebenarnya) dengan secara teoritis, menunjukkan efisiensi arus listrik dan dinyatakan dalam persen yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{arus}} = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{teoritis}}} \times 100\% \quad (\text{Sanders, 1950})(2-5)$$

Keterangan:

W_{aktual} = berat yang mengendap di katoda

W_{teoritis} = berat menurut hukum Faraday

2.11 Chrome

Chrome adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cr dan nomor atom 24. *Chromium* merupakan logam tahan korosi (tahan karat) dan dapat dipoles menjadi mengkilat. Dengan sifat ini, *chromium (chrome)* banyak digunakan sebagai pelapis pada ornamen-ornamen bangunan, komponen otomotif, alat-alat berat, maupun sebagai hiasan. *Chrome* sendiri memiliki kekerasan 8,5 Moh's (1723,5 VHN).

Chrome sebagai bahan pelapis mempunyai sifat-sifat sebagai berikut

Tabel 2.1 Sifat fisik *chrome* (Surdia, 1992:53)

Lambang	Cr
Nomor Atom	24
Massa atom	52 gr/cm ³
Rapat massa	7,19 gr/cm ³
Suhu lebur	1863 ⁰ C

Sumber: Surdia (1999:53)

2.11.1 Pelapisan *Hard Chrome*

Proses pelapisan *chrome* pada dasarnya sama dengan proses pelapisan dengan listrik yang lain, yaitu dilakukan dalam suatu rangkaian yang sekurang-kurangnya memiliki satu anoda, katoda dan elektrolit.

Aplikasi pelapisan *chrome* cukup luas, baik untuk tujuan dekoratif maupun dipergunakan bagi keperluan aplikasi teknologi. Dari dua macam kepentingan serta keunggulan pelapisan *chrome*, maka dapat dibagi menjadi dua yaitu: *decorative chrome* dan *hard chrome* (Suarsana, 2008 : 51)

1. *Decorative chrome*

Decorative chrome mempunyai ciri lapisan *chrome* yang tipis yaitu kurang dari 1 mikron, dengan menitikberatkan pada segi tampak rupa yang menarik dan indah, permukaannya halus tanpa noda, tidak mudah pudar, dan menambah daya tahan terhadap korosi.

2. *Hard Chrome*

Hard chrome mempunyai ciri lapisan yang lebih tebal (lebih dari 1 mikron), dan banyak digunakan untuk benda-benda yang karena penggunaannya memerlukan sifat mekanik tertentu. Sifat yang paling penting dalam lapisan *hardchrome* adalah kekerasan, daya lekat, daya tahan korosi, dan memiliki koefisien gesek yang rendah.

2.11.2 Penggunaan dari Pelapisan *Hard Chrome*

Berbagai macam alat-alat perkakas dilapisi dengan *chrome* untuk meminimalkan aus, mengurangi gesekan, dan untuk meminimalisir proses terjadi korosi. Aplikasi dari proses pelapisan *hard chrome* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Aplikasi pelapisan *Hard Chrome*

Komponen	Material	Ketebalan (μm)	Waktu Pelapisan
<i>Plastic molds</i>	<i>Tool steel</i>	5-13	30 min
<i>Piston ring</i>	Baja atau besi tuang	150-225	8 jam
<i>Aircraft engine parts</i>	<i>Nikel-based alloys, high strength steel</i>	75-180	10 jam
<i>Micrometers</i>	Baja	7,5-13	20 min
<i>Cutting tools</i>	<i>Tool steel</i>	1,3	5 min
<i>Crankshaft</i>	Baja	255-3800	12 jam
<i>Hydraulics cylinder</i>	Baja 1045	13	40 min

Sumber: ASM Handbook Vol 5 (1994:685)

2.12 Larutan *Plating*

Chrome tidak dapat diendapkan langsung dari larutan yang hanya mengandung CrO_3 dan air saja. Dalam larutan tersebut harus ditambahkan larutan asam yang berfungsi sebagai katalis. Tanpa adanya katalis dalam larutan tersebut pelapisan *hard chrome* tidak akan berhasil sempurna, yang terjadi hanya selaput berwarna pada permukaan benda kerja yang dilapisi. Katalis adalah substansi yang dapat meningkatkan laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan tanpa ikut secara permanen dalam reaksi tersebut (Nasikin, 2010:3). Dari pengertian di atas, setidaknya terdapat 2 fungsi dari katalis yaitu:

- Mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas.
- Meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas.

Komposisi dan kondisi operasi untuk larutan *chromic acid/sulfat* (larutan konsentrasi rendah dan konsentrasi tinggi) untuk *elektroplating hard chrome* diberikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Sulfate bath* untuk larutan *hard chrome*

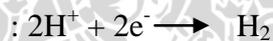
<i>Sulfate bath</i>	Larutan konsentrasi	
	rendah	tinggi
<i>Chromic acid</i> (g/l)	250	400
<i>Sulfat</i> (g/l)	2,5	4
Rapat arus (A/dm ²)	31-62	16-54
Temperatur (°C)	52-63	43-63

Sumber: ASM Handbook Vol 5 (1994:685)

2.13 Mekanisme Reaksi

Dalam bak *plating* ketika proses berlangsung terjadi berbagai reaksi yang akan mempengaruhi kualitas hasil lapisan. Asam kromat dalam larutan asam bak *plating* berada, kebanyakan sebagai ion dikromat. Pada katoda terjadi tiga reaksi yang berlangsung serentak (Hartomo, 1992:56) yaitu: deposisi *chrome*, pengeluaran hidrogen dan pembentukan Cr (III), reaksinya sebagai berikut:

Evolusi hidrogen



Pembentukan



Pengendapan *chrome*



Pengeluaran hidrogen menyerap 80% sampai 90% energi yang diberikan pada sistem. Hanya 10% saja dipergunakan untuk deposisi *chrome* sesungguhnya. Anoda *chrome* terlarut tidak efisien pada kondisi elektrolisis, apalagi logam *chrome* jauh lebih mahal daripada bentuk CrO₃ maka digunakan anoda tidak terlarut yakni timbal (Pb). Pada anoda terjadi tiga reaksi serentak (Hartomo, 1992:57) yaitu: pengeluaran oksigen, oksidasi ion kromat dan produksi timbal oksida pada anoda, reaksinya sebagai berikut:

Evolusi Oksigen



Oksidasi ion *chrome*



Pembentukan timbal Oksida



Kebanyakan daya diserap untuk pengeluaran oksigen. Akan tetapi, dua reaksi lain amat penting, oksidasi hilang Cr³⁺ pada anoda membantu menyeimbangkan produksinya pada katoda dan menjaga tingkat Cr³⁺. Semua reaksi diatas berlangsung secara bersamaan dan kondisi temperatur sangat mempengaruhi proses berjalannya reaksi.

Pada saat proses pelapisan logam berlangsung maka akan timbul gelembung-gelembung gas hidrogen (H₂) akibat adanya reaksi pelepasan hidrogen pada katoda. Gas

hidrogen yang timbul akan menyebabkan lubang-lubang kecil berupa titik-titik hitam atau buram pada permukaan hasil pelapisan. Hasil ini sering disebut *pitting* yang disebabkan oleh adanya gas hidrogen tersebut selain menjadikan hasil pelapisan tampak buruk, juga menyebabkan kerapuhan pada hasil pelapisan. Sifat rapuh ini akan Nampak bila benda kerja dibengkokkan, maka logam pelapis menjadi patah atau retak. *Pitting* yang berupa lubang-lubang kecil tersebut menjadi jalan bagi berlangsungnya reaksi secara makro.

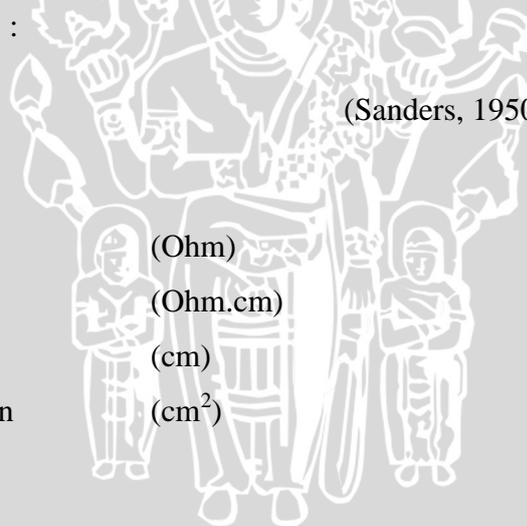
2.14 Konduktivitas Listrik Elektrolit

Konduktivitas listrik larutan adalah kemampuan larutan untuk menyalurkan arus listrik. Besar arus listrik yang mengalir pada elektrolit dipengaruhi oleh beda potensial yang diberikan kepada elektroda dan tahanan dari larutan. Konduktivitas listrik berbanding terbalik dengan resistansi atau hambatan listrik dari larutan. Besarnya hambatan pada elektrolit dipengaruhi oleh tahanan jenis (*specific resistance*), jarak elektroda, dan luas permukaan elektroda yang dirumuskan sebagai berikut (Parthasarady, 1998 : 17) :

$$R = \frac{ql}{\alpha} \quad (\text{Sanders, 1950})(2.6)$$

Keterangan :

R	= Resistansi	(Ohm)
q	= Tahanan Jenis	(Ohm.cm)
l	= Jarak Elektroda	(cm)
α	= Luas Permukaan	(cm ²)



Tabel 2.4 Tahanan Jenis Larutan Elektrolit (Parthasarady, 1988 : 18)

Plating bath	Resistivy (Ohm.cm)
<i>Acid copper</i>	5,6
<i>Rochelle copper</i>	14,3
<i>High efficiency nacr-copper</i>	6,8
<i>High efficiency kcn-copper</i>	5,9
<i>Watts nickel</i>	19,5
<i>Chromium (standar surface type)</i>	2,0
<i>Cyanide zinc</i>	7,7
<i>Acid zinc</i>	21,0
<i>Cyanide cadmium</i>	7,3
<i>Alkaline tin</i>	16,2
<i>Brass (cyanide type)</i>	12,4
<i>Alkaline cleaner</i>	19,0

Sedangkan konduktansi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C = \frac{K \cdot \alpha}{l} \quad (\text{Sanders, 1950})(2-7)$$

Keterangan:

- C = Konduktansi listrik (Siemens)
 K = Konduktansi spesifik (Siemens/cm)
 α = luasan elektroda (cm²)
 l = Jarak anoda dan katoda (cm)

untuk meningkatkan konduktivitas elektrolit dapat ditempuh beberapa cara sebagai berikut:

1. Meningkatkan konduktivitas spesifik elektrolit dengan penambahan garam atau asam.
2. Meningkatkan luasan area kontak elektroda, misalnya dengan penambahan anoda.
3. Mengurangi jarak anoda dan katoda dengan mendekatkannya sedekat mungkin.
4. Meningkatkan temperatur elektrolit tetapi tidak sampai larutan tersebut menguap.

Konduktivitas larutan dibentuk oleh jumlah ion (dimana jumlah ion tergantung pada konsentrasi elektrolit yang dipakai) dan kecepatan ion berpindah atau bermigrasi

karena pengaruh tegangan listrik yang dipakai. Makin cepat ion bergerak, konduktivitas larutan juga semakin besar. Elektrolit menunjukkan peningkatan konduktivitas larutan dengan peningkatan temperatur, suatu sifat yang menunjukkan pergerakan ion yang besar. Peningkatan 20 °C pada bak *plating* dapat meningkatkan konduktivitas sekitar 1 % (Parthasarady, 1989:17).

2.15 Definisi Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastik yang diakibatkan tekanan atau goresan dari benda lain. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah indenter ke permukaan benda uji. Ukuran hasil penekanan dikonversikan ke angka kekerasan.

2.16 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menurut mekanisme penekanannya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Metode gores (moh's)

Metode ini tidak banyak lagi digunakan dalam dunia metalurgi dan material lanjut, tetapi masih sering dipakai dalam dunia mineralogi. Metode ini dikenalkan oleh Friedrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala (yang kemudian dikenal sebagai skala Mohs). Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai nilai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan. Dalam skala Mohs urutan nilai kekerasan material di dunia ini diwakili oleh:

1 = Talk	6 = Feldspar
2 = Gips	7 = Kwarsa
3 = Kalsit	8 = Topas
4 = Fluorite	9 = Titanium
5 = Apatik	10 = Intan

Prinsip pengujian yaitu bila suatu mineral mampu digores oleh Feldspar (no. 6) tetapi tidak mampu digores oleh Apatik (no. 5), maka kekerasan mineral tersebut berada antara 5 dan 6. Berdasarkan hal ini, jelas terlihat bahwa metode ini memiliki kekurangan utama berupa ketidakakuratan nilai kekerasan suatu material. Bila kekerasan mineral-mineral diuji dengan metode lain, ditemukan bahwa nilai-nilainya berkisar antara 1-9 saja, sedangkan nilai 9-10 memiliki rentang yang besar.

2. Metode elastik/pantul (*rebound*)

Dengan metode ini, kekerasan suatu material ditentukan oleh alat *scleroscope* yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan benda uji. Tinggi pantulan (*rebound*) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

3. Metode Indentasi

Tipe pengetesan kekerasan material/logam ini adalah dengan mengukur tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan *speciment* standar terhadap “penetrator”. Adapun beberapa bentuk penetrator atau cara pengetesan ketahanan permukaan yang dikenal adalah :

- a. *Ball indentation test (Brinell)*
- b. *Pyramida indentation (Vickers)*
- c. *Cone indentation test (Rockwell)*
- d. Uji kekerasan mikro (*Micro-vickers test*)

Berikut penjelasannya :

a. *Ball indentation test (Brinell)*

Pengujian kekerasan dengan metode *brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*indentor*) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (*speciment*). Idealnya, pengujian *brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *Brinell* sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*. Angka kekerasan *Brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi koefisien dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Indentor (bola baja) biasanya telah dikeraskan dan dilapisi ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter indentor 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter indentornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N.

Diameter bola dengan gaya yang di berikan mempunyai ketentuan, yaitu:

- Jika diameter bola terlalu besar dan gaya yang di berikan terlalu kecil maka akan mengakibatkan bekas lekukan yang terjadi akan terlalu kecil dan mengakibatkan sukar diukur sehingga memberikan informasi yang salah.

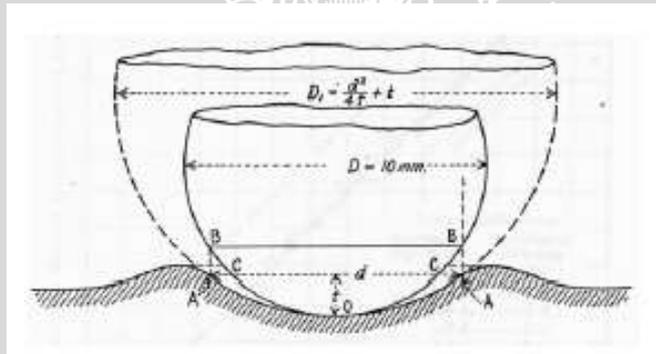
- Jika diameter bola terlalu kecil dan gaya yang di berikan terlalu besar maka dapat mengakibatkan diameter bola pada benda yang di uji besar (masuknya bola) sehingga mengakibatkan harga kekerasannya menjadi salah.

Pengujian kekerasan pada *Brinell* ini biasa disebut BHN (*Brinell Hardness Number*).

Pada pengujian *Brinell* akan dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

1. Kehalusan permukaan.
2. Letak benda uji pada indenter.
3. Adanya pengotor pada permukaan.

Dalam Praktiknya, pengujian *Brinell* biasa dinyatakan dalam (contoh) : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan *Brinell* hasil pengujian dengan bola baja (Indenter) berdiameter 5 mm, beban Uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.



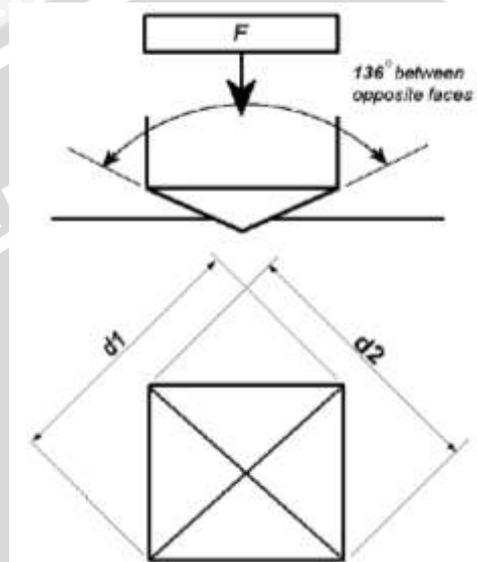
$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Gambar 2.3 *Brinell Test*
Sumber: Walley, 2011: 10

b. *Pyramida indentation (Vickers)*

Vickers adalah hampir sama dengan uji kekerasan *Brinell* hanya saja dapat mengukur sekitar 400 VHN. Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi.

Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 kgf, 10 kgf, 30 kgf dan 50 kgf. Dalam praktiknya, pengujian *Vickers* biasa dinyatakan dalam (contoh) : HV 30 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 kgf dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 Kgf dan lama pembebanan 30 detik.



Gambar 2.4 Vickers Test
Sumber: Surdia, 1990

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$HV = \frac{F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{\frac{d^2}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)

c. Cone indentation test (Rockwell)

Rockwell merupakan metode yang paling umum digunakan karena sederhana dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras. Jenis indenter pada pengujian *Rockwell* ada beberapa jenis yaitu bola baja dengan diameter 1/16 inch, 1/8 inch, 1/4 inch, 1/2 inch dan intan kerucut.

Hardness number (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi indenter, dengan cara memberi beban minor diikuti beban major yang lebih besar.

Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan *Rockwell* dibedakan atas 2 :

Uji kekerasan Rockwell :

- beban minor : 10 kgf
- beban major : 60, 100, 150 kgf

Uji kekerasan Rockwell superficial :

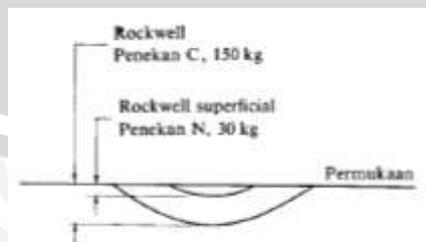
- beban minor : 3 kgf
- beban major : 15, 30, 45, kgf

Skala kekerasan :

SIMBOL	INDENTOR	BEBAN (kgf)
A	Intan	60
B	Bola 1/16 inch	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inch	100
F	Bola 1/16 inch	60
G	Bola 1/16 inch	150
H	Bola 1/8 inch	60
K	Bola 1/8 inch	150
L	Bola 1/4 inch	60
M	Bola 1/4 inch	100
P	Bola 1/4 inch	150
R	Bola 1/2 inch	60
S	Bola 1/2 inch	100
V	Bola 1/2 inch	150

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

- HRa (Untuk material yang sangat keras)
- HRb (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 kgf.
- HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf. Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*speciment*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.



Gambar 2.5 Rockwell Test
Sumber : Surdia, 1990: 32

d. Uji kekerasan mikro (*Micro-vickers test*)

Pada pengujian ini sangat mirip dengan standart pengujian Vickers, kecuali dilakukan pada skala yang mikroskopis dengan instrument presisi yang lebih tinggi. Indentor yang digunakan sama dengan standart pengujian Vickers yaitu menggunakan intan yang di bentuk menjadi piramida. Bentuk lekukan intan tersebut adalah perbandingan diagonal panjang dan pendek dengan skala 7:1. Pengujian ini untuk menguji suatu material adalah dengan menggunakan beban statis tidak lebih dari 1 kgf. Hal ini sangat berguna khususnya bila mengukur kekerasan lapisan tipis kurang dari 0,05 mm sehingga tidak menembus ke material induknya.



Gambar 2.6 Micro-vickers test

2.17 Hubungan Jarak Anoda dengan Katoda Terhadap Kekerasan Permukaan

Jarak anoda-katoda akan mempengaruhi besarnya konduktivitas larutan proses *hard chrome*, karena perubahan jarak anoda-katoda berpengaruh pada *resistivity* dan *throwing power* larutan asam kromat. Konduktivitas akan mempengaruhi jumlah dan kualitas endapan (lapisan) yang terbentuk. Makin tebal lapisan yang terbentuk akan menyebabkan kekerasannya semakin tinggi (Adnyani, 2009).

2.18 Hipotesis

Semakin dekat jarak antara anoda dan katoda pada *hard chrome* berpengaruh pada peningkatan kekerasan permukaan baja yang telah diberi proses *tempering* karena perubahan jarak anoda-katoda berpengaruh pada *resistivity* dan *throwing power* larutan asam kromat. *Resistivity* akan mempengaruhi jumlah dan kualitas endapan (lapisan) yang terbentuk. Makin tebal lapisan yang terbentuk akan menyebabkan kekerasannya semakin tinggi.