

# PERBANDINGAN KUALITAS PRODUK CORAN ANODA SENG MENGUNAKAN CETAKAN TEMBAGA DAN CETAKAN ALUMINIUM BERDASARKAN PENGARUH UKURAN BESAR BUTIRNYA TERHADAP LAJU KOROSI

**Anang Ansyori**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati,  
Jl. Pramuka No 27 Kemiling, Bandar Lampung, Telp/Fax. (0721) 271112 – (0721) 271119

e-mail:

aanangansyori@yahoo.co.id

## ABSTRAK

Proteksi katodik merupakan salah satu cara untuk menurunkan dan melindungi struktur baja dari laju serangan korosi yang tinggi. Anoda Seng sebagai anoda korban digunakan untuk perlindungan struktur-struktur baja yang berada di lingkungan air laut dari korosi yang mempunyai resistivitas rendah. Proses pembuatan anoda korban, pada umumnya menggunakan proses pengecoran logam metoda gravity casting . Pengontrolan bentuk butiran itu dapat dilakukan dengan pengaturan kecepatan pendinginan. Variasi bahan cetakan dan tebal dinding cetakan dimaksudkan untuk mendapatkan variasi kecepatan pendinginan atau laju aliran panas, sehingga akan diperoleh ukuran besar butir kristal yang berbeda. Pengukuran besar butir dari sampel uji dan pengujian tegangan potensial anoda seng pada masing-masing benda uji yang memiliki ukuran butir kristal berbeda. Material cetakan tembaga yang memiliki sifat konduktivitas panas yang tinggi ( $0,94 \text{ Btu.ft/}^{\circ}\text{F.hr.ft}^2$ ) sehingga pada ketebalan cetakan yang sama, laju alir panas (heat flow) material tembaga jauh lebih tinggi dari material aluminium. Kehalusan butir hasil coran yang diperoleh dari cetakan tembaga mencapai sekitar  $68,82 \mu\text{m}$  (terkecil), sedangkan kehalusan butir hasil coran yang diperoleh dari cetakan aluminium mencapai sekitar  $124,21 \mu\text{m}$  (terbesar). Kinerja anoda yang paling baik diberikan oleh benda kerja yang memiliki butir halus diperoleh dari cetakan tembaga yang (disebabkan penyebaran endapan Zn-Al yang semakin homogen).

**Kata kunci** : anoda-seng, butir, pendinginan, perlindungan, korosi

## ABSTRACT

*Comparison Product Quality Castings Anode Zinc Templated Copper And Aluminum Mold Under The Influence Of Large Measure Butirnya Against The Corrosion. Cathodic protection is one way to reduce and protect the steel structure of the attack high corrosion. Zinc anode as anode the be used for protection steel structures located within the sea water of corrosion have low resistivitas. The process of making anode victims, generally using a process casting metals gravity casting method. Controlling the form of grains can be done with the regulation speed of cooling prossess. Variation of molding material and thick the mold intended to get variation speed cooling or the rate of flow of heat , so as to be obtained largeness a distinct crystals. Measurement large the grains of a test sample and testing potential voltage anode zinc on the each of having a measure of grain crystals different . The material mold copper having traits conductivity high heat (  $0,94 \text{ btu.ft / of.hr.ft}^2$  ) so in the thickness of the exact same mold that , heat flow material of copper much higher than its aluminum. Subtlety castings grains results obtained from mold copper roughly  $68,82 \mu\text{m}$  (smallest) , while subtlety castings grains results obtained from aluminum mold roughly  $124,21 \mu\text{m}$  (largest). Performance anode the best given by workpiece that has smooth grains obtained from mold copper (caused the spread of precipitate zn-al increasingly homogeneous ) .*

**Keywords** : zinc-anode, grains, cooling-process, protection, corrosion

## 1. LATAR BELAKANG

Proteksi katodik merupakan salah satu cara untuk menurunkan dan melindungi logam struktur dari laju serangan korosi yang tinggi. Anoda Seng sebagai anoda korban, digunakan secara luas dalam sistim proteksi katodik metoda sel galvanik, terutama untuk perlindungan struktur-struktur baja yang berada di lingkungan air laut yang mempunyai resistivitas rendah.

Namun pemakaian anoda seng sebagai anoda korban memiliki kapasitas arusnya yang relatif rendah ( $820 \text{ A-Jam/kg}$ ), lebih rendah dari anoda magnesium atau aluminium.

Proses pembuatan anoda korban, pada umumnya menggunakan proses pengecoran logam. Hasil produk coran ini sangat sulit untuk mendapatkan ukuran butiran yang seragam, umumnya terdiri atas tiga bentuk butiran yang berbeda satu sama lain. Bentuk butiran pada daerah

yang paling dekat dengan dinding cetakan adalah *equiaxial* halus, kemudian mengarah ke bagian tengah masing-masing bentuk butirannya berupa *columnar* dan *equiaxial* kasar. Pengontrolan bentuk butiran itu dapat dilakukan dengan pengaturan kecepatan pendinginan, dimana dengan pendinginan cepat pertumbuhan butir dihambat sehingga akan menghasilkan butiran dengan ukuran yang relatif halus, sedangkan pada pendinginan lambat pertumbuhan butir bebas akan menghasilkan ukuran butiran yang kasar. Butir yang halus memiliki sifat mekanik (kekerasan, kekuatan tarik) yang lebih baik dibanding butir kasar. Hal ini karena butir halus memiliki batas butir yang lebih banyak, dimana batas butir merupakan lokasi terjadinya pertemuan antar butir yang orientasinya berbeda, sehingga pada batas butir memiliki tegangan sisa (*residual stress*) yang lebih tinggi dibanding butirnya sendiri. Namun bila dihubungkan dengan :

- a. sifat konduktivitas listriknya, maka butir halus memiliki hambatan listrik yang lebih besar karena memiliki batas butir yang lebih banyak, sehingga relatif sulit dilewati arus listrik.
- b. sifat ketahanan korosinya lebih rendah, karena memiliki tegangan sisa yang lebih besar, dimana batas butir akan bereaksi dengan lingkungan/media korosif lebih cepat.

Berdasarkan alasan tersebut di atas, maka dilakukan penelitian pengaruh ukuran besar butiran terhadap sifat potensial seng sebagai anoda korban dengan tujuan :

- a. menentukan spesifikasi produk berdasarkan sifat potensialnya
- b. mempelajari dan menentukan metoda pengontrolan besar butir yang tepat

Sesuai dengan judul penelitian ini, salah satu metoda pengontrolan besar butir yang akan dilakukan adalah dengan mengatur kecepatan pendinginan melalui variasi bahan dan dimensi cetakan logam. Setiap logam memiliki nilai konduktivitas dan koefisien muai panas yang berbeda-beda. Untuk kecepatan pendinginan yang relatif tinggi, digunakan cetakan logam yang memiliki konduktivitas panas yang tinggi pula. Karena fungsi kecepatan pendinginan di dalam teknik pengecoran logam adalah sama dengan atau identik dengan kecepatan pembekuan logam. Kecepatan pembekuan yang tinggi akan menghambat pertumbuhan butir dan akhirnya menghasilkan besar butir yang relatif halus, sedangkan kecepatan pembekuan yang kecil akan memberikan keleluasaan pertumbuhan butir berkembang dan akhirnya menghasilkan besar butir yang relatif besar atau kasar.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

Struktur logam yang tertanam di dalam tanah atau air akan rusak atau terkorosi apabila tidak

dilakukan perlindungan terhadap serangan korosi. Jenis proteksi korosi yang menggunakan arus yang dihasilkan melalui *rectifier* dan perbedaan reaktifitas antara logam yang dilindungi dengan logam yang melindungi disebut proteksi katodik. Anoda korban adalah suatu bahan logam yang akan dikorbankan untuk melindungi logam lain dari serangan korosi.

Ada tiga macam logam yang dapat digunakan sebagai bahan baku utama anoda korban yaitu : aluminium (Al), magnesium (Mg) dan seng (Zn). Bila logam tersebut dihubungkan dengan logam struktur/konstruksi/katodik dan berada di bawah tanah atau air, bahan logam anoda tersebut harus bersifat lebih anodik, artinya lebih mudah teroksidasi dibandingkan dengan logam struktur konstruksi. Sifat ini dimanfaatkan untuk melakukan proteksi struktur (katodik) dengan cara menghubungkan anoda korban dengan katoda atau struktur baja, membentuk rangkaian sebuah sel galvanik yang besar.

Data sifat fisik dari logam yang dipakai sebagai bahan baku pembuatan anoda korban seng, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Sifat fisik logam bahan baku anoda seng<sup>6</sup>**

Logam	Titik Lebur (°C)	Berat Atom	Berat Jenis	Electro-negativity
Seng	420	65,38	7,14	1,65
Aluminium	660	26,98	2,70	1,61
Cadmium	321	112,41	8,65	1,69

### Persyaratan Anoda Korban

Persyaratan anoda korban sebagai pelindung dalam sistem proteksi katodik, adalah sebagai berikut :

- *Driving force* cukup untuk mempolarisasikan struktur ke potensial proteksi untuk mengatasi masalah :
  - o tahanan produk korosi pada anoda korban
  - o lapis lindung pada katoda
  - o tahanan elektrolit
- Arus yang dihasilkan tinggi dengan polarisasi rendah
- Tidak pasif
- Polarisasi terhadap struktur tidak berlebihan Menghasilkan efisiensi arus proteksi yang lebih tinggi dan ekonomis
- Bahan baku tersedia, murah dan dapat dibuat dengan teknik pengecoran sederhana
- Tidak menyebabkan kerusakan lingkungan

### Efisiensi Anoda

Efisiensi anoda dinyatakan dalam kapasitas arus (A.h/kg), yang nilainya ditentukan oleh berat jenis, efisiensi bahan anoda serta *electrochemical equivalent* yang bergantung pada berat atom serta valensi bahan anoda, selain itu juga factor

lingkungan alam, rapat arus dan struktur mikro anoda.

Anoda korban seng umumnya didisain untuk masa waktu penggunaan yang lebih pendek yaitu 1 sampai 3 tahun di lingkungan laut dan suhu lingkungan yang relatif rendah. Untuk mencegah terjadinya korosi anoda korban yang tidak merata dan menurunnya keaktifan anoda seng, pada umumnya ditambahkan unsure pemadu Cd sampai batas tertentu yang dipersyaratkan terhadap kelestarian lingkungan, sedangkan Al ditambahkan untuk memperbaiki sifat karakteristik dari elektrokimianya.

**Ketahanan Logam Seng terhadap Korosi**

Logam seng dan paduannya mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik. Dalam atmosfer dan udara kering akan terjadi lapisan film yang tipis dan kedap, yang mana lapisan tersebut akan melindungi logam dasar itu sendiri. Sedangkan dalam air biasa, kecepatan korosi dari logam seng akan dipengaruhi oleh komposisi unsur yang terkandung dalam air tersebut. Logam seng akan lebih tahan terhadap air sadah, karena akan terjadi endapan film yang melindungi permukaan seng bila dibandingkan dengan air lunak (*soft water*). Hasil penelitian terhadap seng murni yang dirol, kehilangan beratnya mencapai 3 mg/dm<sup>2</sup> di dalam air sadah, dan 27 mg/dm<sup>2</sup> di dalam air suling setiap harinya.

**Logam Seng sebagai Anoda Korban**

Jika dua logam yang berlainan, misalnya M1 dan M2 ditempatkan dalam suatu elektrolit, kemudian dihubungkan dengan suatu konduktor, maka akan terjadi perpindahan muatan (electron) melalui konduktor tersebut. Arah perpindahannya tergantung dari potensial korosi logam-logam tersebut dalam elektrolit. Jika potensial korosi M1 lebih positif dari M2, maka electron akan berpindah dari M2 ke M1 atau  $M2 - e^- \rightarrow M1$ . Hubungan kecepatan electron potensial ini, diikuti dengan pengurangan kecepatan korosi pada logam M1 dan penambahan kecepatan korosi pada logam M2.

**Cara Pembuatan Seng Anoda**

Seng anoda banyak dibuat dengan proses pengecoran berdasarkan berat jenis (*grafity casting*) dan ada juga yang menggunakan proses pengecoran kontinu (*continuous casting*). Pengaruh dari pengecoran terhadap kerataan permukaan, bentuk struktur atau cacat rongga dari seng anoda akan mempengaruhi sifat dan pemakaian seng anoda tersebut.

Pada pengecoran seng anoda, proses

Pada pengecoran seng anoda, proses pembekuannya harus dijaga jangan sampai terjadi segregasi. Disamping itu juga dihindarkan masuknya pengaruh-pengaruh dari luar yang

menyebabkan terjadinya rongga pada produk coran. Jika cacat tersebut di atas terjadi maka seng anoda cenderung menjadi pasif atau mengurangi sifat fisik sehingga penggunaan bahan akan bertambah.

**Arus yang terjadi pada Anoda**

Anoda mengeluarkan arus (I) dalam satuan ampere, ini adalah perbedaan dari potensial (Volt) antara bahan anoda (E1) dengan potensial dari baja (E2). Potensial tersebut ditentukan dengan elektroda Ag/AgCl dibagi dengan tahanan (R) dalam satuan ohm dari anoda dalam elektrolit.

$$I = (E_1 - E_2)/R \dots\dots\dots (1)$$

Tanda negatif ke dua potensial diabaikan.

**Ketahanan Anoda dalam Air**

Bila anoda yang mempunyai perbandingan panjang terhadap radius efektif rata-rata adalah lebih besar dari 10. maka ketahanan anoda dalam air (R<sub>air</sub>) dapat dihitung dengan rumus, sebagai berikut :

$$R_{air} = (60\% \times \text{luas penampang seng anoda}/\Pi)^{1/2}$$

$$R_{air} = \rho/2 \cdot \Pi \cdot L \{ \ln(2L/r) - 1 \} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$\rho$  = tahanan air ( $\Omega$  cm) r = radius efektif rata-rata

L = panjang anoda (cm) R = Ketahanan anoda dlm

air  $\Pi = 3,14$

Rumus tersebut di atas adalah sebagai dasar untuk menentukan kapasitas dan efisiensi dari seng anoda.

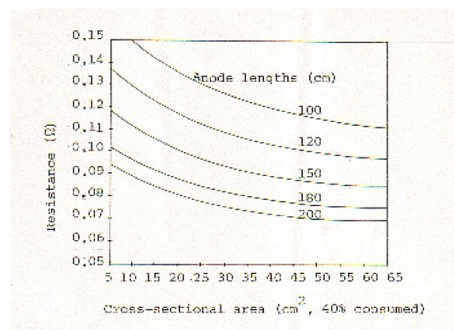
Pada Gambar 2-2 di bawah ini menerangkan harga ketahanan pada bermacam-macam panjang anoda dalam air laut. Tetapi apabila perbandingan antara panjang dan radius efektif rata-rata adalah kecil (kurang dari 10) ketahanan anoda pada persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi :

$$R = 1,5/(1 + 0,8W + 0,8T) \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

L = panjang anoda T = tebal anoda

W = lebar anoda



**Gambar 1. Menunjukkan Ketahanan Anoda Dalam Elektrolit Pada Ketahanan 25 ΩCm.**

**Kapasitas dan Efisiensi Anoda**

Kapasitas anoda adalah arus yang dihasilkan oleh berat dari anoda dan biasanya dinyatakan dengan ampere jam dibagi dengan kilogram

(Ah/Kg). Dalam teori hukum Faraday, 1 gram *equivalen* = 96500. Dari sini dapat dihitung, bahwa 1 kg seng = 819,74 Ah. Yang artinya jika

1 kg seng dilarutkan secara elektrokimia, muatan yang dipindahkan kepada logam yang akan dilindungi sebesar 819,74 elektron yang berfungsi untuk perlindungan ketodik dari struktur.

Efisiensi anoda adalah prosentase dari kapasitas arus yang dicapai secara praktis, berbanding dengan kapasitas arus secara teoritis.

#### **Luas Permukaan Baja yang Memerlukan Perlindungan**

Perhitungan untuk penggunaan anoda korban pada baja yang permukaannya menggunakan lapisan dasar, berdasarkan atas :

- Jumlah baja yang tidak tertutup lapisan dasar.
- Total luas permukaan baja yang terbuka selama struktur tersebut bekerja, akibat lapisan pecah atau erosi.

Jadi permukaan baja yang lebih luas akan memerlukan jumlah anoda korban yang lebih banyak untuk perlindungan baja tersebut.

#### **Cara Penentuan Berat dan Jumlah Seng Anoda.**

Untuk beberapa kondisi yang khusus, total arus yang diperlukan dapat dihitung, sebagai berikut :

- Daerah permukaan baja yang kontak dengan larutan elektrolit yang akan dilindungi didapatkan dari gambar ataupun diukur langsung
- Total arus yang dibutuhkan dalam satuan amper dapat dihitung, sebagai berikut :

$$I = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)} \times \text{Rpt arus (mA/m}^2\text{)} / 100$$

- Berat anoda yang dibutuhkan termasuk penyisipan dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$\text{Berat anoda (kg)} = (\text{Luas} \times \text{rapat arus} \times \text{life} \times 8760) / (1000 \times \text{kapasitas anoda})$$

- Jumlah minimal yang dibutuhkan setiap struktur dapat dihitung dengan rumus, sebagai berikut :

Jumlah anoda min. = rapat arus x luas / 1000 x anoda output Untuk pemilihan anoda yang dibutuhkan, harus memenuhi kedua-duanya baik berat total maupun arus yang keluar di mana :

Berat yg dibutuhkan = jumlah anoda x berat anoda  
Arus yang dibutuhkan untuk perlindungan = jumlah anoda x arus anoda yang keluar.

Catatan : Angka 8760 artinya adalah satu tahun = 8760 jam.

#### **Dasar-Dasar Metalografi**

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur makro dari logam maupun paduannya dengan menggunakan peralatan mikroskop optik. Dalam ilmu pengetahuan dan teknologi, alat ini digunakan untuk menentukan ukuran besar butir, bentuk butir dan distribusi dari bermacam-macam fasa yang kesemuanya ini sangat besar pengaruhnya terhadap sifat mekanis dari logam dan paduannya.

#### **Pemakaian Seng Anoda**

Pemakaian seng anoda untuk mencegah atau perlindungan terhadap terjadinya peristiwa korosi, dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yang mana telah disinggung pada bab yang terdahulu.

Untuk pemakaian seng anoda secara praktis dapat dibagi menjadi beberapa group, antara lain :

- Kapal-kapal laut, misalnya pada *ship hull, propeller ballast tank, peak tank, double tank, engine water jacket, cylinder liner, sea water pipe* dan sebagainya.
- Peralatan yang digunakan dalam air laut, misalnya *heat exchanger, condenser, salt water evaporator, cooler, sea water pipe, sea water pump, storage tank* dan sebagainya.
- Struktur dalam air laut, misalnya *steel sheet pipe, boring platform, gate, lock gate screen, floating dock, submerged pipe*, dan sebagainya.
- Struktur dalam misalnya *buried pipe line, root of electricity pylon, oil well casing, steel pile, cable sheath, tank bottom* dan sebagainya.

#### **Cara-Cara Pemasangan Anoda Korban**

Untuk pemasangan anoda korban harus diperhatikan beberapa hal, antara lain :

- Harus ada hubungan antara anoda korban dengan material yang akan dilindungi agar arus listrik dapat mengalir dengan mudah. Hubungan ini dapat dilakukan dengan cara :
  - o Penempatan anoda dapat dilakukan dengan mur atau dengan pengelasan.
  - o Penempelan dengan menggunakan kawat tembaga
- Permukaan anoda harus bersih terhadap cat atau gumus, agar tidak ada tahanan pada waktu arus mengalir.
- Pemasangan pada kapal laut harus searah atau sejajar dengan arah kapal untuk mengurangi erosi mekanis pada anoda itu sendiri.
- Pemasangan pada kapal laut adalah pada kemudi, dekat propeller, pada lunas kapal, pada dinding kapal atau pada dinding dalam *ballast tank* kapal. Pemasangan harus sesuai dengan daerah pengaruh anoda.
- Anoda korban harus sudah diganti setelah bersisa antara 30 – 40%
- Perlindungan untuk yeti, bisa dilakukan dengan cara pertama, dimana pemasangan anoda korban pada salah satu batangan besi, kemudian g. dicelupkan pada air laut. Pada ujung atas dari anoda korban kemudian di las untuk menempelkan pada salah satu tiang yeti tersebut.

### **3. METODE PENELITIAN**

Proses pembuatan seng anoda dibagi menjadi tiga tahap, sebagai berikut :

- Persiapan

- a. Peralatan : tungku peleburan, cetakan logam, *ladle*/cawan tuang dan peralatan bantu lainnya
  - b. Bahan baku : ingot seng dan logam pepadu seperti; Cd, Al.
2. Proses pengecoran seng anoda
    - a. Peleburan (*melting*) seng
    - b. Pemuatan (*alloying*)
    - c. Penuangan (*pouring*) seng anoda
  3. Pemeriksaan hasil percobaan
    - a. Pemeriksaan komposisi kimia
    - b. Pemeriksaan sifat potensial
    - c. Pemeriksaan struktur mikro

#### Persiapan

Dalam penelitian ini, peralatan utama (tungku peleburan, cawan tuang dan alat bantu) telah disiapkan di Laboratorium Metalogi Fisik dan Manufaktur – Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI. Sedangkan cetakan yang akan digunakan, dibuat dari bahan logam tembaga dan aluminium dalam bentuk silinder.

Kemudian bahan tersebut dibubut sesuai dengan diameter yang telah ditentukan berdasarkan variasi ketebalan dinding cetakan pada diameter rongga cetakan yang sama.

Variasi bahan cetakan dan tebal dinding cetakan dimaksudkan untuk mendapatkan variasi kecepatan pendinginan atau laju aliran panas (*heat flow*). Berdasarkan variasi laju aliran panas ini, maka akan diperoleh ukuran besar butir kristal yang berbeda.

Untuk menghitung laju aliran panas pada masing-masing cetakan logam, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$J = k \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

J = *heat flow*, Btu/hr.ft<sup>2</sup>

k = konduktivitas panas, Btu.ft/°F.hr.ft<sup>2</sup>

T = gradien temperatur

x = tebal dinding cetakan, ft

#### Proses Pengecoran Seng Anoda

Proses pengecoran seng anoda dilakukan, sebagai berikut :

##### a. Peleburan

Peleburan dilakukan pada tungku, dimana seng dan bahan pepadu dimasukkan ke dalam krusibel yang terbuat dari grafit.

Pemanasan dilakukan di dalam tungku sampai logam seng dan logam pepadu mencair. Kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan batang pengaduk dari grafit atau karbon agar tidak terkontaminasi unsur lain.

##### b. Penuangan

Setelah logam seng dan paduannya mencair sempurna, kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang telah disiapkan.

Untuk mengetahui pengaruh dari ukuran besar butir terhadap sifat potensial, maka dilakukan

penuangan pada ketebalan dinding cetakan dan material cetakan yang berbeda'

#### Pemeriksaan Hasil Percobaan

Pemeriksaan hasil coran seng anoda dilakukan, antara lain :

##### a. Pemeriksaan komposisi kimia

Pemeriksaan komposisi kimia dari seng anoda hasil coran dilakukan dengan menggunakan alat "*Shimadzu atomic absorption/flame spectrophotometer*" model AA 630. Unsur kimia yang diperiksa dengan alat ini antara lain ; timah hitam (Pb), tembaga (Cu), cadmium (Cd) dan besi (Fe).

##### b. Pengukuran Besar Butir

Pengukuran besar butir kristal logam dilakukan pada semua sampel *as-cast* menggunakan metoda lingkaran *Heyn*, yaitu dengan mengukur besar butir di dalam foto yang mempunyai skala pembesaran linear ( $v^*$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Contoh pengukuran besar butir kristal logam.

$$L_k = \frac{n.l}{v^* \sum P_k} \dots\dots\dots (5)$$

dimana ;

$L_k$  = panjang butir rata-rata

n = jumlah garis

l = panjang masing-masing garis uji

$v^*$  = pembesaran linear

$P_k$  = titik potong besar butir

Jadi :

$$L_k = \frac{11 . 10 \text{ cm}}{400 . 54} = \frac{1100000}{21600} = 50 \mu m$$

Perhitungan yang harus dilakukan adalah batas butir yang dilewati oleh garis skala, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan di atas. Jika ukuran antara satu pengujian dengan pengujian selanjutnya nilainya hampir sama, maka diberi nama *equiaxial*.

##### a. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada masing-masing hasil coran dilakukan dengan menggunakan metoda uji keras *Brinell*. Persamaan yang dipakai sebagai referensi dalam menentukan nilai keekrasan *Brinell*, adalah sebagai berikut :

$$HB = \frac{P}{(\pi D / 2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots (6)$$

dimana :

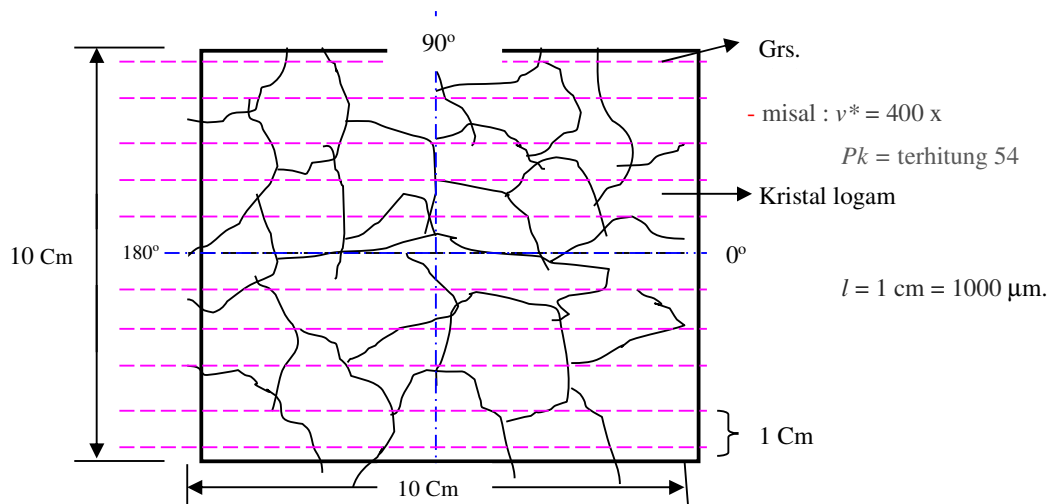
P = beban uji, kg

D = diameter indentor bola baja, mm

d = diameter bekas penekanan, mm

##### b. Pengujian Tegangan Potensial Anoda

Sebelum memeriksa seng anoda, maka penulis terlebih dahulu melakukan pemeriksaan terhadap larutan elektrolit yang digunakan untuk menguji sifat potensial seng anoda.



**Gambar 2. Besar Butir Hasil Pengujian Struktur Mikro**

c. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada masing-masing hasil coran dilakukan dengan menggunakan metoda uji keras *Brinell*. Persamaan yang dipakai sebagai referensi dalam menentukan nilai keekrasan *Brinell*, adalah sebagai berikut :

$$HB = \frac{P}{(\pi D / 2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots (7)$$

dimana :

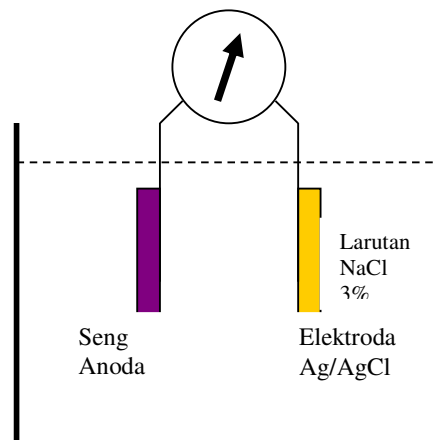
P = beban uji, kg

D = diameter indentor bola baja, mm

d = diameter bekas penekanan, mm

d. Pengujian Tegangan Potensial Anoda

Sebelum memeriksa seng anoda, maka penulis terlebih dahulu melakukan pemeriksaan terhadap larutan elektrolit yang digunakan untuk menguji sifat potensial seng anoda.



**Gambar 3. Skematis Pemeriksaan Tegangan Potensial Seng Anoda**

Untuk pemeriksaan tegangan potensial dan kuat arus, yang dilakukan dengan alat "*Instrument for Corrosion and Cathodic Protection Testing*", *Miller Co.*

a. Pemeriksaan Tegangan Potensial.

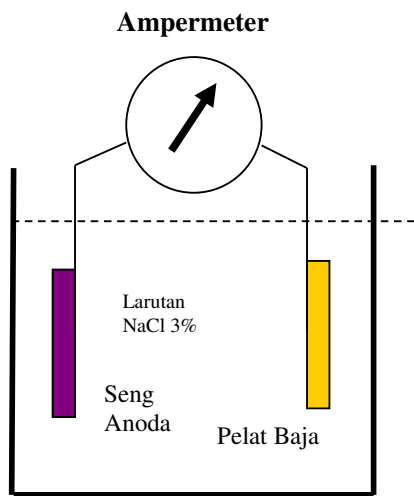
Dalam pemeriksaan tegangan potensial seng anoda dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

Seng anoda yang akan diperiksa dan elektroda Ag/AgCl ditempatkan dalam suatu larutan elektrolit, dan keduanya dihubungkan dengan alat "*Digital multiterter*", kemudian alat tersebut di stel kepengukuran tegangan potensial dan dari alat tersebut dapat langsung dibaca berapa tegangan potensial yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan secara skematis pada Gambar 3.

b. Pemeriksaan Kuat Arus.

Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar kuat arus yang dikeluarkan oleh seng anoda terhadap baja yang akan dilindungi. Pelat baja yang dipakai untuk pemeriksaan ini mempunyai luas permukaan yang sama dengan luas permukaan seng anoda yang akan diperiksa. Seng anoda dan pelat baja ditempatkan dalam suatu elektrolit yang telah ditentukan sifat potensialnya. Jarak antara seng anoda dan pelat baja adalah 35 cm, keduanya dihubungkan dengan alat yang sama "*Digital multiterter*", seperti pada penentuan tegangan potensial. Hanya alat ini di stel kepenentuan kuat arus dalam satuan Amper.

Pengukuran tersebut dapat langsung dibaca berapa kuat arus yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan secara skematis pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematis pemeriksaan kuat arus seng anoda

#### e. Pemeriksaan Metalografi

Dalam pengujian metalografi dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- Pemeriksaan Makro Struktur, Seng anoda yang akan diperiksa bagian permukaannya dihaluskan, kemudian dietsa dengan campuran bahan kimia larutan etsa yaitu dengan mencelupkan benda uji selama 4 detik, lalu dibilas secara berurutan dengan air biasa dan *alcohol* setelah itu dikeringkan. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada mikroskop optik.
- Pemeriksaan mikro struktur. Pada pemeriksaan ini, bertujuan untuk melihat fasa yang terbentuk, struktur matriks dari kristal logam.

#### Pengujian Tegangan Potensial

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan potensial anoda Seng

	Wkt (jam)	Tegangan Potensial anoda, (-mV)						Arus (mA)	Rec. (V)	Suhu (°C)
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3			
1	8	1023	1038	1022	1023	1018	1030	8,49	3,33	30
	11	1053	1058	1042	1047	1041	1048	8,76	2,69	30
2	8	1053	1049	1052	1044	1045	1053	10,12	2,88	29
	11	1046	1050	1045	1041	1043	1044	10,14	2,46	30
3	8	1054	1047	1049	1041	1042	1048	10,57	2,45	29
	11	1043	1031	1042	1032	1031	1035	10,78	2,45	30
4	8	1047	1046	1044	1039	1042	1041	10,15	2,45	29
	11	1040	1041	1042	1035	1035	1037	8,836	2,45	30
5	8	1036	1039	1040	1035	1023	1038	10,21	2,45	29
	11	1023	1024	1035	1026	1023	1029	10,65	2,45	30
6	8	1041	1042	1043	103	1041	1038	9,638	2,45	28
	11	1041	1034	1048	1037	1040	1020	10,12	2,45	30
7	8	1036	1036	1045	1032	1044	1030	9,56	2,45	28
	11	1036	1037	1037	1033	1044	1031	9,96	2,45	30
<b>Rata - Rata</b>		<b>1040,9</b>	<b>1040,9</b>	<b>1041,9</b>	<b>1035,4</b>	<b>1036,6</b>	<b>1037,3</b>	<b>9,85</b>	<b>2,56</b>	<b>29,4</b>

#### Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Arus Anoda Zn

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Komposisi Kimia

Data hasil pengujian komposisi kimia sampel uji *as-cast*, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis komposisi kimia *as-cast* anoda Seng.

Komposisi Unsur, (%) berat					
Al	Cd	Fe	Pb	Cu	Zn
0,31	0,05	0,0013	0,0037	0,0005	Sisa

### Pengukuran Besar Butir

Data hasil pengukuran besar butir dari sampel uji *as-cast*, ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai besar butir *as-cast* anoda Seng.

No.	KODE SAMPEL UJI						
	Lokasi P <sub>i</sub>	Sampel A			Sampel B		
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
1	11	9	9	7	5	6	
2	13	12	10	8	6	5	
3	12	11	11	9	4	6	
4	11	12	10	7	6	5	
5	12	11	9	6	5	7	
6	14	13	10	7	7	5	
7	19	17	9	6	4	6	
8	13	13	9	6	6	6	
9	13	13	10	7	5	5	
10	13	13	10	7	5	7	
11	17	15	11	12	5	6	
Σ	<b>148</b>	<b>139</b>	<b>108</b>	<b>82</b>	<b>58</b>	<b>64</b>	
L <sub>k</sub> (μm)	<b>68,8</b>	<b>73,3</b>	<b>94,3</b>	<b>124,2</b>	<b>127,9</b>	<b>141,5</b>	

Keterangan :  $v^* = 108 x$ ;  $n = 11$ ;

$l = 10 \text{ cm} (= 100.000 \mu\text{m})$

### Pengujian Tegangan Potensial

Hasil pengujian tegangan potensial anoda Zn pada masing-masing benda uji yang memiliki ukuran butir kristal berbeda.

Sebagai bahan perbandingan maka penulis menggunakan referensi Seng anoda ex import

buatan DIMET Singapura, dengan spesifikasi US MIL A-18001 H

Perhitungan tahanan air sebagai larutan elektrolit (*electrolyte resistivity*) adalah sebagai berikut ;

- Berat jenis larutan : 1,023 g/ml
- Keasaman larutan (pH) : 6,2
- Tegangan potensial larutan (E) : 0,9 volt
- Temperatur waktu pengujian (T) : 24,5 C
- Kuat arus (I) : 0,052 Amper
- Lebar bak (b) : 4,1 cm
- Tinggi bak (t) : 4,2 cm
- Jarak kutub (l) : 12,5 cm

$$\text{Tahanan air} = \frac{R \times A}{l} = \frac{E \times A}{I \times l} \dots (8)$$

$$\frac{0,9 \text{ volt} \times (4,1 \text{ cm} \times 4,2 \text{ cm})}{0,052 \text{ Amp} \times 12,5 \text{ cm}} = 23,84 \frac{\text{volt} \cdot \text{cm}}{\text{Amp}}$$

Jadi tahanan air (*resistivity of soil and water*) = 23,84  $\Omega$  cm.

#### Perhitungan output seng anoda ex import

Panjang total anoda = 30 cm  
Lebar = 7,5 cm  
Tinggi = 3,1 cm

Tegangan potensial seng = 1,033 volt

Tegangan potensial baja = 0,699 volt

Radius efektif rata-rata (r)

$$= \left[ \frac{60\% \times \text{luas} \cdot \text{penampang}}{\pi} \right]^{1/2} \dots (9)$$

$$= \left[ \frac{0,6 \times 7,5 \text{ cm} \times 3,1 \text{ cm}}{3,14} \right]^{1/2} = 2,1077 \text{ cm}$$

Ketahanan anoda di dalam air

$$= \frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \left[ \ln \left( \frac{4l}{r} \right) - 1 \right] \dots (10)$$

$$\frac{23,84 \Omega \cdot \text{cm}}{2 \times 3,14 \times 30 \text{ cm}} \left[ \ln \left( \frac{4 \times 30 \text{ cm}}{2,1077 \text{ cm}} \right) - 1 \right] = 0,3849 \Omega$$

Potensial anoda Zn output (nyata) =

$$\frac{\text{Teg. potensial Zn anoda} - \text{Teg. potensial baja}}{\text{Tahanan anoda dalam air}}$$

$$= \frac{1,033 \text{ volt} - 0,699 \text{ volt}}{0,3849 \Omega} = 0,8678 \frac{\text{volt}}{\Omega}$$

.....(4.4)

$$= 0,8678 \text{ Amp.}$$

Bila tegangan potensial anoda Zn (teoritis)

= 1,05 volt

Potensial anoda Zn output (teoritis)

$$= \frac{1,05 \text{ volt} - 0,699 \text{ volt}}{0,3849 \Omega} = 0,9119 \frac{\text{volt}}{\Omega}$$

$$= 0,9119 \text{ Amp.}$$

#### Efisiensi dan kapasitas arus anoda Zn

Untuk menghitung efisiensi dan kapasitas arus anoda, digunakan rumus *Faraday*, sebagai berikut :

$$G = \frac{e \times I \times t}{96500} \dots (11)$$

dimana ;

G = berat yang terendapkan

e = berat atom dibagi valensi

I = arus yang keluar

t = waktu yang dibutuhkan

96500 adalah bilangan *Faraday*

Berdasarkan rumus tersebut di atas, maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{Berat yang hilang secara teoritis setiap jam, adalah ;} \\ = \frac{65,4 \times 0,9119 \times 3600}{2 \times 96500} = 1,1124 \text{ .g} \end{aligned}$$

Berat yang hilang berdasarkan pemeriksaan (nyata) setiap jam, adalah :

$$= \frac{65,4 \times 0,8678 \times 3600}{2 \times 96500} = 1,0586 \text{ .g}$$

Jadi,

#### 1) Efisiensi anoda ex import

$$= \frac{1,0586}{1,1124} \times 100\% = 95,1659\%$$

Bila diketahui :

Berat yang terendapkan = 1000 g

Berat atom Seng = 65,4

Valensi = 2

Waktu yang dibutuhkan = 1 jam (= 3600 sec.)

Arus yang dibutuhkan anoda (I), adalah :

$$I = \frac{1000 \times 96500 \times 2}{65,4 \times 3600} = 819,74 \text{ Ah / kg}$$

Kapasitas arus adalah arus yang dihasilkan dari berat anoda, dinyatakan dalam Ah/Kg.

Dalam hukum *Faraday*, 1 gram *equivalent* dengan 96500 atau 1 kg Zn = 819,74 Ah (yang artinya dalam 1 kg Zn dilarutkan secara elektro kimia dan muatan electron yang dipindahkan ke katodik adalah sebesar 819,74 Ah).

#### 2) Kapasitas arus seng anoda ex import

$$= \frac{95,1659}{100} \times 819,74 = 780 \text{ Ah / kg}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka penulis dapat membandingkan dengan hasil-hasil percobaan yang dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.



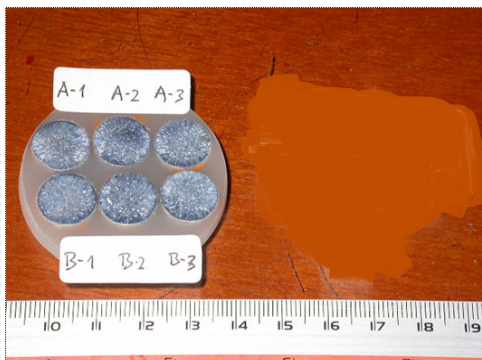
**Tabel 5. Hasil Perhitungan Efisiensi dan Kapasitas Arus Anoda Seng**

Kode Sampel	Tahanan air	Radius efektif rata-rata	Tahanan anoda dlm air	Pot.output anoda (teori)	Pot.output anoda (nyata)	Berat anoda yang hilang (teori)	Berat anoda yang hilang (nyata)	Efisiensi anoda	Arus yang dibutuhkan	Kapasitas arus anoda Zn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A-1	23,84	2,108	0,4	0,912	0,8909	1,1	1,0868	98	819,74	801,06
A-2	23,84	2,108	0,4	0,912	0,8883	1,1	1,0836	97	819,74	798,72
A-3	23,84	2,108	0,4	0,912	0,8883	1,1	1,0836	97	819,74	798,72
B-1	23,84	2,108	0,4	0,912	0,8779	1,1	1,0710	96	819,74	789,38
B-2	23,84	2,108	0,4	0,912	0,8769	1,1	1,0697	96,	819,74	788,45
B-3	23,84	2,108	0,4	0,912	0,6738	1,1	1,0659	96	819,74	785,64

### Pemeriksaan Metalografi Makro Struktur

Pengamatan secara visual dimaksudkan untuk mengetahui bentuk butiran hasil coran (*as cast*), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

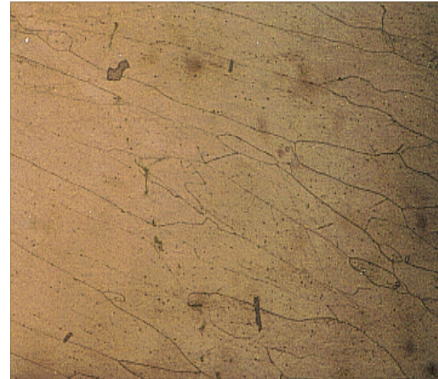
Sedangkan Gambar 6 sampai dengan Gambar 11 adalah hasil pengamatan metalografi dengan pembesaran 108x tanpa dietsa, memperlihatkan bentuk butiran kristal logam. Data ini diperlukan untuk menghitung besar butir pada masing –masing sampel.



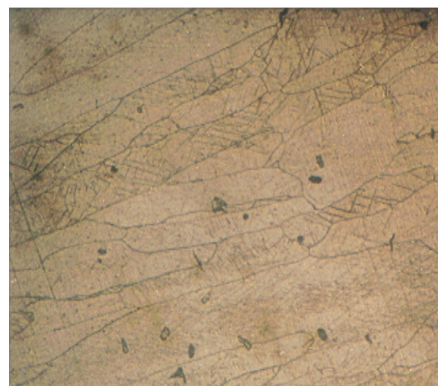
Gambar 5. Sampel uji metalografi yang telah dimounting dengan bahan resin dan telah dipolishing



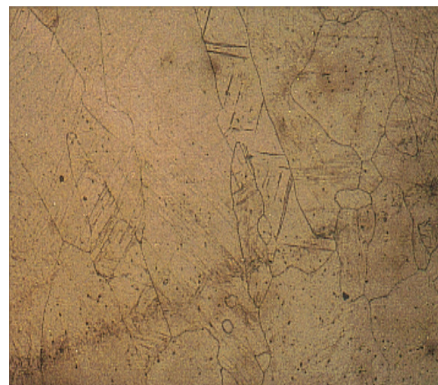
Gambar 6. Kode sampel A - 1. Cetakan logam tembaga 5 mm Pembesaran 108x



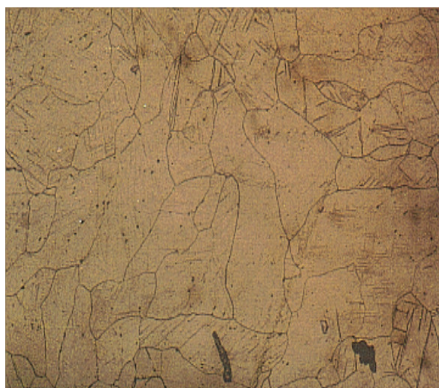
Gambar 7. Kode sampel A - 2. Cetakan logam tembaga 7,5 mm. Pembesaran 108x



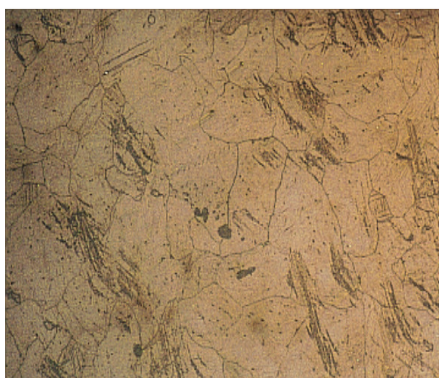
Gambar 8. Kode sampel A - 3. Cetakan logam tembaga 10mm. Pembesaran 108x



Gambar 9. Kode sampel B - 1. Cetakan logam Aluminium 5mm. Pembesaran 108x



Gambar 10. Kode sampel B - 2. Cetakan logam Aluminium 7,5mm. Pembesaran 108x



Gambar 11. Kode sampel B - 3. Cetakan logam Aluminium 10mm. Pembesaran 108x

### Perhitungan Laju Aliran Panas

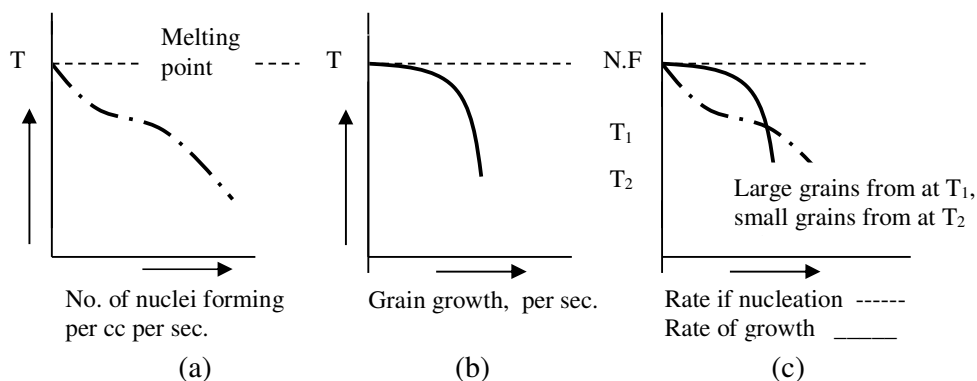
Hasil perhitungan laju aliran panas (*heat flow*) dari cetakan logam tembaga, aluminium dan baja karbon sedang (0,6%C) dengan masing-masing ketebalan 5; 7,5 dan 10 mm ditunjukkan dalam Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Data hasil perhitungan *heat flow* pada variasi cetakan dan ketebalan cetakan

Kode Sampel	Cetakan logam	Tebal dindin g mm	Konduktivitas panas, $Btu.ft/^{\circ}F.hr.ft^2$	Heat flow (J), $Btu/hr.ft^2$
A-1	Tembaga	5	0,94	12748,75
A-2	Tembaga	7,5	0,94	8291,87
A-3	Tembaga	10	0,94	6181,21
B-1	Al	5	0,594	8056,125
B-2	Al	7,5	0,594	5239,75
B-3	Al	10	0,594	3906,00

### Pengaruh Kecepatan Pendinginan pada Proses Pertumbuhan Butir

Pada proses pengecoran dengan pendinginan lambat, kristal yang dihasilkan berbentuk *columnar* atau memanjang dengan ukuran butir kristal besar/kasar. Sedangkan dengan pendinginan cepat menghasilkan bentuk butir kristal *equiaxed* atau hampir bulat dengan ukuran butir kecil/halus. Hal ini karena kecepatan pendinginan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pertumbuhan butir, seperti ditunjukkan pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Pengaruh kecepatan relatif pada pengintian dan pertumbuhan butir kristal.

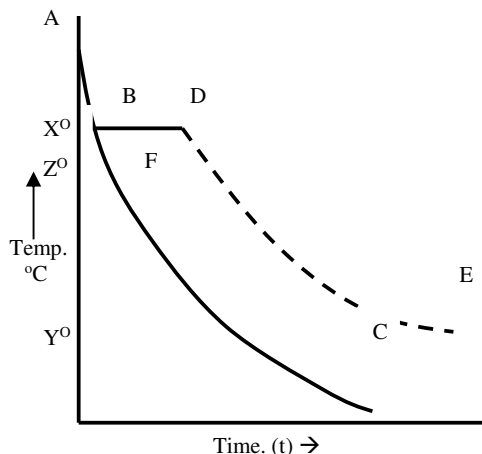
Keterangan gambar di atas :

- Variasi dalam kecepatan pengintian (*nucleation*) dengan temperatur
- Variasi dalam kecepatan pertumbuhan butir (*growth*) dengan temperatur
- Suatu perpaduan antara (a) dan (b) pada berbagai macam kecepatan pengintian dan pertumbuhan butir

Jika perbandingan antara kecepatan pertumbuhan butir (b) dan kecepatan pengintian (a) nilainya lebih besar, maka akan terjadi pada titik  $T_1$

dan akan menghasilkan butir kristal yang besar, sedangkan bila nilainya lebih kecil yang terjadi pada titik  $T_2$ , maka akan menghasilkan ukuran butir kristal yang kecil dan halus. Pada Gambar 13, menunjukkan diagram pendinginan yang mempengaruhi ukuran butir kristal.

Curva A, B dan C adalah kehilangan panas yang normal dari suatu sistem, baik melalui radiasi, konduksi atau melalui konveksi dari logam cair yang mempunyai temperature pembekuan  $Y^{\circ}C$ . Pada garis pembekuan A, B, D dan E adalah



Gambar 13. Kurva pendinginan.

kurva pembekuan ideal dari logam murni yang mempunyai temperature pembekuan  $X^{\circ}\text{C}$ .

A, B, F dan E *under cooling* dari beberapa logam yang membeku pada temperature  $X^{\circ}\text{C}$ , tetapi pada kenyataannya didinginkan pada temperature  $Z^{\circ}\text{C}$  baru mulai membeku. Jadi  $X^{\circ}\text{C} - Z^{\circ}\text{C}$  adalah jumlah *under cooling*.

Semakin besar jumlah *under cooling* akan menghasilkan ukuran butiran kristal yang semakin halus.

#### Pengaruh Cetakan Logam terhadap Ukuran Besar Butir Kristal

Pembahasan yang berhubungan dengan cetakan logam adalah meliputi material cetakan dan ketebalan cetakan. Seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 3, tampak bahwa cetakan yang menggunakan material tembaga (kode sample A) menghasilkan ukuran butir kristal yang lebih kecil dibanding dengan cetakan yang menggunakan material aluminium (kode sample B). Besar kecilnya ukuran butir kristal dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan yang berbeda. Untuk material cetakan tembaga yang memiliki sifat konduktivitas panas yang tinggi ( $0,94 \text{ Btu.ft}^{\circ}\text{F.hr.ft}^2$ ) akan menghasilkan jumlah panas yang dipindahkan (*transfer*) dari cairan logam ke dinding cetakan yang tinggi pula.

Pada ketebalan cetakan yang sama, laju alir panas (*heat flow*) material tembaga jauh lebih tinggi dari material aluminium. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan data hasil perhitungan, *heat flow* dari material tembaga 1,5 kali lebih besar dari *heat flow* material aluminium dan 12 kali lebih besar dari *heat flow* material baja karbon.

#### Pengaruh Besar Butir terhadap Sifat Potensial Seng Anoda

Pengaruh ukuran besarnya butir dan bentuk

butir terhadap sifat potensial dari seng anoda. Butir yang besar akan mempercepat habisnya seng anoda, sedangkan bentuk butir kristal yang bulat (*equiaxed*) dan kecil memiliki konduktivitas listriknya yang kurang baik. Hal ini disebabkan karena pengaruh ketidak teraturan batas butir, sehingga butir yang halus memiliki tingkat energi yang tinggi dan akan menghambat pergerakan elektron. Dengan kata lain, semakin kecil ukuran butir kristal semakin berkurang daya hantar listriknya dan sebaliknya semakin besar ukuran butir kristal semakin baik daya hantar listriknya.

Berdasarkan hasil pengukuran besar butir dan hasil pengukuran kuat arus, seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4. Tampak bahwa hubungan besar butir terhadap nilai kuat arus tidak signifikan.

#### Pengaruh Ukuran Besar Butir terhadap Efisiensi Anoda

Kinerja anoda korban adalah daya unjuk kerja yang dimiliki anoda, sehingga mampu untuk memproteksi katoda dengan baik. Kinerja anoda tersebut merupakan keluaran arus, kapasitas anoda, efisiensi anoda dan potensial proteksi. Anoda dikatakan baik apabila memiliki kapasitas arus yang besar, efisiensi yang tinggi dan potensial yang cukup.

Berdasarkan hasil pengukuran besar butir dan hasil pengujian efisiensi anoda seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 5, tampak bahwa hubungan besar butir terhadap nilai efisiensi anoda adalah signifikan. Ukuran butir halus ( $68,82 \mu\text{m}$ ) mempunyai nilai efisiensi anoda yang paling tinggi ( $97,7 \%$ ), sebaliknya ukuran butir kasar ( $141,46 \mu\text{m}$ ) mempunyai nilai efisiensi anoda yang relatif rendah ( $95,8\%$ ). Hal ini karena butir kristal halus memiliki kapasitas arus yang lebih tinggi dibandingkan butir kristal kasar.

Pengaruh butir yang halus pada anoda adalah :

1. Semakin halus butir akan meningkatkan jumlah batas butir
2. Jumlah batas butir yang banyak akan menyebabkan sebaran endapan (Zn-Al) makin merata
3. Awal korosi akan terbentuk pada celah butir dan daerah yang mengandung endapan tersebut.
4. Akan meningkatkan kinerja anoda

Kapasitas anoda korban merupakan ukuran baik tidaknya unjuk kerja anoda tersebut. Kapasitas suatu anoda dipengaruhi oleh arus keluaran serta kehilangan berat anoda. Seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 5, butir yang halus ( $68,82 \mu\text{m}$ ) memiliki kapasitas arus yang besar ( $801 \mu\text{m}$ ). Hal ini sejalan dengan semakin besar arus keluaran dan semakin besar kehilangan besar anoda, maka anoda korban semakin aktif.

Naiknya nilai kapasitas anoda seiring dengan semakin halusya butir, hal ini disebabkan karena semakin homogennya distribusi endapan Zn-Al

dalam anoda. Kemungkinan dengan semakin homogenya penyebaran endapan Zn-Al, maka jumlah permukaan anoda yang terserang korosi semakin besar. Dengan demikian arus yang dihasilkan dan kehilangan berat anoda semakin besar. Besarnya arus yang dihasilkan ini sangat baik untuk kinerja anoda, karena elektron yang dialirkan untuk memproteksi katoda lebih besar.

Semakin halus butir, efisiensi arus anoda semakin tinggi. Peningkatan nilai efisiensi ini sama halnya dengan peningkatan nilai kapasitas arus anoda, karena nilai efisiensi tersebut merupakan perbandingan antara kapasitas nyata dengan kapasitas teoretis, sesuai dengan hukum Faraday. Efisiensi tertinggi diperoleh pada ukuran butir 68,82  $\mu\text{m}$  dengan nilai efisiensi sebesar 97,7 %.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Penghalusan butir dapat dilakukan dengan mengatur kecepatan pendinginan melalui penentuan bahan dan dimensi cetakan logam sebagai fungsi cil pada proses pengecoran
- 2) Semakin halus butir kristal akan meningkatkan jumlah batas butir. Jumlah batas butir yang banyak akan menyebabkan sebaran endapan Zn-Al yang semakin merata, sehingga jumlah permukaan anoda yang terserang korosi semakin besar.
- 3) Material cetakan tembaga yang memiliki sifat konduktivitas panas yang tinggi (0,94 Btu.ft<sup>2</sup>/°F.hr.ft<sup>2</sup>) sehingga pada ketebalan cetakan yang sama, laju alir panas (*heat flow*) material tembaga jauh lebih tinggi dari material aluminium. *Heat flow* dari material tembaga 1,5 kali lebih besar dari *heat flow* material aluminium.
- 4) Kehalusan butir hasil coran yang diperoleh dari cetakan tembaga (kode sampel A) mencapai sekitar 68,82  $\mu\text{m}$  (terkecil). Memiliki kapasitas arus anoda (801,06 Ah/kg), efisiensi anoda (97,7 %) dan potensial (0,8909 A). Sedangkan kehalusan butir hasil coran yang diperoleh dari cetakan aluminium (kode sampel B) mencapai sekitar 141,46  $\mu\text{m}$  (terbesar). Memiliki kapasitas arus

anoda (785,64 Ah/kg), efisiensi anoda (95,8 %) dan potensial (0,6738 A).

- 5) Awal korosi akan terbentuk pada celah batas butir dan daerah yang mengandung endapan. Akibatnya pola korosi muka yang diberikan akan lebih merata
- 6) Kinerja anoda yang paling baik diberikan oleh benda kerja yang memiliki butir halus (disebabkan penyebaran endapan Zn-Al yang semakin homogen).

## DAFTAR PUSTAKA

- Avner. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*, Second edition. McGraw-Hill Kogakusha. Ltd.
- Deborah A. Kramer. (1988). *Minerals Yearbook*, Vol. 1. Metals and Minerals. Washington : United States Departement of the Interior Bureau of Mines.
- Fontana, G. Mars. (1986). *Corrosion Engineering*, Second Edition. McGraw-Hill Kogakusha. Ltd. 1986.
- Hine, R.A and Wei, M.W. (1964). *How Effective are Zinc Anodes in Sea Water*. Material Protection.
- Morgan, John. (1987). *Cathodic Protection*, 2<sup>nd</sup> ed. NACE, Houston.
- Rodda, J.L. (1937). Notes on Etching and Microscopical Identification of the Phases Present in the Copper – Zinc Syatem. *Trans. AIME*, Vol. 124, p. 189 – 193.
- Samuel A. Bradford. (2012). *Practical Handbook of Corrosion Control in Soils*. Canada : Casti Publishing Inc.
- Sevryukov N., B. Kuzmin. *General Metallurgy*. Moscow : Peace Publishers.
- Shier, Ph. (1978). *Corrosion and Corrosion Control*, Volume 1 & 2, Butterwort and Co. London.
- Methods for Determining Average Grain Size* E 112. (1984). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.03. Philadelphia
- Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Zinc Sacrificial Anode*. (1977). Test Specimens for Underground Applications. Designation : G 97 – 97. ASTM Standard.