

# **OPTIMASI PELAPISAN SS 304 DENGAN KITOSAN SECARA ELEKTROFORESIS**

## **SKRIPSI**

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Program Studi S-1  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Disusun Oleh :

**LAILY AMELIA WARDANI**  
**NRP. 1410 100 041**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2014**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMASI PELAPISAN SS 304 DENGAN KITOSAN  
SECARA ELEKTROFORESIS**

**SKRIPSI**

Disusun Oleh :

**LAILY AMELIA WARDANI**  
**NRP. 1410 100 041**

Surabaya, 24 Juli 2014

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



**Dra. Harmami, MS.**  
**NIP. 19611216 198803 2 002**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Kimia



**Hamzah Fansuri, Ph.D.**  
**NIP. 19691017 199412 1 001**

# OPTIMASI PELAPISAN SS 304 DENGAN KITOSAN SECARA ELEKTROFORESIS

**Nama** : LAILY AMELIA WARDANI  
**NRP** : 1410 100 041  
**Jurusan** : Kimia FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dra. Harmami, MS.

## Abstrak

*Pelapisan kitosan pada stainless steel 304 (SS 304) dengan metode elektroforesis telah berhasil dilakukan dan dikarakterisasi. Kualitas pelapisan diuji menggunakan microprocessor coating thickness gauge mini test 600 untuk menentukan ketebalan lapisan dan polarisasi potensiodinamik dalam larutan 3% NaCl untuk mengetahui ketahanan korosi spesimen. Kualitas pelapisan kitosan dipengaruhi oleh waktu dan tegangan selama proses pelapisan. Waktu pelapisan selama 30 menit pada tegangan 2,5 V menghasilkan lapisan yang seragam dengan ketahanan korosi yang paling baik.*

**Kata kunci:** *elektroforesis, ketebalan, kitosan, korosi, SS 304.*

# OPTIMIZATION OF SS 304 COATING WITH CHITOSAN BY ELECTROPHORETIC

**Nama** : LAILY AMELIA WARDANI  
**NRP** : 1410 100 041  
**Department** : Kimia FMIPA-ITS  
**Advisor Lecturer** : Dra. Harmami, MS.

## **Abstract**

*Electrophoretic chitosan deposits on stainless steel 304 (SS 304) has been produced and characterized. Coating thickness were characterized by microprocessor coating thickness gauge mini test 600 and corrosion resistance were characterized by potentiodynamic polarization in NaCl 3% solution. The coating quality was seen to depend on applied voltage and deposition time during the coating process. Coating process with deposition time 30 minutes and applied voltage 2,5 Volt produced homogenous film and the best corrosion resistance.*

**Keywords:** *chitosan, corrosion, electrophoretic, SS 304, thickness.*

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Skema Kerja .....	35
LAMPIRAN B Pembuatan Larutan .....	41
LAMPIRAN C Kurva Polarisasi.....	45
LAMPIRAN D Perhitungan Standart Deviasi dan Batas Kepercayaan .....	51
LAMPIRAN E Parameter Korosi SS 304 Hasil Polarisasi Potensiodinamik .....	63

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Stainless Steel* (SS)**

*Stainless steel* (SS) merupakan paduan logam dengan bahan dasar besi. Paduan ini ditemukan pada awal abad 19, ahli metalurgi menemukan bahwa kromium mempunyai interaksi yang lebih besar dengan oksigen dibandingkan dengan besi, sehingga mereka menambahkan unsur kromium ke dalam baja (Reive, 2011). Ketahanan korosi secara umum meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan kromium dan menurun dengan meningkatkan kandungan karbon (Craig dkk, 2006).

Selain kromium, unsur lain juga ditambahkan sebagai bahan paduan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan variasi kekuatan. Unsur-unsur tersebut adalah Ni, Mo, Cu, Ti, Si, S, Al dan unsur-unsur lainnya yang dapat mengubah sifat metalurgi. Komposisi paduan yang berbeda-beda menghasilkan jenis dan sifat paduan yang berbeda. Sehingga *stainless steel* dibagi menjadi lima jenis yaitu: austenitik, magnetik, feritik, dupleks, maartenistik dan pengendapan pengerasan (Roberge, 2000). Salah satu jenis *stainless steel* yang digunakan pada penelitian ini adalah austenitik.

##### **2.1.1 Austenitik**

*Stainless steel* austenitik merupakan jenis *stainless steel* yang paling banyak digunakan. Paduan ini dapat digunakan dalam lingkungan korosif dan bersifat nonmagnetik dibandingkan baja lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan 8% Ni dalam paduan austenitik Fe-Cr meningkatkan ketahanan korosi. *Stainless steel* austenitik dapat digunakan sampai temperatur 600°C dan untuk temperatur rendah pada rentang kriogenik.

Kebanyakan *stainless steel* austenitik merupakan modifikasi paduan 18Cr-8Ni (SS 304).

SS 304 telah digunakan secara luas dalam peralatan proses kimia, makanan, perusahaan susu industri minuman dan penukar panas dengan komposisi kimia SS 304 tertera pada Tabel 2.1 (Grayeli-Korpi dkk., 2013). Walaupun memiliki ketahanan korosi yang baik, SS 304 rentan terhadap larutan asam halogen atau garam halogen (Craig dkk., 2006).

Tabel 2.1 Komposisi kimia SS 304

<b>Unsur</b>	<b>Kadar (% berat)</b>
C	0,07
Mn	1,62
Si	0,34
Cr	18,34
Ni	8,00

(Grayeli-Korpi dkk., 2013)

## 2.2 Korosi

Korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara material, umumnya logam dengan lingkungannya sehingga kualitas material menurun. Dalam hal ini yang dimaksud dengan lingkungan adalah atmosfer, air, tanah, bahan kimia, dan lain-lain. Lingkungan tersebut bersifat korosif karena memiliki sifat elektrolitik, yaitu media media yang dapat menghantarkan arus listrik melalui pergerakan ion-ion. Selain itu, korosi merupakan proses kebalikan dari ekstraksi metalurgi. Logam pada umumnya berasal dari mineral, yang keberadaannya di alam lebih stabil daripada logam itu sendiri, sehingga logam berada pada kedudukan energi yang tinggi, atau pada kondisi metastabil dan cenderung untuk kembali ke bentuk awal sebagai mineral (Jones, 1992).

Kadar kromium yang tinggi pada SS 304 menghasilkan lapisan oksida protektif  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  pada permukaannya (Abdallah, 2002). Lapisan oksida tersebut memberikan sifat ketahanan

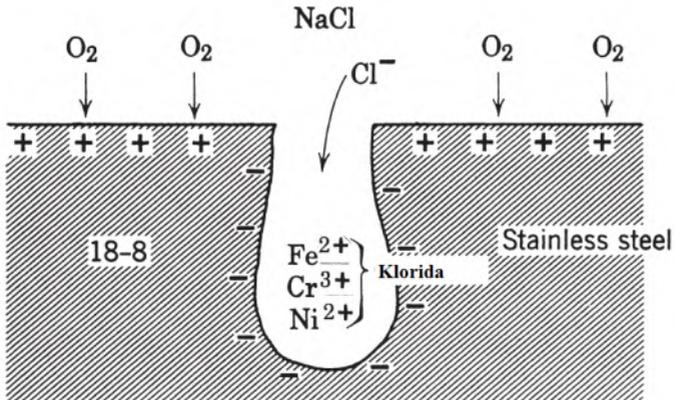
korosi yang tinggi, tetapi lapisan ini dapat rusak akibat adanya klor ( $\text{Cl}^-$ ). Sehingga lapisan tersebut akan rusak dan baja akan terkorosi (Craig dkk., 2006). Jenis korosi yang mungkin terjadi pada SS 304 adalah korosi sumuran dan celah serta *Stress Corrosion Cracking* (SCC).

### 2.2.1 Korosi Sumuran dan Celah

Monnartz mengamati bahwa garam klorida merusak lapisan pasif paduan besi-kromium. Korosi sumuran dapat dijelaskan menjadi dua tahap, yaitu inisiasi korosi atau rusaknya lapisan pelindung, dan diikuti dengan propagasi korosi semakin dalam dan besar volume logam yang terkorosi. Korosi sumuran dipengaruhi oleh komposisi dan struktur paduan dan kondisi dan suhu lingkungan (Reive, 2011). Ketika korosi sumuran diinisiasi, sel pasif-aktif memiliki beda potensial 0,5-0,6 V. Tingginya densitas arus menyebabkan laju korosi yang besar di anoda (terkorosi) dan disaat bersamaan permukaan paduan terpolarisasi tiba-tiba dibawah korosi sumuran hingga dicapai nilai dibawah potensial kritis. Gambar 2.1 menampilkan aliran arus transfer ion klorida dalam pembentukan korosi sumuran membentuk larutan  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ , dan  $\text{Ni}^{2+}$  dengan klorida dan dengan hidrolisis menghasilkan larutan asam. Pengukuran pH pada produk hasil korosi *stainless steel* 304 adalah 1,5 dalam media NaCl 5% dengan densitas arus sebesar  $0.02\text{A}/\text{cm}^2$  (Uhlig dan Reive, 2008). Proses korosi dipercepat dengan sendirinya karena ion klorida bermigrasi ke daerah terkorosi dan menurunkan nilai pH (Reive, 2011). Korosi sumuran akan berhenti hanya jika permukaan terkorosi terpasifkan kembali, menjadikan logam terkorosi dengan paduan logam pada potensial yang sama (Uhlig dan Reive, 2008).

Tingginya konduktivitas elektrolit dan besarnya permukaan katoda diluar korosi celah, kecepatan yang lebih tinggi menyerang anoda. Inisiasi dari korosi celah tidak dipengaruhi oleh kelebihan potensial kritis korosi sumuran. Korosi celah hanya dipengaruhi oleh kerusakan lapisan pasif

dalam celah. Rusaknya lapisan pasif ini dapat disebabkan oleh berkurangnya kadar oksigen dalam sebagai akibat rendahnya homogenitas paduan (Uhlig dan Revie, 2008).



Gambar 2.1 Sel pasif-aktif korosi sumuran *Stainless Steel* dalam larutan klorida (Uhlig dan Revie, 2008)

### 2.2.2 *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Untuk baja austenistik terdapat dua jenis ion yang paling merusak, yaitu hidroksil dan klorida ( $\text{OH}^-$  dan  $\text{Cl}^-$ ). Dalam pemanasan, klorida terlarut terhidrolisis dan sedikit mencapai pH asam, seperti  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{MgCl}_2$ , dapat menyebabkan korosi pada baja austenistik selama satu jam. Korosi sumuran bukanlah awal dari korosi retakan. Dalam  $\text{NaCl}$  dan larutan netral sejenis retaknya baja austenistik hanya jika terdapat oksigen terlarut atau oksidator dan jumlah klorida yang menyebabkan kerusakan sangat kecil (Uhlig dan Revie, 2008).

### 2.3 Termodinamika Korosi

Dapat tidaknya suatu logam terkorosi secara elektrokimia dalam suatu elektrolit akan dipengaruhi oleh beda potensial antar muka logam dengan lingkungannya dan pH. Di alam bebas logam ditemukan dalam bentuk bijih. Bijih tersebut dapat berupa

oksida, sulfida, karbonat, atau senyawa lain yang lebih kompleks. Termodinamika menyatakan bahwa bijih berada pada energi terendah, sehingga diperlukan energi dalam proses ekstraksi. Oleh karena itu, logam memiliki tingkat energi yang tinggi. Kecenderungan ini membuat logam bergabung kembali dengan unsur lain yang ada dilingkungan, yang akhirnya membentuk gejala yang disebut korosi.

Energi bebas merupakan yang menentukan suatu reaksi korosi berjalan spontan atau tidak. Setiap energi bebas suatu unsur dinyatakan sebagai  $G$  dan perubahan energi dinyatakan sebagai  $\Delta G$ . Semua reaksi korosi bergantung pada temperatur, sehingga dapat diaplikasikan ke persamaan termodinamika seperti pada Persamaan 2.1

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K \quad (2.1)$$

Dimana  $R$  bernilai  $8,3143 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$  dan  $K$  adalah tetapan kesetimbangan dan  $\Delta G^\circ$  adalah perubahan energi bebas. Jika persamaan termodinamika diatas dihubungkan dengan persamaan Faraday, maka diperoleh Persamaan 2.2

$$\Delta G = -n.F.E \quad (2.2)$$

$n$  adalah jumlah elektron yang dipindahkan,  $E$  adalah potensial terukur (volt), dan  $F$  adalah besarnya muatan yang dipindahkan oleh satu mol elektron dengan nilai  $96494 \text{ (C mol}^{-1}\text{)}$ . Nilai negatif menunjukkan muatan dari elektron (Jones, 1992).

Perilaku termodinamika juga dapat dijelaskan dalam diagram pourbaix. Hubungan antara pH dan potensial elektroda ditampilkan dalam diagram ini, sehingga dapat diketahui kondisi dimana logam akan terkorosi, tidak terkorosi, mengalami pasivasi (Jones, 1992).

## 2.4 Kinetika Korosi

Kinetika korosi berhubungan dengan kecepatan berlangsungnya reaksi korosi pada suatu logam atau paduan. Laju korosi tiap logam berbeda-beda bergantung pada sifat logam dan lingkungannya. Laju korosi dapat diukur melalui kecepatan

aliran elektron. Aliran elektron diukur sebagai arus I (ampere), ketika 1 ampere setara dengan 1 coulomb muatan ( $6.2 \times 10^{18}$  elektron) tiap detik. Hubungan antara I dan m, massa bereaksi dijelaskan oleh hukum Faraday pada Persamaan 2.3.

$$m = \frac{I t a}{n F} \quad (2.3)$$

Dengan F adalah konstanta Faraday (96500 C/mol); n adalah jumlah ekivalen elektron; a adalah massa atom; dan t adalah waktu. Berdasarkan hukum Faraday, maka diperoleh Persamaan 2.4 untuk menghitung laju korosi (r).

$$r = \frac{m}{t A} = \frac{i a}{n F} \quad (2.4)$$

Dengan i adalah densitas arus, arus (I) persatuan luas (A). setiap logam memiliki densitas arus yang berbeda sehingga laju korosi dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2.5.

$$r = 0.129 \frac{ai}{nD} \text{ (dalam mpy)} \quad (2.5)$$

Dengan D adalah densitas ( $\text{g/cm}^3$ ) dan 0,129 adalah tetapan. Densitas SS 304 adalah  $7,9 \text{ g/cm}^3$  (Jones, 1992).

SS 304 merupakan salah satu jenis paduan logam yang dapat mengalami korosi dan proses korosi perlu dikendalikan agar tidak menyebabkan kerugian dalam jumlah besar. Terdapat tiga cara pengendalian korosi dari segi proses, yaitu: pemilihan bahan yang tahan korosi, mengurangi tingkat korosi lingkungan dan memutus interaksi logam dengan lingkungan. Pemutusan interaksi antara logam dan lingkungan dapat dilakukan dengan melapisi permukaan logam (*coating*) (Jones, 1992).

## 2.5 Pelapisan (*Coating*)

Lapisan pelindung merupakan salah satu cara untuk mengontrol proses korosi yang banyak digunakan (Roberge, 2000). Kontrol korosi melalui pelapisan berdasarkan mekanisme dapat diklasifikasikan menjadi empat, yaitu: (a) Resistansi inhibisi: lapisan cat berfungsi sebagai filter ion dan memastikan tidak ada uap air yang masuk ke dalam logam, pada hunungan antar muka cat-logam terdapat hambatan listrik untuk mengurangi

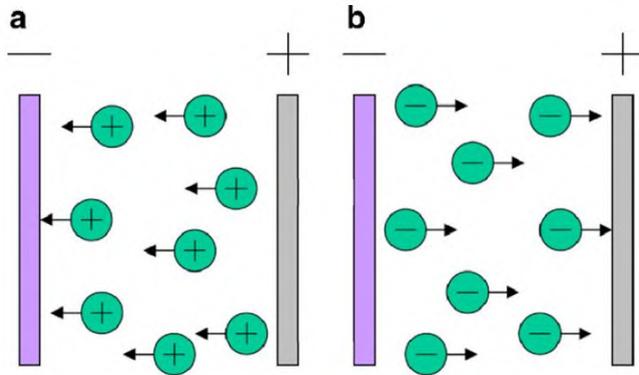
transfer muatan antara sisi anoda dan katoda; (b) Mengurangi oksigen: sesuai dengan formula lapisan cat untuk menghalangi reaksi katodik dengan oksigen; (c) Proteksi katodik, lapisan cat melindungi logam dengan mencegah pertukaran arus dari logam ke lingkungan. pengaruh ini diikuti dengan menambahkan logam yang lebih anodik sebagai zat warna; dan (d) Inhibisi primer yang mengontrol korosi melalui modifikasi antarmuka logam-lingkungan sehingga lapisan diperoleh lapisan pasifasi logam (Reive, 2011).

Teknik pelapisan logam untuk perlindungan korosi ada bermacam-macam, antara lain: pengecatan, pelapisan padatan, elektroforesis, proses sol-gel, polimer konduktif (Hu dkk., 2012). Diantara metode-metode tersebut, metode elektroforesis saat ini sedang dikembangkan (Besra dan Liu, 2007).

### **2.5.1 Elektroforesis**

Elektroforesis merupakan metode yang banyak digunakan untuk aplikasi material keramik dan pelapisan. Metode ini sekarang banyak diminati dalam proses industri karena biaya efektif dengan peralatan sederhana dan dapat diaplikasikan dalam berbagai jenis material (Besra dan Liu, 2007).

Elektroforesis adalah salah satu proses koloid dalam pembuatan keramik dan mempunyai keunggulan, antara lain: waktu pembentukan yang singkat, membutuhkan peralatan sederhana, bentuk substrak tidak dibatasi, tidak membutuhkan agen pengikat. Dibandingkan teknik yang lain metode ini mudah diaplikasikan dan dapat dimodifikasi untuk aplikasi yang spesifik. Dengan metode elektroforesis, ketebalan dan morfologi deposit yang terbentuk dapat diatur melalui waktu deposisi dan tegangan terpasang. Dalam proses elektroforesis, muatan padatan partikel dalam medium cair tertarik dan terdeposisi pada substrat konduktif dengan muatan sebaliknya dalam arus listrik DC (Besra dan Liu, 2007). Skema singkat elektroforesis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema proses deposisi elektroforesis pada (a) katoda dan (b) anoda (Hu dkk., 2012)

Mekanisme elektroforesis melibatkan muatan partikel dalam suspensi yang akan dideposisikan pada elektroda dibawah pengaruh medan listrik. Karakteristik deposisi elektroforesis ini dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu (a) yang berhubungan dengan suspensi dan (b) berhubungan dengan parameter fisika seperti elektroda dan kondisi elektrik (tegangan, waktu deposisi, dan lain-lain) (Besra dan Liu, 2007).

### 2.5.1.1 Pengaruh waktu deposisi

Basu dkk. (2001) menemukan bahwa kecepatan deposisi tegangan terpasang konstan menurun dengan semakin lamanya waktu deposisi. Pada tegangan konstan diharapkan beda potensial antar kedua elektroda dibuat tetap, karena pada permukaan elektroda terbentuk lapisan pembatas yang membatasi pergerakan partikel menuju elektroda. Lapisan pembatas ini terbentuk selama proses deposisi.

### 2.5.1.2 Tegangan terpasang

Umumnya jumlah deposit meningkat dengan meningkatnya tegangan terpasang. Serbuk dapat terdeposisi lebih cepat jika tegangan yang lebih tinggi digunakan, tetapi kualitas

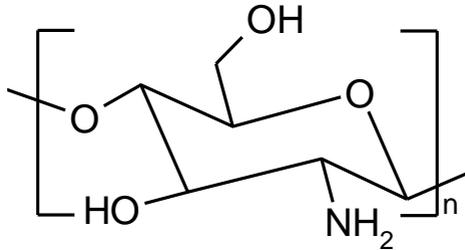
dari deposit yang dihasilkan buruk. Pembentukan lapisan partikulat pada elektroda merupakan fenomena kinetika, akumulasi kecepatan partikel mempengaruhi hasil proses pelapisan. Untuk potensial terpasang yang lebih tinggi, dapat mengakibatkan gerak turbulen suspensi, sehingga proses pelapisan dan deposisi terganggu oleh arus di sekitar media. Partikel bergerak begitu cepat sehingga partikel tidak dapat terdeposisi membentuk struktur *closed-packed*. Oleh karena itu, dalam medan yang besar pergerakan lateral partikel terbatas pada lapisan yang telah terdeposisi, karena potensial yang lebih tinggi menyebabkan tekanan pada fluks partikel dan pergerakan. Jadi, medan listrik mempengaruhi kecepatan deposisi dan struktur deposit (Besra dan Liu, 2007).

## 2.6 Kitosan

Kitosan merupakan kopolimer linier dari D-glukosamina dan N-asetil-D-glukosamina dengan ikatan  $\beta$  (1-4), yang mana glukosamina merupakan unit pengulangan yang paling dominan. Struktur kitosan dapat dilihat pada Gambar 2.3. Kitosan dapat ditemukan dalam jamur, tetapi kebanyakan diperoleh dari produk deasetilasi kitin (Barbosa dkk., 2011).

Kitosan tidak larut dalam air maupun pelarut organik. Saat asam, gugus fungsional amina dari unit glukosamina mengalami protonasi, sehingga tekanan elektrostatik antara gugus  $\text{NH}_3^+$  menyebabkan rusaknya interaksi atraktif dalam cincin, seperti ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik, sebagai hasil kelarutan kitosan. Pada pH yang lebih rendah dari pKa, yaitu rentang ~6,5 sampai ~7, kitosan merupakan polikation, kitosan terprotonasi sempurna pada pH 4.0 dan dibawahnya. Kelarutan kitosan bergantung pada densitas muatan, yang mana berhubungan dengan parameter struktural, seperti derajat deasetilasi, panjang rantai, dan distribusi dari unit N-glukosamina terasetilasi; selain itu parameter lingkungan seperti pH, kekuatan ionik, dan konstanta dielektrik media. Rentang kelarutan meningkat seiring meningkatnya derajat deasetilasi, karena

meningkatnya halangan sterik berhubungan dengan jumlah gugus asetil, bersama dengan meningkatnya nilai intrinsik pKa. Kitosan dengan derajat deasetilasi 45-55% larut dalam air, menunjukkan bahwa unit N-terasetilasi terdistribusi secara acak. Selain itu, kitosan tidak larut dalam asam kuat (Barbosa dkk., 2011).



Gambar 2.3 Struktur kitosan (Zhitomirsky dan Hashambhoy, 2007)

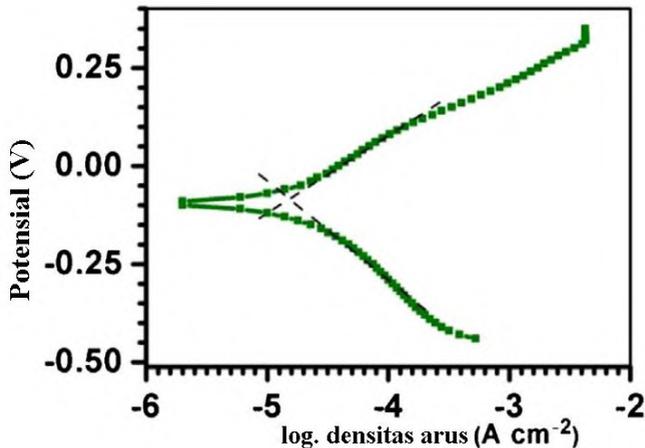
Kitosan mempunyai gugus hidroksil dan amina yang reaktif menghasilkan senyawa turunannya dengan banyak aplikasi. Kitosan digunakan dalam kosmetik sebagai bahan pengawet, anti oksidan, anti bakteri, dan sebagai pelapis makanan, kain, obat, organ buatan dan fungisida, sebagai adsorben logam untuk menghilangkan logam (merkuri, tembaga, kromium, perak, besi, dan kadmium) dari tanah dan air limbah (Sharmin dkk., 2012).

Larutan kitosan dapat membentuk lapisan yang kuat dan elastis. Kitosan digunakan sebagai material anti korosi karena dapat mengabsorbs uap air dari atmosfer, yang mana dapat menembus lapisan dengan mudah dan menurunkan kualitas logam. Kitosan telah diteliti sebagai bahan pelapis ramah lingkungan yang berbahan dasar air pada logam aluminium. Sugama dkk. (2000) dengan memodifikasi kitosan dengan asam polielektrolit yang mengandung dua muatan negatif gugus asam karboksilat dengan kitosan yang diaplikasikan pada 6061-T6 Aluminium dengan metode celup sederhana (Sharmin dkk., 2012). Erna dkk. (2008) juga telah melakukan uji perlindungan baja lunak menggunakan metode pelapisan kitosan pada media air gambut. Simchi dkk.(2009) telah meneliti bahwa kitosan larut

sempurna pada pH dibawah 5 dan larutan asam asetat dengan pH 2,9-4,1 digunakan untuk melarutkan kitosan pada proses elektroforesis pada SS 314L dan kitosan dengan konsentrasi 0,08% mempunyai kecepatan deposisi paling tinggi.

## 2.7 Metode Pengukuran Korosi

Evaluasi korosi mempunyai dua peran penting, yaitu: untuk memprediksi kesesuaian sebelum material digunakan dan untuk mengetahui mekanisme interaksi antara material dengan lingkungan. dewasa ini, metode elektrokimia merupakan salah satu teknik yang banyak diminati untuk mengevaluasi korosi karena proses evaluasinya yang relatif singkat dibandingkan metode pengukuran berat (Reive, 2011).



Gambar 2.4 Kurva polarisasi potensiodinamik digunakan sebagai prosedur ekstrapolasi tafel (Grayeli-Korpi dkk., 2013)

Metode elektrokimia mengukur sifat listrik pada hubungan antar muka logam dengan lingkungan. Metode elektrokimia melibatkan penentuan sifat antar muka yang spesifik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: (a) Perbedaan potensial pada antarmuka. Potensial pada permukaan terkorosi diperoleh dari polarisasi anodik-katodik. Potensial merupakan parameter

yang mudah diamati. Nilai potensial ini berhubungan dengan sistem termodinamika, yang memberikan informasi tentang keadaan suatu sistem; (b) Laju reaksi sebagai densitas arus. Densitas arus dapat diketahui melalui polarisasi anodik-katodik logam, sehingga diperoleh densitas arus  $i_{kor}$ ; (c) Impedansi permukaan. Permukaan logam yang terkorosi dan tidak terkorosi dapat dibedakan melalui karakteristik impedansinya (Roberge, 2000).

Beberapa metode polarisasi dapat digunakan untuk uji korosi. Pada metode polarisasi potensiodinamik potensial elektroda (spesimen logam) divariasikan dengan diberi arus listrik pada elektrolit. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk uji ketahanan korosi (Roberge, 2000). Pada metode polarisasi potensiodinamik nilai  $i_{kor}$  diperoleh melalui ekstrapolasi tafel pada daerah linier katodik dan daerah linier anodik, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Jones, 1992).

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan gelas yaitu gelas piala, gelas ukur, labu ukur, pipet ukur, propipet, corong kaca, kaca arloji, botol timbang, spatula, dan pengaduk magnet. Peralatan instrumen terdiri dari *microprocessor coating thickness gauge mini test 600*, dan autolab Metrohm tipe AUT84948; serta peralatan pendukung yaitu neraca analitik, pH meter dan *power supply*.

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Stainless steel 304 (SS 304)*, kertas amplas, logam platina, asam asetat glasial, aqua DM, aseton, resin akrilat/polietilen, kitosan dengan derajat deasetilasi 87% dan NaCl P.A.

### **3.2 Prosedur Kerja**

#### **3.2.1 Preparasi Spesimen SS 304**

Spesimen SS 304 dipotong dengan dimensi  $4 \times 1 \text{ cm}^2$ . Spesimen selanjutnya dicat dengan resin akrilat/polietilen hingga bagian spesimen yang tidak terkena cat tersisa  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ . Sebelum digunakan, permukaan spesimen diampelas dengan kertas ampelas *grade 250* terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan *grade 540* dan *1200* secara berturut-turut. Selanjutnya dicuci dengan aqua DM kemudian dicuci dengan aseton, dan dikeringkan.

### **3.2.2 Pembuatan Asam Asetat 0,525 M**

Labu ukur 100 mL diisi aqua DM hingga sepertiga bagian. Kemudian ditambahkan 3 mL asam asetat glasial. Setelah itu, ditambahkan kembali aqua DM sampai tanda batas dan dikocok.

### **3.2.3 Pembuatan Asam Asetat 0,026 M**

Sebanyak 25 mL larutan asam asetat 0,525 M dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL. Aqua DM ditambahkan sampai tanda batas dan dikocok hingga homogen. Kemudian diukur pH larutan (Simchi dkk., 2009).

### **3.2.4 Pembuatan Larutan 0,4% Kitosan (b/v)**

Kitosan sebanyak 0,4 g dilarutkan dalam larutan asam asetat 0,026 M. Selanjutnya diencerkan dalam labu ukur 50 mL hingga tanda batas (Simchi dkk., 2009).

### **3.2.5 Pembuatan Larutan 0,08% Kitosan (b/v)**

Larutan kitosan 0,4% sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Diencerkan dengan asam asetat 0,026 M sampai tanda batas dan dikocok hingga homogen.

### **3.2.6 Pelapisan SS 304 dengan Kitosan**

#### **3.2.6.1 Pelapisan dengan Variasi Waktu**

Spesimen yang telah dipreparasi dirangkai dalam suatu sel elektrolisis sebagai katoda dan logam platina sebagai anoda dengan larutan kitosan 0,08% (b/v) sebagai elektrolit. Proses elektroforesis dilakukan pada tegangan konstan 2.5 Volt dengan jarak antar elektroda tetap, yaitu 3 cm pada suhu ruang selama 10, 20, 30, 40, dan 50 menit (Gebhardt dkk., 2012).

### 3.2.6.2 Pelapisan dengan Variasi Tegangan

Spesimen yang telah dipreparasi dirangkai dalam suatu sel elektrolisis sebagai katoda dan logam platina sebagai anoda dengan larutan kitosan 0,08% (b/v) sebagai elektrolit. Proses elektroforesis dilakukan pada tegangan 1, 2, 3, 4, dan 5 Volt dengan jarak antar elektroda tetap, yaitu 3 cm pada suhu ruang selama 30 menit, yang merupakan waktu optimum dari percobaan dengan variasi waktu.

### 3.2.7 Analisis Ketebalan dengan *Coating Thickness*

Spesimen yang telah dilapisi dan spesimen yang tidak dilapisi diuji ketebalannya dengan menggunakan *microprocessor coating thickness gauge mini test 600*, seperti pada Gambar 3.1 pada lima titik berbeda untuk mengetahui ketebalan lapisan.



Gambar 3.1 *Microprocessor coating thickness gauge mini test 600*

### 3.2.8 Pembuatan Media Korosi

Ditimbang sebanyak 30 gram padatan NaCl, lalu dimasukkan labu ukur 1 liter dan ditambahkan akuades sampai dengan tanda batas dan dikocok hingga homogen.

### 3.2.9 Metode Pengukuran Korosi

Metode ini bertujuan untuk mengetahui berbagai macam nilai parameter ketahanan korosi seperti arus korosi, potensial korosi, konstanta Tafel katodik dan anodik sehingga ketahanan korosi spesimen SS 304 yang telah dilapisi dapat diketahui. Metode ini dikerjakan dengan autolab Metrohm tipe AUT84948, seperti pada Gambar 3.2 dengan 3 elektroda. Elektroda acuan adalah elektroda Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja adalah spesimen baja SS 304. Elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda acuan dirangkai menjadi suatu sel dengan larutan elektrolit berupa media korosi 3% NaCl. Sistem yang sudah dirangkai tersebut kemudian dihubungkan dengan potensiostat dan komputer untuk membaca data yang diperoleh. Pengukuran polarisasi ini dilakukan *scan* dari -0,5 Volt sampai 0,2 Volt dengan *scan rate* 0,01 V/s pada suhu kamar (Gebhardt dkk., 2012).



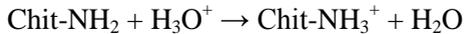
Gambar 3.2 Autolab Metrohm tipe AUT84948

## **BAB IV**

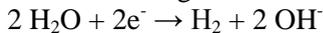
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Proses elektroforesis**

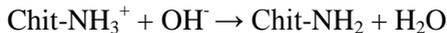
Mekanisme deposisi kitosan makromolekul telah dijelaskan oleh Zhitomirsky dan Hashambhoy (2007). Protonasi gugus amina khitosan dalam larutan asam.



Pada pH rendah kitosan menjadi kation polielektrolit dan dapat digunakan untuk proses deposisi elektroforesis. Meningkatnya pH larutan menyebabkan menurunnya muatan dan pada pH = 6,5 gugus amino kitosan terdeprotonasi. Dibawah pengaruh medan listrik pH tinggi dapat dihasilkan pada permukaan katoda dengan reaksi katodik:



Sehingga, pada permukaan katoda terbentuk deposit yang tidak larut.



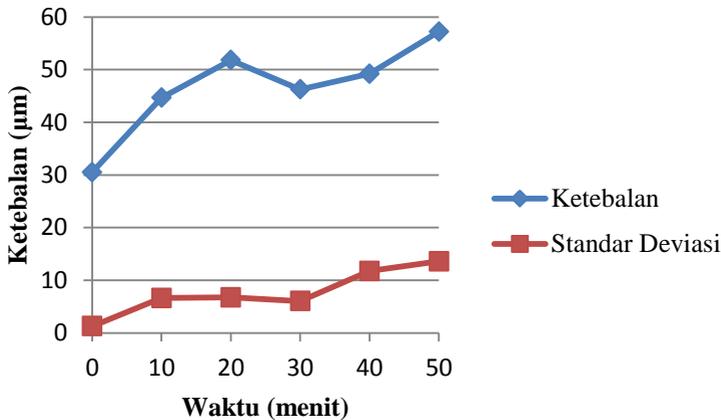
Pada metode katodik elektrosintesis partikel koloid terbentuk pada permukaan elektroda.

#### **4.2 Variasi Waktu Terhadap Ketebalan**

Spesimen *stainless steel* 304 (SS 304) yang telah dilapisi kitosan pada tegangan konstan 2,5 Volt dengan variasi waktu diuji ketebalannya pada lima titik berbeda. Ketebalan dari lima titik tersebut kemudian dicari standar deviasinya untuk mengetahui keragaman ketebalan lapisan kitosan pada spesimen SS 304. Pengaruh waktu pelapisan terhadap ketebalan ditampilkan pada Gambar 4.1.

Secara umum ketebalan rata-rata lapisan meningkat seiring dengan lama waktu pelapisan. Spesimen SS 304 sebelum

dilapisi kitosan sudah memiliki lapisan pelindung  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Abdallah, 2002) dengan ketebalan  $30,53 \mu\text{m}$ . Setelah proses pelapisan dengan kitosan terbentuk lapisan tipis dengan ketebalan  $44,67 \mu\text{m}$  untuk waktu pelapisan 10 menit, dan meningkat menjadi  $51,80 \mu\text{m}$  untuk 20 menit. Namun setelah 30 menit ketebalan lapisan menurun menjadi  $46,27 \mu\text{m}$ . Pada menit ke-40 dan 50 ketebalan lapisan terus meningkat menjadi  $49,20 \mu\text{m}$  dan  $57,20 \mu\text{m}$ . Ketebalan lapisan yang menurun disebabkan oleh deposit yang terbentuk selama proses terlepas.

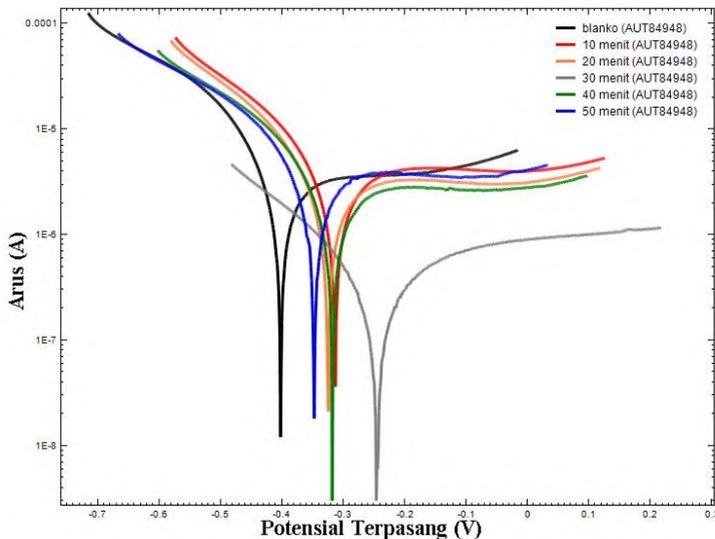


Gambar 4.1 Pengaruh waktu terhadap ketebalan lapisan kitosan pada SS 304

Keseragaman lapisan yang terbentuk juga dapat diketahui dari nilai standar deviasi. Berdasarkan nilai standar deviasinya semakin lama waktu pelapisan, maka nilai standar deviasinya semakin besar, artinya semakin lama waktu pelapisan maka lapisan yang terbentuk semakin tidak seragam. Menurunnya keseragaman lapisan ini disebabkan oleh lapisan yang terbentuk pada permukaan elektroda. Pada tegangan konstan, seiring dengan waktu deposisi yang semakin lama terbentuk lapisan yang semakin tebal. Lapisan yang terbentuk ini bertindak sebagai

lapisan penghalang yang menurunkan densitas arus antara kedua elektroda selama proses deposisi. Menurunnya densitas arus menyebabkan pergerakan partikel kitosan menuju elektroda semakin menurun (Besra dan Liu, 2007). Selain itu, berdasarkan Gambar 4.1 pada waktu pelapisan 10-30 menit nilai standar deviasi tidak berubah secara signifikan dan seperti pada Lampiran D, nilai standar deviasi untuk waktu pelapisan 10, 20, dan 30 menit masing-masing sebesar sebesar 6,64; 6,76; dan 6,06  $\mu\text{m}$ . Sehingga dapat diketahui bahwa waktu pelapisan selama 30 menit menunjukkan lapisan dengan ketebalan yang seragam.

### 4.3 Variasi Waktu Terhadap Ketahanan Korosi



Gambar 4.2 Kurva polarisasi SS 304 dalam media korosi NaCl 3% dengan variasi waktu pelapisan

Spesimen yang telah diuji ketebalan selanjutnya diuji ketahanan korosinya melalui polarisasi potensiostatik. Hasil polarisasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan parameter korosi pada Tabel 4.1.

Gambar 4.2 menunjukkan diagram polarisasi potensiodinamik SS 304 yang tidak dilapisi dan dilapisi kitosan dengan waktu pelapisan 10-50 menit. Nilai potensial korosi spesimen logam yang telah dilapisi oleh kitosan semakin positif, dari -405 mV menjadi -320 mV. Hal ini menunjukkan bahwa logam semakin sulit terkorosi. Nilai potensial korosi logam yang telah dilapisi pada umumnya pada angka -320 mV, tetapi pada waktu pelapisan 30 menit diperoleh nilai potensial korosi yang paling positif, yaitu -251 mV dan dapat diketahui bahwa pada waktu pelapisan 30 menit spesimen secara termodinamika terkorosi paling lambat dan laju korosinya paling rendah karena memiliki nilai densitas arus korosi terkecil, yaitu  $0,8547 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

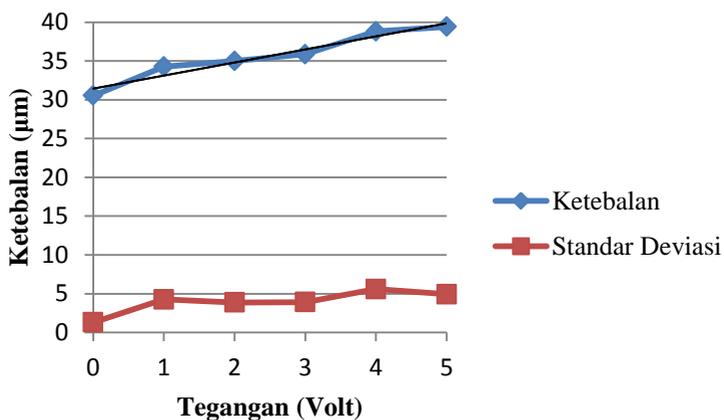
Tabel 4.1 Parameter korosi cuplikan dengan variasi waktu dari uji polarisasi potensiodinamik

Cuplikan	$E_{kor}$ (mV)	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Blanko	-405,09	21,3400
10 menit	-319,93	13,9796
20 menit	-323,56	11,5987
30 menit	-251,23	0,8547
40 menit	-320,92	5,3327
50 menit	-327,28	6,2104

Densitas arus korosi SS 304 yang dilapisi dan tidak dilapisi ditampilkan pada Tabel 4.1. Pelapisan dengan kitosan dapat menurunkan densitas arus korosi SS 304 dalam media NaCl 3%. Densitas arus korosi diperoleh pada waktu pelapisan 30 menit bernilai paling kecil. Hal ini sesuai dengan uji ketebalan, karena lapisan yang terbentuk relatif seragam, maka ketahanan terhadap korosinya pun semakin baik. Sedangkan pada 40 dan 50 menit densitas arus korosi kembali naik, karena lapisan yang terbentuk tidak seragam, walaupun lapisan yang terbentuk lebih tebal. Selama proses pengukuran korosi, ion klorida terkonsentrasi pada bagian lapisan yang lebih tipis. Sehingga korosi sumuran dapat terjadi.

#### 4.4 Variasi Tegangan Terhadap Ketebalan

Pada percobaan dengan variasi waktu diperoleh waktu optimum untuk pelapisan yaitu 30 menit. Waktu optimum ini digunakan untuk pelapisan SS 304 dengan variasi tegangan. Seperti pada percobaan sebelumnya, dengan variasi waktu, spesimen yang telah dilapisi diuji ketebalannya. Hasil uji ketebalan ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengaruh tegangan terhadap ketebalan lapisan kitosan pada SS 304

Ketebalan rata-rata lapisan kitosan meningkat seiring bertambahnya tegangan dan menunjukkan hubungan yang linier. Ketebalan lapisan yang terbentuk adalah 34,27; 35; 35,87; 38,80; dan 39,40 µm masing-masing untuk tegangan 1,2,3,4 dan 5 Volt.

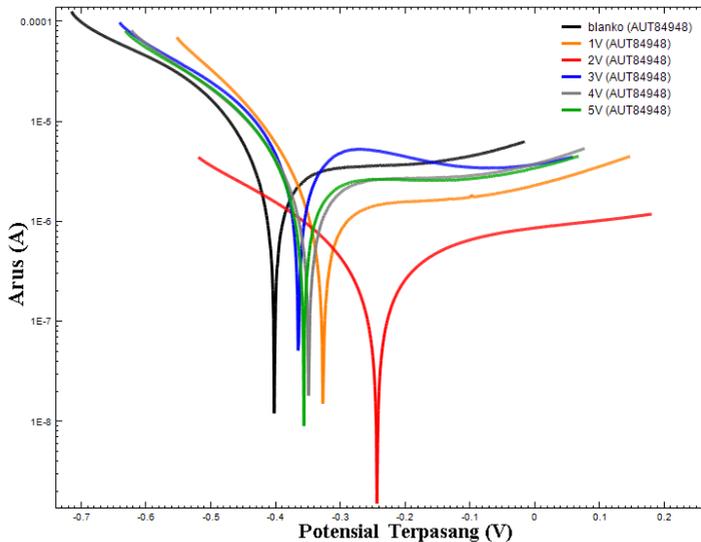
Keseragaman lapisan yang terbentuk juga ditentukan melalui standar deviasi (SD). Nilai SD tidak berubah secara signifikan, tetapi tetap dapat diketahui bahwa semakin besar nilai tegangan terpasang maka nilai standar deviasi semakin besar. Sehingga, lapisan yang terbentuk semakin tidak seragam. Besra dan Liu (2007) menjelaskan bahwa pembentukan deposit pada

elektroda merupakan fenomena kinetika, akumulasi kecepatan partikel mempengaruhi hasil dalam proses pelapisan. Tegangan terpasang yang semakin tinggi dapat menyebabkan gerak turbulen suspensi, sehingga proses pelapisan dan deposisi terganggu oleh arus di sekitar media. Partikel kitosan bergerak begitu cepat sehingga partikel kitosan tidak dapat terdeposisi membentuk struktur *closed-packed*. Dalam medan yang besar pergerakan lateral partikel kitosan terbatas pada spesimen yang telah terlapisi, karena potensial yang lebih tinggi menyebabkan tekanan pada fluks dan pergerakan partikel kitosan. Oleh karena itu, kitosan terdeposit kembali pada spesimen yang telah dilapisi (Besra dan Liu, 2007). Spesimen SS 304 dengan tegangan pelapisan 2 Volt memberikan nilai SD terkecil, sehingga lapisan yang terbentuk relatif seragam.

#### **4.5 Variasi Tegangan Terhadap Ketahanan Korosi**

Spesimen yang telah diuji ketebalan kemudian diuji ketahanan korosi dengan polarisasi potensiodinamik. Hasil polarisasi tafel ditampilkan pada Gambar 4.4 dan hasil polarisasi tafel berupa parameter korosi, yaitu nilai  $E_{kor}$  dan  $I_{kor}$  ditampilkan pada Tabel 4.2.

Gambar 4.4 menunjukkan diagram ekstrapolasi Tafel SS 304 yang tidak dilapisi dan dilapisi kitosan dengan tegangan pelapisan 1-5 Volt. Pola pergeseran nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ) pada uji dengan variasi tegangan sama seperti uji dengan variasi waktu. Potensial korosi bergeser kearah yang lebih positif untuk semua spesimen SS 304 yang telah dilapisi dan potensial korosi paling positif diperoleh pada tegangan 2 Volt. Semakin positif nilai potensial korosi berarti logam tersebut secara termodinamik semakin sulit terkorosi.



Gambar 4.4 Kurva polarisasi SS 304 dalam media korosi NaCl 3% dengan variasi tegangan pelapisan

Tabel 4.2 Parameter korosi cuplikan dengan variasi tegangan dari uji polarisasi potensiodinamik

Cuplikan	$E_{kor}$ (mV)	$I_{kor}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Blanko	-405,09	21,3400
1 Volt	-322,92	3,3631
2 Volt	-243,06	2,2760
3 Volt	-361,99	14,7970
4 Volt	-364,40	15,5986
5 Volt	-354,59	15,9096

Densitas arus korosi ( $I_{kor}$ ) SS 304 yang dilapisi dan tidak dilapisi ditampilkan pada Tabel 4.2. Densitas arus korosi SS 304 yang telah terlapisi kitosan menurun secara signifikan yaitu dari  $21,34 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  menjadi  $3,3631 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada tegangan 1V dan  $2,2760 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada tegangan 2V. Namun densitas arus korosi

naik kembali secara signifikan pada tegangan 3-5 Volt. Naiknya nilai densitas arus ini disebabkan karena terbentuknya lapisan kitosan yang berpori. Simchi dkk. (2009) menjelaskan bahwa selama proses pelapisan pada permukaan katoda juga terbentuk hidrogen. Oleh karena itu, saat lapisan kitosan terbentuk gas hidrogen terperangkap didalam lapisan kitosan tersebut.

Pada uji variasi tegangan dapat diketahui bahwa tegangan optimum untuk pelapisan kitosan adalah 2 Volt untuk waktu pelapisan 30 menit dengan densitas arus korosi sebesar  $2,2760 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Sedangkan nilai densitas arus korosi hasil uji optimasi waktu seperti pada Tabel 4.1 yaitu  $0,8547 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  untuk waktu pelapisan 30 menit dengan tegangan 2,5 Volt. Berdasarkan kedua variasi tersebut dapat diketahui bahwa pelapisan kitosan pada SS 304 memberikan hasil optimum pada waktu pelapisan 30 menit dengan tegangan terpasang sebesar 2,5 Volt.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

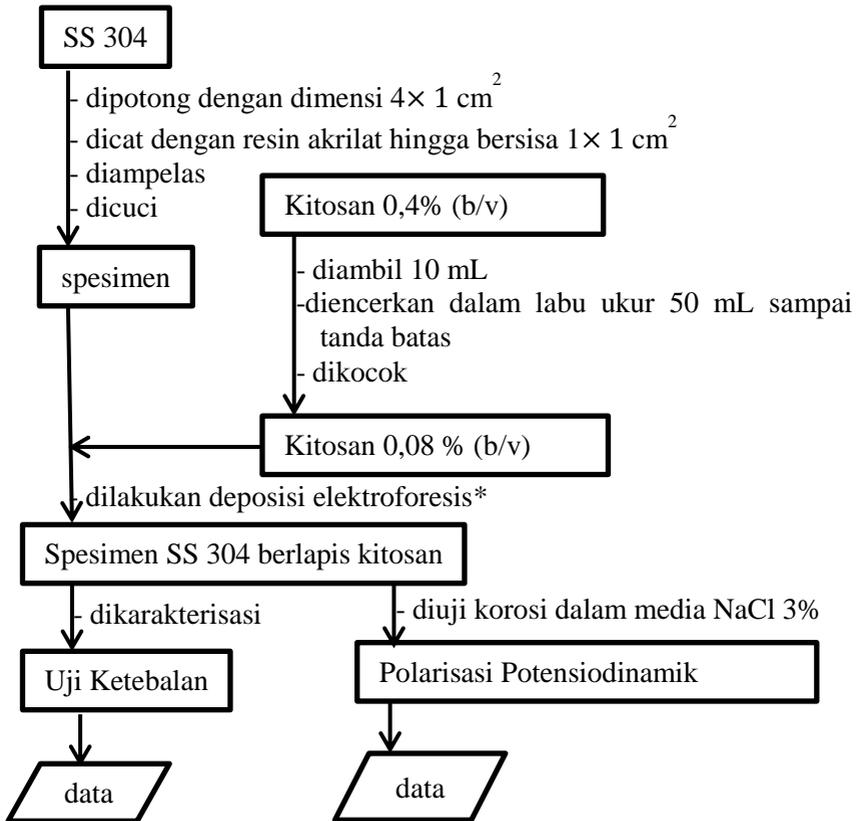
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi pelapisan spesimen SS 304 dengan kitosan optimum pada waktu 30 menit dengan tegangan terpasang 2,5 Volt. Pada kondisi tersebut diperoleh lapisan dengan ketebalan  $46,27 \pm 7,52 \mu\text{m}$  dan densitas arus korosi ( $i_{\text{kor}}$ ) sebesar  $0,8547 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian ini selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pelapisan kitosan pada SS 304 untuk parameter lainnya, baik yang berhubungan dengan suspensi maupun kontrol selama proses pelapisan. Sehingga nantinya kitosan dapat diaplikasikan secara luas untuk dunia industri, khususnya industri makanan.

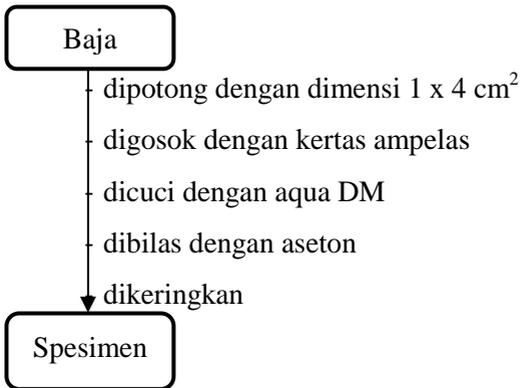
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN A SKEMA KERJA



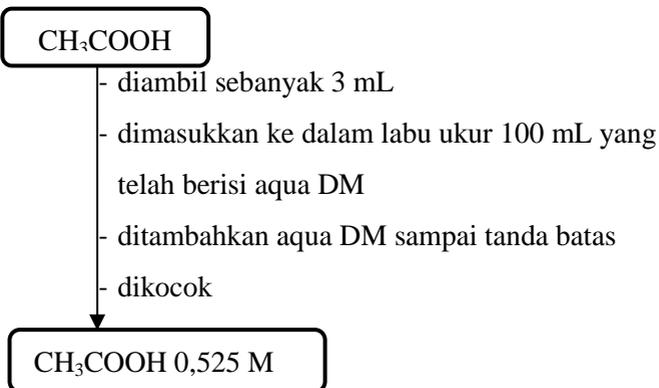
\*elektroforesis dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40 dan 50 menit dengan tegangan konstan 2,5Volt. Setelah diperoleh waktu optimum dilakukan kembali deposisi elektroforesis dengan variasi tegangan 1, 2, 3, 4, dan 5 Volt.

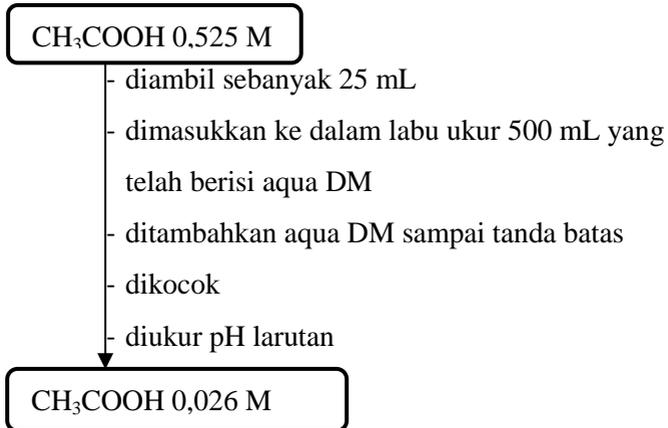
### A. Pembuatan Spesimen SS 304



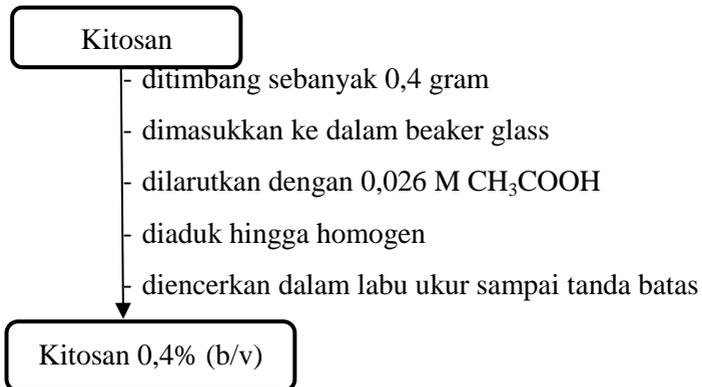
### B. Preparasi Larutan

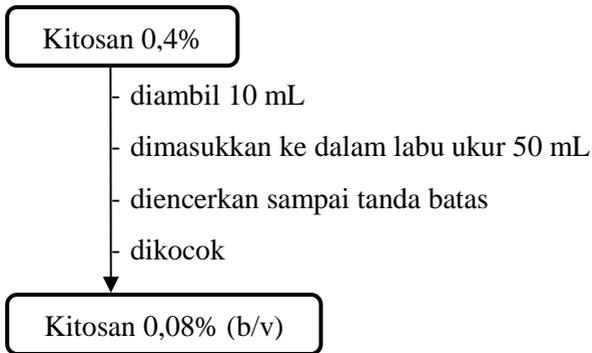
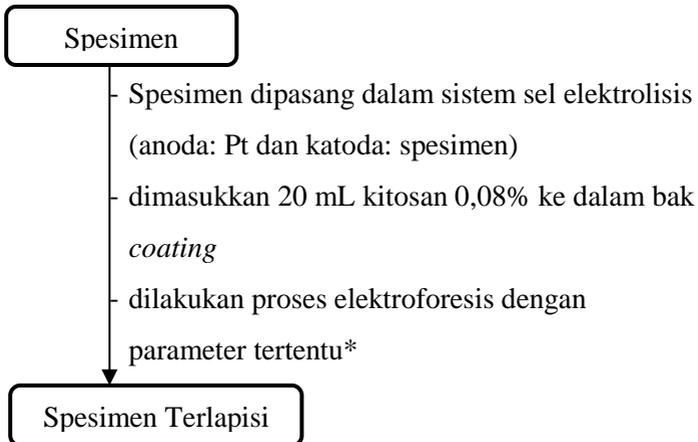
#### B.1 Larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,525 M



B.2 Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,026 M

## B.3 Larutan Kitosan 0,4% (b/v)



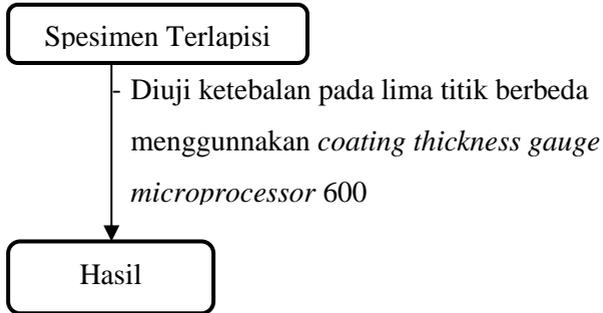
**B.3 Larutan Kitosan 0,08% (b/v)****C. Pelapisan SS 304**

\*parameter sel elektroforesis:

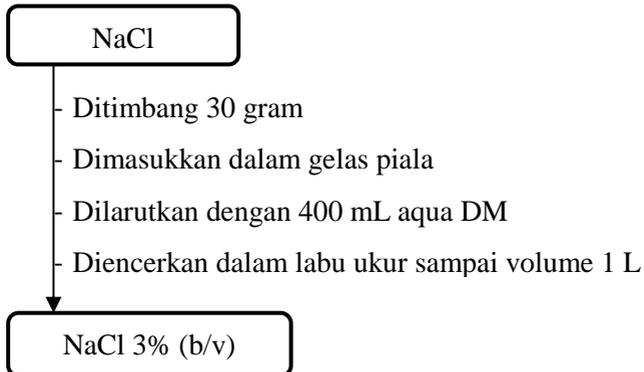
- a. untuk variasi waktu digunakan tegangan konstan 2,5 V dan waktu elektroforesis 10, 20, 30, 40, dan 50 menit

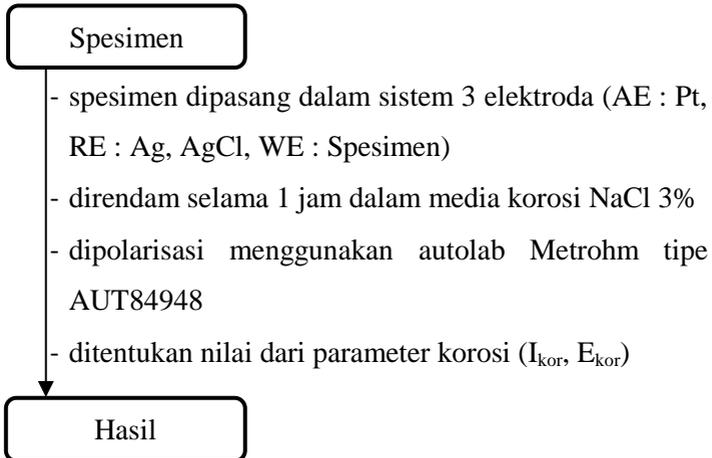
- b. untuk variasi tegangan digunakan waktu konstan 30 menit dan variasi tegangan 1, 2, 3, 4, dan 5 Volt

#### D. Uji Ketebalan



#### E. Pembuatan Media korosi NaCl 3%



**F. Metode Polarisasi**

## LAMPIRAN B PEMBUATAN LARUTAN

### A. Pembuatan larutan NaCl 3% (b/v)

***Teoritis:***

NaCl berupa padatan kristal putih. Pembuatan larutan NaCl 3% (b/v) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\% = \frac{\text{massa (g)}}{\text{volume (mL)}} \times 100\%$$

$$3\% = \frac{\text{massa (g)}}{1000 \text{ mL}} \times 100\%$$

$$\text{Massa} = 30 \text{ gram}$$

Sehingga untuk membuat 1L larutan NaCl 3% (b/v) dibutuhkan padatan NaCl sebanyak 30 gram.

***Praktik:***

Media korosi berupa larutan NaCl 3% (b/v) dibuat dengan cara melarutkan padatan NaCl sebanyak 30 gram dengan aqua DM secukupnya dalam gelas piala, setelah larut diencerkan dalam labu ukur 1L hingga tanda batas

### B. Pembuatan larutan Asam Asetat (CH<sub>3</sub>COOH) 0,525 M

***Teoritis:***

Konsentrasi asam asetat glasial 100%. dengan perhitungan sebagai berikut:

Misal:

volume asam asetat yang digunakan 100 mL = 0,1 L

$$\text{Massa} = \rho \times V = 1,05 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 100 \text{ mL} = 105 \text{ g}$$

$n = \text{massa} : M_r = 105 \text{ g} : 60 \text{ g/mol} = 1,75 \text{ mol}$

$$M = \frac{n \text{ (mol)}}{\text{Volume (L)}} = \frac{1,75 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 17,500 \text{ mol/L}$$

Pembuatan larutan 0,525 M asam asetat, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 17,5 \text{ M} \times V_1 &= 0,525 \text{ M} \times 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 3 \text{ mL} \end{aligned}$$

Sehingga untuk membuat 100 mL larutan asam asetat 0,525 M dibutuhkan asam asetat glasial sebanyak 3 mL.

***Praktik:***

Asam asetat glasial diambil sebanyak 3 mL, kemudian dimasukkan dalam labu ukur yang sebagian telah terisi aqua DM. Ditambahkan lagi aqua DM hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen.

**C. Pembuatan larutan Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0,026 M**

***Teoritis:***

Konsentrasi asam asetat 0,525 M. Pembuatan larutan asam asetat 0,026 M dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 0,525 \text{ M} \times V_1 &= 500 \text{ mL} \times 0,026 \text{ M} \\ V_1 &= 24,7 \text{ mL} \approx 25 \text{ mL} \end{aligned}$$

Sehingga untuk membuat 100 mL larutan asam asetat 0,026 M dibutuhkan asam asetat glasial 0,525 M sebanyak 25 mL.

***Praktik:***

Asam asetat 0,525 M diambil sebanyak 25 mL, kemudian dimasukkan dalam labu ukur yang sebagian telah terisi aqua DM.

Ditambahkan lagi aqua DM hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen. Diperoleh larutan asam asetat 0,026 M.

#### D. Pengukuran pH asam asetat 0,026 M

***Teoritis:***

Konsentrasi asam asetat 0,026 M

$$[H^+] = \sqrt{K_a \times [\text{asam asetat}]} = \sqrt{1,8 \times 10^{-5} \times 0,026} = 6,8 \times 10^{-4}$$

$$\text{pH} = -\log [H^+] = -\log 6,8 \times 10^{-4} = 3,16$$

***Praktik:***

Pengukuran dengan pH meter menghasilkan nilai sebesar 3,38

#### E. Pembuatan larutan kitosan 0,4% (b/v)

***Teoritis:***

Kitosan berupa padatan. Pembuatan larutan kitosan 0,4% (b/v) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\% = \frac{\text{massa (g)}}{\text{volume (mL)}} \times 100\%$$

$$0,4\% = \frac{\text{massa (g)}}{100 \text{ mL}} \times 100\%$$

$$\text{Massa} = 0,4 \text{ gram}$$

Sehingga untuk membuat 100 mL larutan kitosan 0,4% (b/v) dibutuhkan padatan kitosan sebanyak 0,4 gram.

***Praktik:***

Larutan kitosan 0,4% (b/v) dibuat dengan cara melarutkan padatan kitosan sebanyak 0,4 gram dengan asam asetat 0,026 M dalam gelas piala, setelah larut diencerkan dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas.

**F. Pembuatan Larutan kitosan 0,08% (b/v)*****Teoritis:***

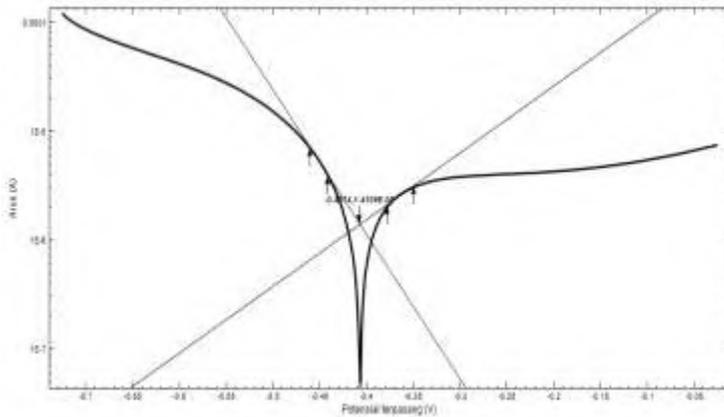
Larutan kitosan 0,08% diperoleh dengan mengencerkan larutan kitosan 0,4% dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\0,4\% \times V_1 &= 50 \text{ mL} \times 0,08\% \\V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

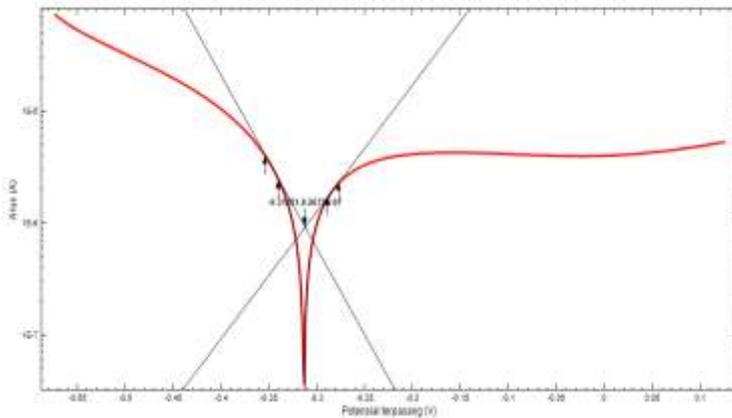
***Praktik:***

Larutan kitosan 0,08% (b/v) dibuat dengan cara mengencerkan larutan kitosan 0,4% sebanyak 10 mL dalam labu ukur 50 mL hingga tanda batas.

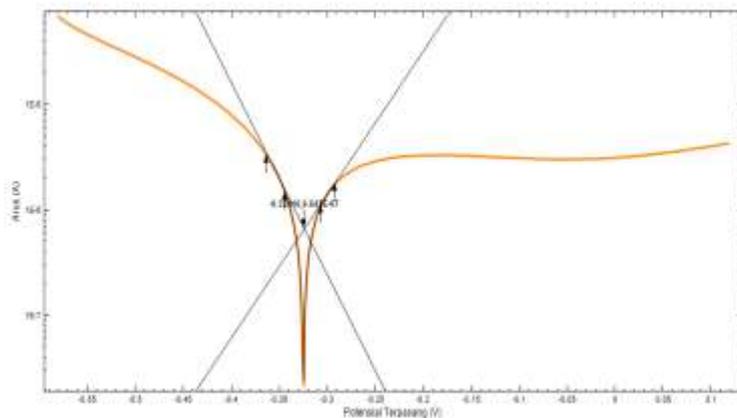
### LAMPIRAN C KURVA POLARISASI



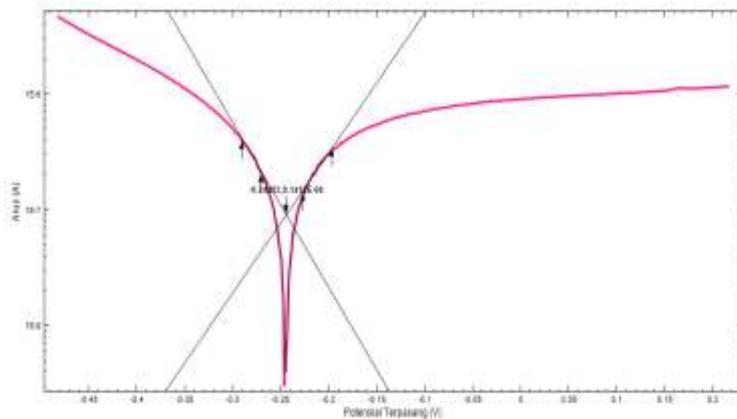
Gambar C.1 SS 304 dalam NaCl 3%



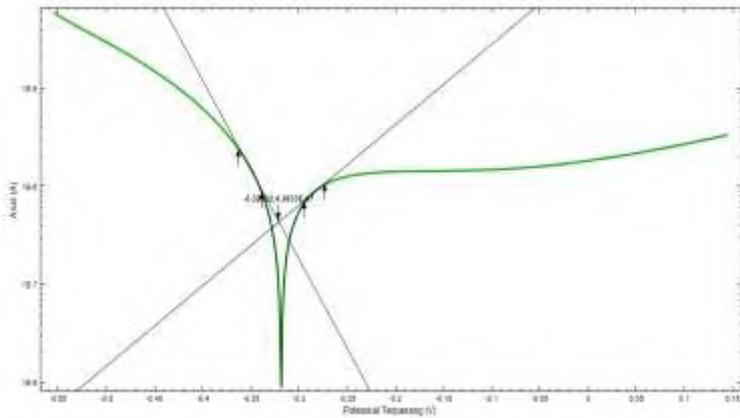
Gambar C.2 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 10 menit pada tegangan 2,5 V dalam NaCl 3%



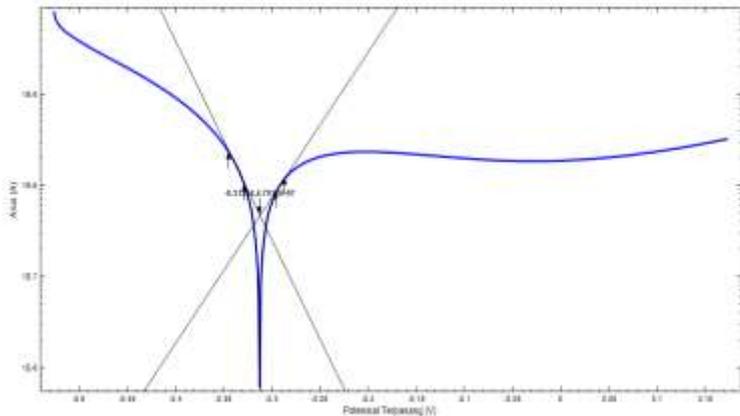
Gambar C.3 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 20 menit pada tegangan 2,5 V dalam NaCl 3%



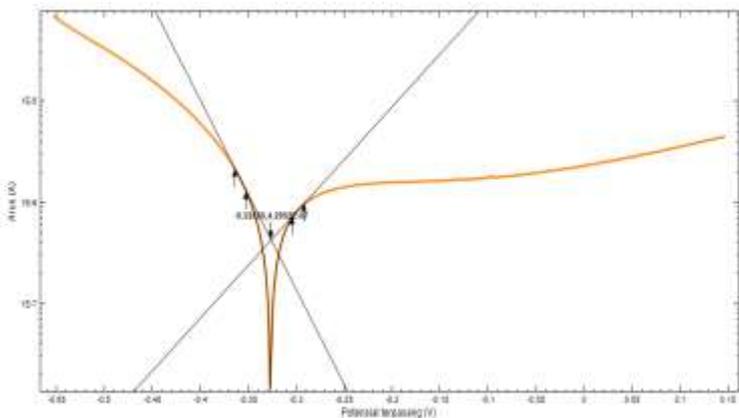
Gambar C.4 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 2,5 V dalam NaCl 3%



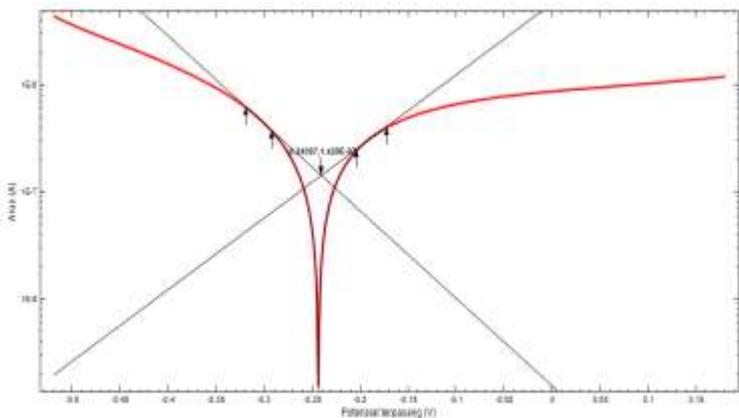
Gambar C.5 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 40 menit pada tegangan 2,5 V dalam NaCl 3%



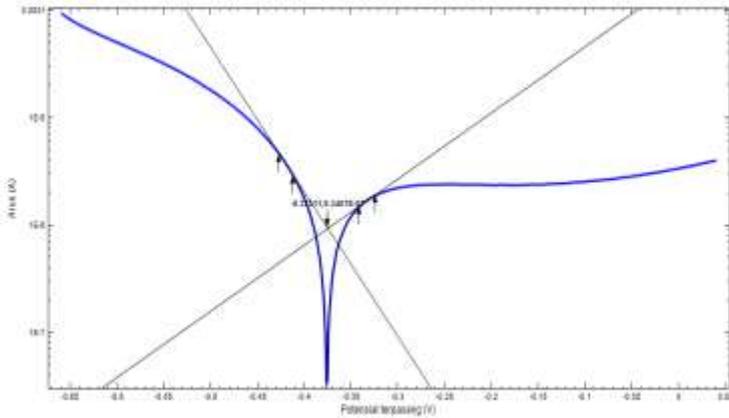
Gambar C.6 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 50 menit pada tegangan 2,5 V dalam NaCl 3%



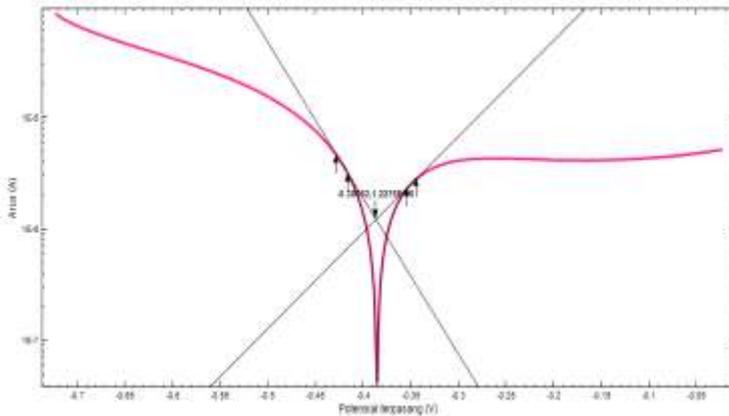
Gambar C.7 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 1 V dalam NaCl 3%



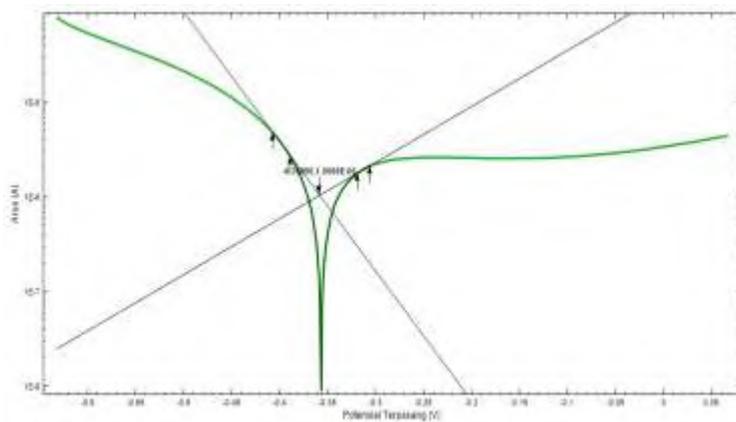
Gambar C.8 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 2 V dalam NaCl 3%



Gambar C.9 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 3 V dalam NaCl 3%



Gambar C.10 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 4 V dalam NaCl 3%



Gambar C.11 SS 304 berlapis kitosan dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 5 V dalam NaCl 3%

## LAMPIRAN D PERHITUNGAN STANDART DEVIASI DAN BATAS KEPERCAYAAN

Ketebalan lapisan spesimen SS 304 sebelum dilapisi kitosan:

31, 31, 31, 29 dan 29  $\mu\text{m}$

Ketebalan rata-rata lapisan ( $\bar{x}$ ) =  $\frac{31+31+31+29+29}{5} = 30,2 \mu\text{m}$

**Perhitungan Standart Deviasi (s)**

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(31 - 30,2)^2 + (31 - 30,2)^2 + (31 - 30,2)^2 + (29 - 30,2)^2 + (29 - 30,2)^2}{5 - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(0,8)^2 + (0,8)^2 + (0,8)^2 + (-1,2)^2 + (-1,2)^2}{4}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0,64 + 0,64 + 0,64 + 1,44 + 1,44}{4}} = \sqrt{\frac{4,8}{4}} = \sqrt{1,2} = 1,095$$

**Batas Kepercayaan ( $\mu$ )**

$$\mu = \bar{x} \pm t(s/\sqrt{n})$$

t adalah nilai dari tabel penyebaran nilai yang menunjukkan tingkat kepercayaan dengan (n-1) derajat kebebasan (v). Pada penelitian ini digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan derajat kebebasan (v)= 4, maka nilai t = 2,776

$$\mu = 30,2 \pm 2,776(1,095/\sqrt{5}) = 30,2 \pm 1,36$$

(untuk ketebalan lapisan lainnya digunakan cara yang sama)

**Tabel Data Ketebalan Lapisan**

Tabel D.1 Ketebalan lapisan SS 304

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	31	30,2	0,8	0,64	1,10	1,36
	31		0,8	0,64		
	31		0,8	0,64		
	29		-1,2	1,44		
	29		-1,2	1,44		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				4,8	
2	31	30,2	0,8	0,64	1,92	2,39
	29		-1,2	1,44		
	33		2,8	7,84		
	28		-2,2	4,84		
	30		-0,2	0,04		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				14,8	
3	31	31,2	-0,2	0,04	0,84	1,04
	32		0,8	0,64		
	31		-0,2	0,04		
	32		0,8	0,64		
	30		-1,2	1,44		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				2,8	
Rata-rata		30,53			1,29	1,60

Tabel D.2 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 10 menit pada tegangan 2,5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	58	59,6	-1,6	2,56	10,99	13,64
	56		-3,6	12,96		
	68		8,4	70,56		
	72		12,4	153,76		
	44		-15,6	243,36		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
2	38	36,4	1,6	2,56	3,13	3,89
	35		-1,4	1,96		
	35		-1,4	1,96		
	41		4,6	21,16		
	33		-3,4	11,56		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
3	35	38	-3	9	5,79	7,19
	32		-6	36		
	40		2	4		
	36		-2	4		
	47		9	81		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
Rata-rata		44,67			6,64	8,24

Tabel D.3 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 20 menit pada tegangan 2,5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	50	51,8	-1,8	3,24	5,63	6,99
	47		-4,8	23,04		
	60		8,2	67,24		
	55		3,2	10,24		
	47		-4,8	23,04		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
2	50	45,6	4,4	19,36	2,88	3,58
	43		-2,6	6,76		
	47		1,4	1,96		
	44		-1,6	2,56		
	44		-1,6	2,56		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
3	50	58	-8	64	11,77	14,61
	51		-7	49		
	76		18	324		
	49		-9	81		
	64		6	36		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$					
Rata-rata		51,8			6,76	8,39

Tabel D.4 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 2,5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	34	34,8	-0,8	0,64	1,92	2,39
	34		-0,8	0,64		
	35		0,2	0,04		
	33		-1,8	3,24		
	38		3,2	10,24		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				14,8	
2	45	56,4	-11,4	129,96	9,53	11,83
	49		-7,4	54,76		
	68		11,6	134,56		
	57		0,6	0,36		
	63		6,6	43,56		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				363,2	
3	44	47,6	-3,6	12,96	6,73	8,36
	58		10,4	108,16		
	40		-7,6	57,76		
	49		1,4	1,96		
	47		-0,6	0,36		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				181,2	
Rata-rata		46,27			6,06	7,52

Tabel D.5 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 40 menit pada tegangan 2,5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	68	65.6	2,4	5,76	13,94	17,30
	57		-8,6	73,96		
	56		-9,6	92,16		
	58		-7,6	57,76		
	89		23,4	547,56		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				777,2	
2	57	55	2	4	11,77	14,61
	44		-11	121		
	53		-2	4		
	47		-8	64		
	74		19	361		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				554	
3	36	41.6	-5,6	31,36	9,58	11,89
	33		-8,6	73,96		
	35		-6,6	43,56		
	53		11,4	129,96		
	51		9,4	88,36		
$\sum(x - \bar{x})^2$				367,2		
Rata-rata		54.07			11,76	14,60

Tabel D.6 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 50 menit pada tegangan 2,5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	51	55,4	-4,4	19,36	15,14	18,80
	51		-4,4	19,36		
	49		-6,4	40,96		
	44		-11,4	129,96		
	82		26,6	707,56		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				917,2	
2	54	65,4	-11,4	129,96	13,26	16,46
	68		2,6	6,76		
	56		-9,4	88,36		
	62		-3,4	11,56		
	87		21,6	466,56		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				703,2	
3	49	50,8	-1,8	3,24	12,44	15,44
	49		-1,8	3,24		
	44		-6,8	46,24		
	40		-10,8	116,64		
	72		21,2	449,44		
	$\sum(x - \bar{x})^2$				618,8	
Rata-rata		57,2			13,61	16,90

Tabel D.7 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 1 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	31	29,8	1,2	1,44	1,30	1,62
	29		-0,8	0,64		
	30		0,2	0,04		
	31		1,2	1,44		
	28		-1,8	3,24		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			6,8		
2	34	35,8	-1,8	3,24	9,09	11,29
	25		-10,8	116,64		
	33		-2,8	7,84		
	50		14,2	201,64		
	37		1,2	1,44		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			330,8		
3	51	37,2	13,8	190,44	8,41	10,44
	38		0,8	0,64		
	31		-6,2	38,44		
	36		-1,2	1,44		
	30		-7,2	51,84		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			282,8		
Rata-rata		34,27			4,27	7,78

Tabel D.8 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 2 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	30	30.8	-0,8	0,64	0,84	1,04
	31		0,2	0,04		
	32		1,2	1,44		
	31		0,2	0,04		
	30		-0,8	0,64		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				2,8	
2	30	36.2	-6,2	38,44	5,54	6,88
	41		4,8	23,04		
	33		-3,2	10,24		
	43		6,8	46,24		
	34		-2,2	4,84		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				1228	
3	34	38	-4	16	5,24	6,51
	35		-3	9		
	38		0	0		
	36		-2	4		
	47		9	81		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				110	
Rata-rata		35			3,87	4,81

Tabel D.9 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 3 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	33	37,4	-4,4	19,36	4,83	5,99
	34		-3,4	11,56		
	35		-2,4	5,76		
	41		3,6	12,96		
	44		6,6	43,56		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			93,2		
2	34	38,2	-4,2	17,64	5,36	6,65
	37		-1,2	1,44		
	39		0,8	0,64		
	47		8,8	77,44		
	34		-4,2	17,64		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			114,8		
3	32	32	0	0	1,58	1,96
	30		-2	4		
	34		2	4		
	33		1	1		
	31		-1	1		
	$\sum(x - \bar{x})^2$			10		
Rata-rata		35,87			3,92	4,87

Tabel D.10 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 4 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	36	41,4	-5,4	29,16	3,91	4,86
	43		1,6	2,56		
	46		4,6	21,16		
	43		1,6	2,56		
	39		-2,4	5,76		
	$\sum(x - \bar{x})^2$					
2	39	38,2	0,8	0,64	7,05	8,75
	35		-3,2	10,24		
	35		-3,2	10,24		
	32		-6,2	38,44		
	50		11,8	139,24		
	$\sum(x - \bar{x})^2$					
3	34	36,8	-2,8	7,84	5,81	7,21
	47		10,2	104,04		
	36		-0,8	0,64		
	34		-2,8	7,84		
	33		-3,8	14,44		
	$\sum(x - \bar{x})^2$					
Rata-rata		38,80			5,59	6,94

Tabel D.11 Ketebalan lapisan kitosan pada SS 304 dengan waktu pelapisan 30 menit pada tegangan 5 V

Spesimen	$x$ ( $\mu\text{m}$ )	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$s$	$t(s/\sqrt{n})$
1	42	39,4	2,6	6,76	4,88	6,06
	40		0,6	0,36		
	45		5,6	31,36		
	38		-1,4	1,96		
	32		-7,4	54,76		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				95,2	
2	37	39,2	-2,2	4,84	4,32	5,37
	38		-1,2	1,44		
	42		2,8	7,84		
	34		-5,2	27,04		
	45		5,8	33,64		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				74,8	
3	43	39,6	3,4	11,56	2,70	3,35
	40		0,4	0,16		
	38		-1,6	2,56		
	36		-3,6	12,96		
	41		1,4	1,96		
	$\Sigma(x - \bar{x})^2$				29,2	
Rata-rata		39,40			3,97	4,93

**LAMPIRAN E**  
**PARAMETER KOROSI SS 304 HASIL POLARISASI**  
**POTENSIODINAMIK**

Tabel E. 1 Parameter korosi hasil polarisasi potensiodinamik pada tegangan 2,5V dengan variasi waktu pelapisan kitosan

Waktu (menit)	Spesimen	E kor (mV)	i kor ( $\mu$ A)	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	r (mmpy)
0	1	-402,63	21,172	215,41	-342,29	0,22019
	2	-407,35	21,702	229,03	-380,74	0,22570
	3	-405,28	21,146	225,75	-378,08	0,21991
10	1	-313,15	14,525	238,32	-748,13	0,15106
	2	-319,51	16,326	242,30	-446,93	0,16979
	3	-327,12	11,088	245,42	-662,75	0,11531
20	1	-324,69	11,507	238,32	-607,99	0,11967
	2	-331,95	11,881	242,30	-634,46	0,12356
	3	-314,04	11,408	245,42	-802,86	0,11864
30	1	-244,83	0,8269	311,00	1216,00	0,00860
	2	-250,14	0,8230	233,93	1831,00	0,00856
	3	-258,71	0,9142	271,40	803,78	0,00951
40	1	-320,24	5,4562	177,74	-362,10	0,05674
	2	-323,96	5,2261	118,77	3298,80	0,05435
	3	-318,56	5,3158	179,18	1270,00	0,05528
50	1	-346,70	6,3665	198,14	2746,10	0,06621
	2	-322,64	5,8020	173,30	9595,80	0,06034
	3	-312,50	6,4628	187,65	-656,19	0,06721

Tabel E. 2 Parameter korosi hasil polarisasi potensiodinamik dengan waktu pelapisan kitosan 30 menit

Tegangan (V)	Spesimen	E kor (mV)	i kor ( $\mu$ A)	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	r (mmpy)
0	1	-402,63	21,172	215,41	-342.29	0,22019
	2	-407,35	21,702	229,03	-380.74	0,22570
	3	-405,28	21,146	225,75	-378.08	0,21991
1	1	-302,25	3,6295	151,92	-490.12	0,03775
	2	-326,98	3,3708	141,40	-504.93	0,03505
	3	-339,54	3,0890	153,20	-687.78	0,03200
2	1	-242,47	2,2898	572,71	-2205.2	0,02381
	2	-244,13	1,8157	556,80	-5103.1	0,01888
	3	-242,58	2,7226	615,75	-2129.6	0,02832
3	1	-375,60	13,801	210,40	-343.27	0,14353
	2	-344,46	15,909	252,12	-701.51	0,16545
	3	-365,94	14,681	253,46	-1676.2	0,15268
4	1	-386,40	17,809	288,25	-744.51	0,18521
	2	-349,45	14,801	248,32	-427.76	0,15393
	3	-357,38	14,186	218,63	-401.26	0,14753
5	1	-357,80	15,550	225,13	-358.56	0,16172
	2	-369,93	14,272	209,40	-372.18	0,14843
	3	-336,05	17,907	261,07	-509.27	0,18623