



**SIMULASI MODEL PENGARUH INHIBITOR  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$   
(NATRIUM BIKROMAT) TERHADAP LAJU KOROSI  
BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**Dewintha Melyasari**  
**NIM 081810101008**

**JURUSAN MATEMATIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2012**



**SIMULASI MODEL PENGARUH INHIBITOR  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$   
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045  
DI LINGKUNGAN AIR LAUT**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**Dewintha Melyasari**  
**NIM 081810101008**

**JURUSAN MATEMATIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2012**

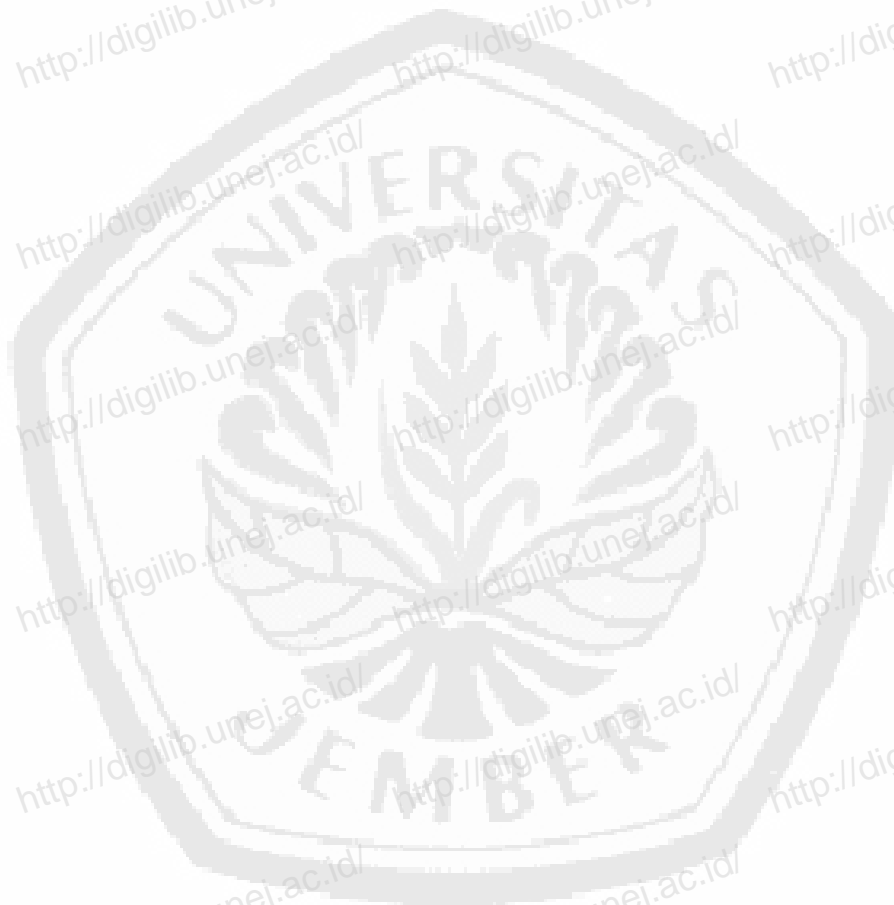
## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan puji syukur kehadirat Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Ichwanto, SE dan Ibunda Dwi Budi Astuti, S.Pd, terima kasih atas doa, perhatian, pengorbanan, dan kasih sayang yang telah diberikan;
2. Kakak tersayang Nuke Sukma Wijayati, S.S dan Adik tersayang Lutfi Aditya Irawan yang selalu memberi semangat baik dalam keadaan suka maupun duka;
3. Sahabat tercinta Hartanti Juantini, Madinatul Munawaroh, dan Santica Yuniarisky yang selalu menemani dari awal kuliah sampai sekarang;
4. Teman-teman kost Kalimantan X 23/B (fitri, lulus, titik, kiky) yang menjadi tempat berbagi baik suka maupun duka;
5. Guru-guru sejak Taman Kanak-Kanak hingga perguruan tinggi, yang telah banyak memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
6. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, SMA Negeri 1 Blitar, SMP Negeri 3 Blitar, SD Negeri Pojok 1, dan TK Pertiwi Pojok;
7. Teman-teman angkatan 2008 (maliner) yang selalu kompak dari awal kuliah sampai sekarang.

## MOTO

Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah.  
(Thomas Alva Edison)



---

Ghonson. 2012. *Kumpulan Contoh Kata Motto Skripsi*. [serial on line].  
<http://nuansaromantis.blogspot.com/2012/08/kumpulan-contoh-kata-motto-skripsi.html>. [3  
Oktober 2012]

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Dewintha Melyasari

NIM : 081810101008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Simulasi Model Pengaruh Inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  (Natrium Bikromat) Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 di Lingkungan Air Laut” adalah benar-benar hasil karya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Oktober 2012

Yang menyatakan,

Dewintha Melyasari

NIM 081810101008

**SKRIPSI**

**SIMULASI MODEL PENGARUH INHIBITOR  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$   
(NATRIUM BIKROMAT) TERHADAP LAJU KOROSI  
BAJA AISI 1045 DI LINGKUNGAN AIR LAUT**

Oleh:  
Dewintha Melyasari  
NIM 081810101008

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc

Dosen Pembimbing Anggota : Kusbudiono, S.Si, M.Si

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Simulasi Model Pengaruh Inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  (Natrium Bikromat) Terhadap Laju Korosi Baja Aisi 1045 Di Lingkungan Air Laut” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc  
NIP 196610121993031001

Kusbudiono, S.Si, M.Si  
NIP 197704302005011001

Anggota I

Anggota II

Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si, M.Si  
NIP 197407192000121001

Bagus Juliyanto, S.Si  
NIP 198007022003121001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.  
NIP 196101081986021001

## RINGKASAN

**Simulasi Model Pengaruh Inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  (Natrium Bikromat) Terhadap Laju Korosi Baja Aisi 1045 di Lingkungan Air Laut;** Dewintha Melyasari, 081810101008; 2012: 45 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius, mengingat dua pertiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak pada daerah tropis dengan curah hujan tinggi, sehingga lingkungan ini dikenal dengan sifat sangat korosif. Dampak negatif yang ditimbulkan akibat kerusakan korosi negatif pada kehidupan manusia, antara lain tingginya biaya yang dikeluarkan akibat rusaknya bahan logam dan tercemarnya lingkungan akibat limbah korosi. Dampak negatif proses korosi dapat dikendalikan dengan metode inhibisi, yaitu pemberian zat antikorosi (inhibitor) dengan konsentrasi yang kecil ke dalam lingkungan. Pada penelitian ini dikaji bagaimana profil persamaan laju korosi baja tanpa inhibitor dan menggunakan inhibitor melalui solusi numerik menggunakan metode Prediktor-Korektor Orde 3. Tujuan dari penelitian ini, yaitu mengetahui profil persamaan laju korosi baja, sehingga dari profil tersebut dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam memperkecil kerusakan baja dalam lingkungan air laut dan juga dapat menambah pengetahuan tentang mekanisme korosi.

Penelitian tentang pengaruh penambahan inhibitor terhadap laju korosi baja di lingkungan air laut ini dibagi menjadi empat tahap, yaitu identifikasi parameter, pembuatan program, simulasi, dan analisis hasil. Penentuan parameter ditentukan dengan dua cara, yaitu dari data percobaan laju korosi dan simulasi beberapa parameter sehingga dapat diketahui nilai parameter yang cocok untuk model. Setelah menentukan parameter, dilanjutkan dengan pembuatan program dengan bantuan *software* Matlab R2009, dari langkah ini dihasilkan GUI dari simulasi model



pengaruh inhibitor terhadap laju korosi baja. Langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi dengan cara menginput beberapa variasi parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Kemudian tahap terakhir, yaitu menganalisis *output* dari simulasi tersebut.

Dari simulasi yang telah dilakukan, dihasilkan profil dari masing-masing jenis medium korosi, secara umum jenis medium yang menggunakan salinitas 33% memiliki laju korosi yang lebih lambat dari pada salinitas 35%. Sedangkan dari jumlah konsentrasi inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  yang diberikan pada sistem, laju korosi yang paling lambat adalah pada penambahan inhibitor 0.9% pada salinitas 33% maupun 35%.

Pada simulasi model pengaruh inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  terhadap laju korosi baja AISI 1045 di lingkungan air laut, konsentrasi inhibitor dan konsentrasi salinitas air laut mempengaruhi profil pada model (asalkan konsentrasi inhibitor tidak lebih dari 1%). Semakin besar konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam sistem, maka semakin lambat pula laju korosi yang terjadi. Sedangkan bila medium berada pada salinitas yang lebih besar maka akan semakin mempercepat laju korosi (baja akan semakin mudah berkarat). Perlambatan dari laju korosi akibat pengaruh inhibitor dapat diidentifikasi melalui laju berkurangnya inhibitor.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Tugas akhir yang berjudul “Simulasi Model Pengaruh Inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 di Lingkungan Air Laut” ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Selain itu, pemilihan topik ini sebagai tugas akhir penulis adalah untuk membantu pemecahan masalah korosi baja khususnya baja AISI 1045 pada konstruksi bahan dasar kapal laut, sehingga dapat mengurangi korosi yang mungkin terjadi.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Rusli Hidayat, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Utama dan Kusbudiono, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan ide dan inspirasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
2. Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji I dan Bagus Juliyanto, S.Si selaku Dosen Penguji II yang telah memberi masukan terhadap skripsi ini;
3. Kedua orang tua (Bapak Ichwanto, SE dan Ibu Dwi Budi, S.Pd) atas doa dan kasih sayangnya serta kakak dan adik (Nuke Sukma Wijayati, S.S dan Lutfi Aditya Irawan) atas doa dan dukungan moril serta materiil yang diberikan kepada penulis;
4. Kiswara Agung Santoso, S.Si, M.Kom selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;

5. Semua dosen Jurusan Matematika yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis;
6. Teman-teman angkatan 2008 Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember atas dukungan dan semangatnya;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 3 Oktober 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

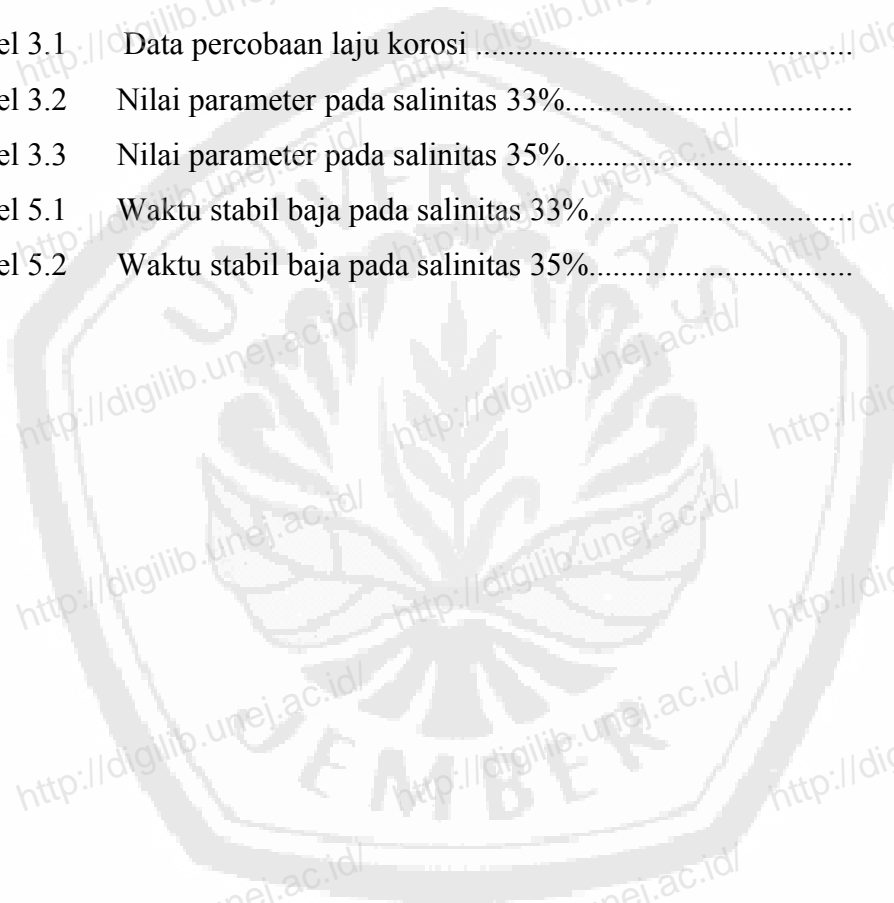
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
<b>2.1 Salinitas Air Laut</b> .....	4
<b>2.2 Baja Karbon</b> .....	4
2.2.1 Klasifikasi Baja.....	4
2.2.2 Standarisasi dan Pengkodean Baja Karbon.....	5
<b>2.3 Pengertian Korosi</b> .....	6

<b>2.4 Mekanisme Terjadinya Korosi.....</b>	<b>7</b>
2.4.1 Teori Keadaan Peralihan.....	8
2.4.2 Laju Reaksi dan Kestimbangan Kimia.....	9
<b>2.5 Pengendalian Korosi Menggunakan Inhibitor.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6 Kinetika Michaelis Menten.....</b>	<b>11</b>
<b>2.7 Model.....</b>	<b>13</b>
2.7.1 Asumsi.....	13
2.7.2 Pembentukan Model Laju Korosi Baja AISI tanpa Inhibitor.....	14
2.7.3 Pembentukan Model Laju Korosi Baja AISI 1045 Menggunakan Inhibitor.....	17
<b>2.8 Persamaan Diferensial Biasa.....</b>	<b>19</b>
2.9.1 Persamaan Diferensial Linier.....	20
2.9.2 Persamaan Diferensial Non Linier.....	20
<b>2.9 Metode Numerik.....</b>	<b>21</b>
<b>2.10 Metode Prediktor-Korektor.....</b>	<b>21</b>
2.11.1 <i>Adams-Bashforth Method</i> (Prediktor).....	23
2.11.2 <i>Adams-Moulton Method</i> (Korektor).....	24
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Data.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Penyelesaian Solusi Model Dengan Metode Prediktor-         Korektor.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Pembuatan Program.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Simulasi Program.....</b>	<b>28</b>
3.4.1 Simulasi Menentukan Nilai Parameter Yang Cocok Pada Model.....	28
3.4.2 Simulasi Menentukan Waktu Stabil Menggunakan Nilai Parameter Yang Cocok.....	31

3.4.3 Simulasi Menentukan Laju Perlambatan Korosi Akibat Pengaruh Inhibitor.....	31
<b>3.5 Analisis Program.....</b>	31
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	33
<b>4.1 Simulasi Menentukan Nilai Parameter Yang Cocok         Pada Model.....</b>	33
4.1.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%.....	33
4.1.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%.....	34
<b>4.2 Simulasi Menentukan Waktu Stabil Menggunakan         Nilai Parameter Yang Cocok.....</b>	35
4.2.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%.....	36
4.2.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%.....	38
<b>4.3 Simulasi Menentukan Laju Perlambatan Korosi Akibat         Pengaruh Inhibitor.....</b>	39
4.3.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%.....	40
4.3.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%.....	40
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	42
<b>4.1 Kesimpulan.....</b>	42
<b>4.1 Saran.....</b>	43
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	44
<b>LAMPIRAN.....</b>	46

## DAFTAR TABEL

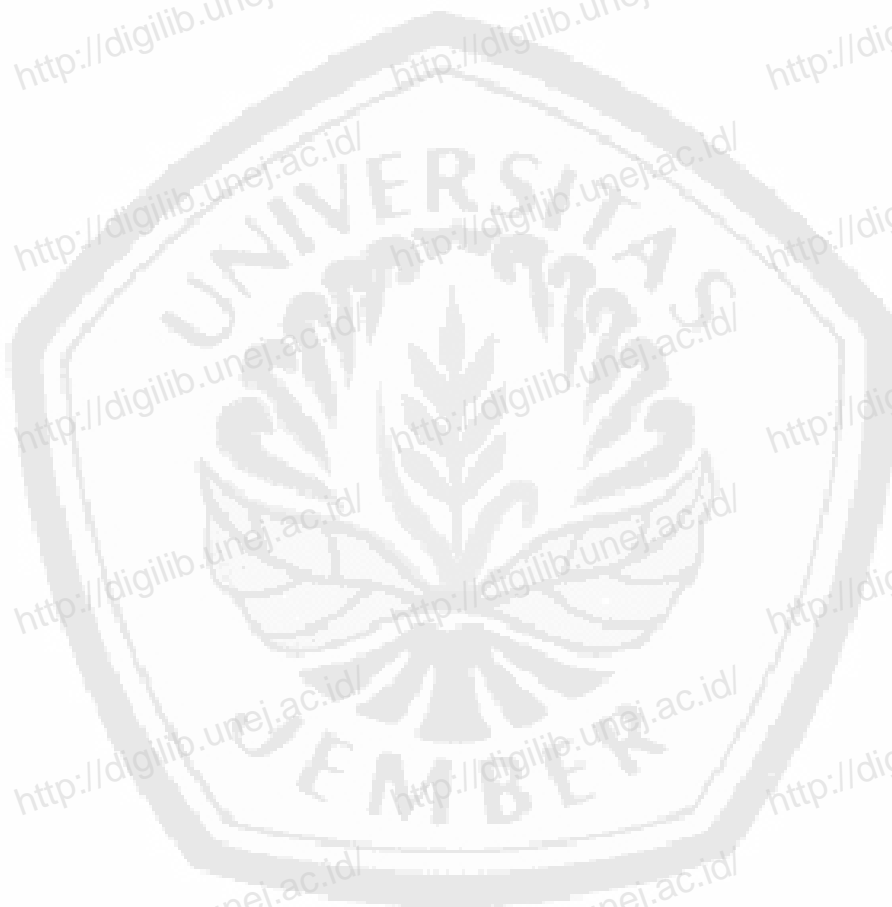
	Halaman
Tabel 3.1 Data percobaan laju korosi .....	26
Tabel 3.2 Nilai parameter pada salinitas 33%.....	29
Tabel 3.3 Nilai parameter pada salinitas 35%.....	30
Tabel 5.1 Waktu stabil baja pada salinitas 33%.....	42
Tabel 5.2 Waktu stabil baja pada salinitas 35%.....	42



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Koordinat (profil) reaksi.....	9
Gambar 2.2 Grafik laju reaksi terhadap konsentrasi substrat.....	12
Gambar 3.1 Skema Metode Penelitian.....	32
Gambar 4.1 (a) $a = 0,05$ ; (b) $a = 0,15$ ; (c) $a = 0,25$ ; (d) $a = 0,57$ .....	34
Gambar 4.2 (a) $a = 0,05$ ; (b) $a = 0,1$ ; (c) $a = 0,2$ ; (d) $a = 0,54$ .....	34
Gambar 4.3 (a) $a = 0,1$ ; (b) $a = 0,15$ ; (c) $a = 0,2$ ; (d) $a = 0,55$ .....	35
Gambar 4.4 (a) $a = 0,05$ ; (b) $a = 0,1$ ; (c) $a = 0,15$ ; (d) $a = 0,54$ .....	35
Gambar 4.5 Model tanpa inhibitor pada salinitas 33% dengan $a = 0.57$	36
Gambar 4.6 Model menggunakan inhibitor 0,9% pada salinitas 33% dengan $a = 0.57$ .....	37
Gambar 4.7 Model tanpa inhibitor pada salinitas 35% dengan $a = 0.55$	38
Gambar 4.8 Model menggunakan inhibitor 0,9% pada salinitas 35% dengan $a = 0.54$ .....	39
Gambar 4.9 (a) $m = 0,3$ ; (b) $m = 0,5$ ; (c) $m = 0,7$ ; (d) $m = 0,9$ .....	40
Gambar 4.10 (a) $m = 0,3$ ; (b) $m = 0,5$ ; (c) $m = 0,7$ ; (d) $m = 0,9$ .....	40





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia yang sebagian besar berupa lautan memerlukan suatu kapal laut sebagai sarana penghubung antar pulau yang sebagian konstruksinya berbahan dasar baja. Pada bagian pelat lambung kapal laut yang selalu terendam air laut akan menimbulkan konsekuensi adanya serangan korosi baja yang merugikan baik secara teknis maupun ekonomis (Julia, *et al* 2000).

Korosi merupakan suatu fenomena yang terjadi pada material dan tidak dapat dihindari, lingkungan yang berinteraksi dengan material adalah faktor utama yang memicu terjadinya korosi. Secara spesifik, korosi adalah interaksi kimia-fisis antara logam dan medium yang mengakibatkan penurunan sifat-sifat pada logam. Lingkungan atau medium yang dimaksud dapat berupa air, udara, larutan asam, larutan garam, dan lain-lain. Air merupakan lingkungan yang korosif terhadap logam dikarenakan mengandung natrium klorida (NaCl), kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), dan oksigen terlarut yang mempengaruhi proses korosi pada material. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi. Salah satu metode pengendalian korosi logam adalah metode inhibisi, yaitu pemberian zat antikorosi (inhibitor) dengan konsentrasi yang kecil ke dalam lingkungan. Inhibitor bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam (Sasono, 2010).

Pada tahun 2008 Sigit melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi natrium bikromat terhadap laju korosi baja AISI 1045 pada medium air laut. Pada percobaannya, Sigit melihat dan mengambil data tentang proses korosi yang terjadi pada baja karbon AISI 1045. Pada penelitian selanjutnya pemodelan pengaruh inhibitor terhadap laju reaksi dilakukan oleh Yusuf pada skripsinya tahun

2008. Yusuf menurunkan model tersebut dengan menitikberatkan pada mekanisme korosi dari sudut pandang Teori Keadaan Peralihan, artinya bahwa logam terlebih dahulu berubah menjadi ion-ion logam (keadaan peralihan) sebelum menjadi hasil reaksi (produk terkorosi).

Data yang diperoleh dari hasil percobaan korosi yang dilakukan di laboratorium belum cukup untuk mengatakan bahwa senyawa Kromat (yaitu  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) merupakan inhibitor korosi yang layak dipakai di lapangan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan data di lapangan dan data di laboratorium yang disebabkan oleh banyaknya parameter-parameter yang tidak diperhitungkan dalam percobaan di laboratorium.

Berdasarkan hal-hal yang telah disebutkan di atas, maka pada tugas akhir ini akan dikaji tentang simulasi model pengaruh inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  (natrium bikromat) terhadap laju korosi pada baja AISI 1045 pada lingkungan air laut. Penelitian yang dilakukan adalah melakukan perhitungan numerik untuk mencari solusi model laju korosi baja AISI 1045 dengan dan tanpa inhibitor dengan metode Prediktor-Korektor. Solusi numerik dari masing-masing kasus akan dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan inhibitor pada laju korosi. Sehingga dari simulasi tersebut dapat diketahui profil inhibitor dalam mengendalikan laju korosi baja yang bermanfaat untuk memperkecil kerusakan konstruksi berbahan dasar baja AISI 1045 di lingkungan air laut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menyelesaikan model persamaan laju korosi baja AISI 1045 pada medium air laut dengan menggunakan metode Prediktor-Korektor?
2. Bagaimana hasil perbandingan laju korosi menggunakan inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dan tanpa inhibitor?
3. Bagaimana pengaruh parameter-parameter pada model persamaan laju korosi baja AISI 1045?

4. Bagaimana analisis profil persamaan laju korosi baja AISI 1045 melalui solusi numerik yang diperoleh?

### 1.3 Batasan Masalah

Data percobaan laju korosi baja AISI 1045 yang digunakan untuk menentukan nilai parameter pada model, dilakukan pada medium air laut dengan salinitas sebesar 33% dan 35%.

### 1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Menyelesaikan model persamaan laju korosi baja AISI 1045 pada medium air laut dengan menggunakan metode Prediktor-Korektor.
2. Membandingkan laju korosi menggunakan inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  dan tanpa inhibitor.
3. Mengetahui pengaruh parameter-parameter pada model persamaan laju korosi baja AISI 1045.
4. Mengetahui profil persamaan laju korosi baja AISI 1045 melalui solusi numerik yang diperoleh.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan tentang aplikasi matematika pada pemodelan laju korosi baja AISI 1045 di lingkungan air laut.
2. Memperkecil kerusakan konstruksi benda-benda baja yang berada dalam lingkungan air laut dengan memanfaatkan solusi numerik dari model.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Salinitas Air Laut**

Air laut merupakan faktor penting dalam mempengaruhi proses terjadinya korosi. Sebagian besar laju korosi pada konstruksi baja di laut ataupun di pesisir pantai sangat dipengaruhi oleh ion-ion yang terdapat pada laut. Hal yang dapat mempengaruhi keadaan air laut sehingga menyebabkan korosi adalah salinitas. Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam yang terlarut dalam air. Salinitas juga dapat mengacu pada kandungan garam dalam tanah. Meningkatnya kandungan salinitas dalam air laut akan meningkatkan laju korosi baja karbon (Sverdrup, *et. al* 1942).

### **2.2 Baja Karbon**

Baja adalah suatu bahan yang homogen yang terdiri dari campuran besi (Fe) dan karbon (C). Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama besi dan unsur kedua adalah karbon, sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut prosentasenya. Unsur-unsur tersebut adalah mangan, silikon, dan tembaga. Semakin tinggi kadar karbon di dalam baja, semakin tinggi kuat tarik serta tegangan leleh, tetapi koefisien muai bahan turun, dan baja semakin getas (Surdia, 1999).

#### **2.2.1 Klasifikasi Baja**

Baja menurut komposisi kimianya terdiri dari baja karbon (*carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*). Pada baja karbon dibagi menjadi tiga jenis baja karbon ditinjau dari komposisi karbon yang terkandung, yaitu:

a. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah adalah baja karbon memiliki komposisi karbon antara 0,05 – 0,3% C. Sifat dari baja karbon rendah adalah mudah untuk ditempa dan mudah dalam proses permesinan.

b. Baja karbon sedang (*mild steel*)

Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki komposisi karbon antara 0,30 – 0,60% C. Sifat baja ini adalah memiliki kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong.

c. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki komposisi karbon antara 0,60 – 1,50% C. Sifat baja ini adalah memiliki kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon menengah. Sifatnya lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong (Surdia, 1999).

### 2.2.2 Standarisasi dan Pengkodean Baja Karbon

Standardisasi adalah proses merumuskan, merevisi, menetapkan, dan menerapkan standar yang dilaksanakan secara tertib dan kerjasama dengan semua pihak. Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah standar yang ditetapkan oleh instansi teknis setelah mendapat persetujuan dari Dewan Standardisasi Nasional dan berlaku secara nasional di Indonesia. Struktur penomoran SNI terdiri atas serangkaian kode dengan arti tertentu yaitu berupa kode SNI.

Ada beberapa tipe standarisasi yang umumnya digunakan pada baja, diantaranya adalah :

- a. AISI (*American Iron and Steel Institute*),
- b. SAE (*Society for Automotive Engineering*),
- c. JIS (*Japanese Industrial Standard*),
- d. SNI (Standar Nasional Indonesia).

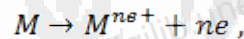
Standarisasi dengan sistem AISI merupakan tipe standarisasi yang berdasarkan pada susunan atau komposisi kimia yang ada dalam suatu baja. Standarisasi Baja AISI 1045 bisa diartikan sebagai berikut: (Surdia, 1999)

- a. Angka 1 : baja karbon,
- b. Angka 0 : persentase bahan paduan (tidak ada),
- c. Angka 45 : kadar karbon (0.45% Karbon).

### 2.3 Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Beberapa hal penting menyangkut definisi ini adalah:

1. Korosi berkaitan dengan logam, seperti persamaan berikut :



dengan:

$M$  = simbol untuk atom logam,

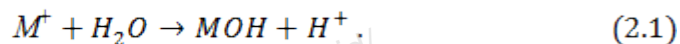
$n$  = jumlah ion suatu unsur,

$e$  = elektron.

2. Melalui penggunaan istilah degradasi atau penurunan mutu, korosi adalah proses yang tidak dikehendaki. Logam yang terkorosi akan mengalami penipisan permukaan, perusakan, dan perubahan bentuk.
3. Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia, namun juga reaksi elektrokimia yakni antara logam yang bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Elektron adalah sesuatu yang bermuatan negatif dan pengangkutannya menimbulkan arus listrik karena dipengaruhi oleh potensial listrik.
4. Lingkungan adalah semua unsur disekitar logam terkorosi pada saat reaksi berlangsung (Trethewey, 1991).

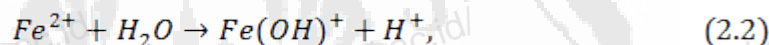
## 2.4 Mekanisme Terjadinya Korosi

Korosi secara elektrokimia dapat diilustrasikan dengan reaksi antar ion logam dengan molekul air. Mula-mula akan terjadi hidrolisis yang akan mengakibatkan keasaman meningkat. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:



Persamaan (2.1) menggambarkan reaksi hidrolisis yang umum, dimana pada elektrolit yang sebenarnya akan terdapat peran klorida yang penting tetapi akan menjadi rumit untuk diuraikan. Kecenderungan yang rendah dari klorida untuk bergabung dengan ion-ion hidrogen dalam air mendorong menurunnya pH larutan.

Persamaan reaksi (2.1) jika diterapkan pada ion besi dan molekul air adalah sebagai berikut:



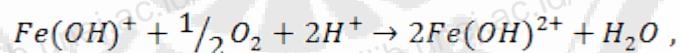
dengan:

$Fe^{2+}$  : besi (I),

$Fe(OH)^+$  : besi (II).

Kemudian persamaan reaksi (2.2) dapat berlanjut dengan terjadinya reaksi oksidasi oleh kehadiran oksigen terhadap besi (II), sehingga akan terbentuk ion-ion besi (III).

Persamaan reaksi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

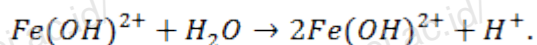


dengan:

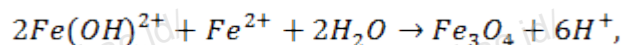
$Fe(OH)^+$  : besi (II),

$Fe(OH)^{2+}$  : besi (III).

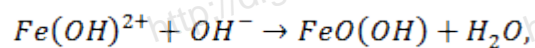
Reaksi-reaksi hidrolisis selanjutnya dimungkinkan menyebabkan larutan semakin asam, persamaan reaksi dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Untuk selanjutnya dapat diuraikan reaksi dari ion-ion kompleks sehingga terbentuk hasil korosi utama yaitu magnetit dan karat. Persamaan reaksi-reaksi tersebut adalah :







dengan:

$Fe_3O_4$  : magnetit,

$FeO(OH)$  : karat (Trethewey, 1991).

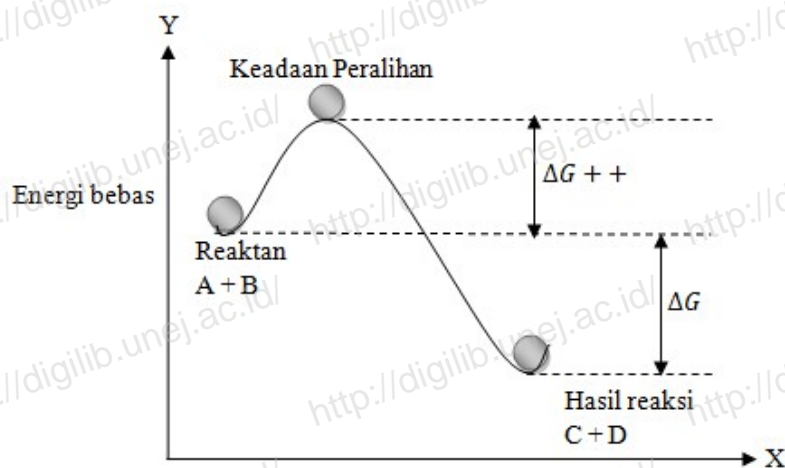
#### 2.4.1 Teori Keadaan Peralihan

Sebuah konsep yang menjelaskan laju reaksi korosi adalah teori keadaan peralihan, yang persamaannya:



Persamaan (2.2) menunjukkan bahwa zat A dan B yang dikenal sebagai reaktan, saling berinteraksi sedemikian sehingga membentuk dua zat baru C dan D yang merupakan hasil reaksi. Agar dapat menghasilkan zat-zat baru, maka zat A dan B bukan hanya harus saling sentuh melainkan juga harus terpadu secara fisik, untuk membentuk suatu zat antara AB. Jika reaktan-reaktan memiliki energi cukup dan orientasi keduanya untuk berpadu tepat, maka proses reaksi akan terjadi dalam waktu yang singkat. AB merupakan keadaan peralihan dimana reorganisasi keadaan peralihan ini yang kemudian secara langsung menghasilkan C dan D.

Profil energi merupakan sebuah diagram yang berguna untuk menggambarkan perubahan-perubahan energi bebas yang berlangsung selama reaksi. Sumbu Y merupakan energi bebas, perubahan energi ditulis dengan  $\Delta G$ , dengan kesepakatan bahwa huruf delta kapital ( $\Delta$ ) menyatakan perubahan. Sumbu X digunakan untuk menyatakan kearah mana proses bergerak maju (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Koordinat (profil) reaksi

Dari Gambar 2.1, keadaan peralihan harus mempunyai energi bebas lebih tinggi dibanding jumlah energi-energi bebas pada masing-masing zat asal, yaitu A dan B. Pada umumnya, jumlah ini dinyatakan dengan simbol  $\Delta G^{++}$ . Karena Gambar 2.1 merupakan reaksi spontan maka energi hasil reaksi C dan D harus lebih rendah dari energi-energi reaktan A dan B dengan selisih sebesar  $\Delta G$ . Begitu terbentuk, keadaan peralihan dapat berubah kembali menjadi reaktan atau terus berubah menjadi hasil reaksi (Ismanto, 2009).

#### 2.4.2 Laju Reaksi dan Kestimbangan Kimia

Laju Reaksi adalah berkurangnya jumlah pereaksi untuk satuan waktu atau bertambahnya jumlah hasil reaksi untuk setiap satuan waktu. Ukuran jumlah zat dalam reaksi kimia umumnya dinyatakan sebagai konsentrasi molar atau molaritas (M). laju reaksi menyatakan berkurangnya konsentrasi pereaksi atau bertambahnya konsentrasi zat hasil reaksi setiap satu satuan waktu (detik). Satuan laju reaksi dinyatakan dalam satuan  $\text{mol dm}^{-3} \text{det}^{-1}$  atau mol /liter detik.

Pada umumnya suatu reaksi kimia yang berlangsung spontan akan terus berlangsung sampai dicapai keadaan kesetimbangan dinamis. Berbagai hasil percobaan menunjukkan bahwa dalam suatu reaksi kimia, perubahan reaktan menjadi produk pada umumnya tidak sempurna, meskipun reaksi dilakukan dalam waktu yang

relatif lama. Pada permulaan reaksi, reaktan mempunyai laju reaksi tertentu, kemudian setelah reaksi berlangsung konsentrasi akan semakin berkurang sampai akhirnya menjadi konstan. Keadaan kesetimbangan dinamis akan dicapai apabila dua proses yang berlawanan arah berlangsung dengan laju reaksi yang sama dan konsentrasi tidak lagi mengalami perubahan atau tidak ada gangguan dari luar (Nasrudin, 2004).

## 2.5 Pengendalian Korosi Menggunakan Inhibitor

Korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semuanya akan kembali ke sifat asalnya. Hal ini adalah siklus alam yang akan terus terjadi selama kesetimbangan alam belum tercapai. Namun demikian pengendalian dan pencegahan korosi harus tetap dilakukan secara maksimal, karena dilihat dari segi ekonomi dan dari segi keamanan merupakan hal yang tidak boleh ditinggalkan dan dibiarkan begitu saja (Widharto, 1999).

Secara umum suatu inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi pada lingkungan tersebut terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang lebih dari satu jenis.

Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konsituen yang agresif.

Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan tersebut terhadap suatu logam. Pada prakteknya, jumlah yang ditambahkan adalah sedikit, baik secara berangsur-angsur maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu.

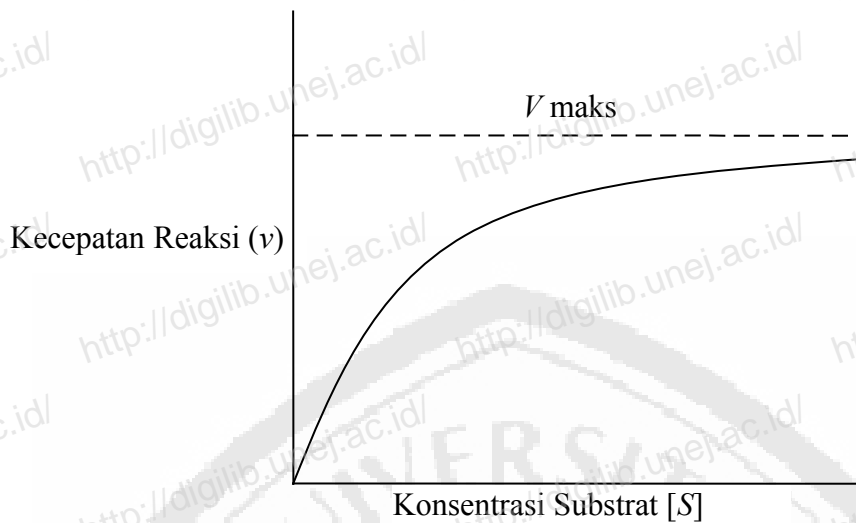
Beberapa sifat dari suatu inhibitor dalam mengurangi laju reaksi adalah sebagai berikut:

- a. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- b. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- c. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- d. Inhibitor menghilangkan sifat yang agresif dari lingkungannya.

(Surya, 2004).

## 2.6 Kinetika Michaelis Menten

Mempelajari pengaruh konsentrasi substrat pada laju reaksi adalah konsep dasar dari kinetika enzim yang merupakan alat penting untuk memahami mekanisme enzim. Namun ketika data dibangun dari percobaan dan hasilnya diplot menjadi suatu graf laju reaksi terhadap konsentrasi substrat, banyak enzim yang menghasilkan kurva hiperbolik seperti di bawah ini



Gambar 2.2 Grafik laju reaksi terhadap konsentrasi substrat

Leonor Michaelis dan Maud Menten mencoba menjelaskan fenomena ini dengan menurunkan suatu persamaan yang kemudian dikenal sebagai persamaan Michaelis Menten. Dalam reaksinya, enzim tidak langsung merubah suatu substrat menjadi produk. Sebelum menjadi produk, enzim mengikat substrat membentuk enzim substrat kompleks. Maka laju reaksi dapat dirumuskan:

$$v = \frac{v_{maks} [S]}{K + [S]}$$

dengan:

$$K = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1}$$

keterangan:

$v$  : laju reaksi,

$v_{maks}$  : laju reaksi maksimum,

$[S]$  : konsentrasi substrat,

$K$  : konstanta Michaelis Menten,

$k_1$  : tetapan laju pembentukan substrat,

$k_{-1}$  : tetapan laju penguraian substrat kompleks kembali menjadi substrat,

$k_2$  : tetapan laju pembentukan hasil reaksi.

Persamaan inilah yang dikenal sebagai persamaan kinetika Michaelis Menten (Yusuf, 2008).

## 2.7 Model

Model yang akan diturunkan dan dibahas pada bab ini lebih menitikberatkan pada mekanisme korosi dari sudut pandang Teori Keadaan Peralihan. Selain itu Persamaan Michaelis Menten juga akan digunakan dalam model karena dalam penurunannya, Michaelis Menten menggunakan mekanisme reaksi yang sama dengan yang dibahas pada tugas akhir ini, yaitu adanya keadaan peralihan sebelum menjadi hasil reaksi. Persamaan Michaelis Menten dapat digunakan dalam menjelaskan besarnya laju reaksi yang terjadi dalam sistem. Namun sebelum mengkonstruksi model, diasumsikanlah keadaan yang ada pada sistem (Yusuf, 2008).

### 2.7.1 Asumsi

Pada subbab ini, akan dipaparkan asumsi-asumsi yang dibutuhkan agar model dapat dikonstruksi dengan baik. Asumsi tersebut adalah sebagai berikut: (Yusuf, 2008)

- Luas penampang logam tetap.
- Konsentrasi NaCl tetap.
- Perubahan konsentrasi per satuan waktu dari masing-masing faktor dianggap linier.
- Logam berubah ke dalam bentuk peralihan terlebih dahulu sebelum menjadi hasil reaksi (korosi).
- Laju korosi minimum bernilai 0.
- Laju korosi maksimum bernilai 1.

- g. Laju pembentukan ion-ion logam sama dengan laju penguraian ion-ion logam kembali menjadi logam.

### 2.7.2 Pembentukan Model Laju Korosi Baja AISI 1045 Tanpa Inhibitor

Berdasarkan pada Teori Keadaan Peralihan, bahwa logam terlebih dahulu berubah menjadi ion-ion logam (keadaan peralihan) sebelum menjadi hasil reaksi. Begitu juga dalam proses korosi, logam terlebih dahulu berubah menjadi ion-ion logam (keadaan peralihan) sebelum menjadi produk terkorosi. Skema mekanisme korosi dapat digambarkan sebagai berikut:



dengan:

$L$  : Logam awal,

$N$  : ion logam,

$K$  : produk terkorosi,

$a$  : laju berkurangnya logam,

$b$  : laju berkurangnya ion-ion logam untuk kembali menjadi logam,

$c$  : laju bertambahnya produk terkorosi.

Skema (2.3) belum diketahui secara pasti satuannya, sehingga diambil satuan berupa konsentrasi pada masing-masing bagian. Maka skema (2.3) diubah menjadi:



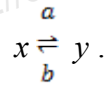
dengan:

$x$  : konsentrasi logam,

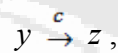
$y$  : konsentrasi ion-ion logam,

$z$  : konsentrasi produk terkorosi,

Menurut konsep kesetimbangan reaksi, skema (2.4) merupakan reaksi *reversible* (reaksi bolak-balik). Reaksi yang menunjukkan adanya reaksi bolak-balik adalah sebagai berikut:



Logam akan berubah menjadi ion-ion logam dengan laju reaksi sebesar  $a$ , sedangkan ion-ion logam bisa saja berubah kembali menjadi logam dengan laju  $a$  akan tetapi berlangsung sangat lambat. Reaksi *reversible* akan berlangsung sampai tercapainya kesetimbangan reaksi. Sedangkan reaksi yang terjadi pada ion-ion logam menjadi produk terkorosi hanya berlangsung satu arah, yaitu :



dengan laju reaksi sebesar  $c$ , dimana  $c$  merupakan nilai persamaan Michaelis Menten:

$$c = \frac{px}{r + x},$$

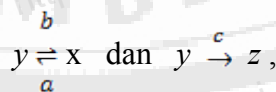
$r$  merupakan konstanta Michaelis Menten dan  $p$  adalah laju korosi maksimum yang bernilai 1 (sesuai asumsi).

Dari persamaan (2.4), untuk laju perubahan konsentrasi logam per satuan waktu dapat didefinisikan:

$$\frac{dx}{dt} = by - ax.$$

Alasannya, karena perubahan logam setiap waktunya dipengaruhi oleh laju bertambahnya ion-ion logam dan laju berkurangnya logam yang akan terkorosi. Laju-laju tersebut berbanding lurus dengan konsentrasinya.

Dari skema (2.4) diperoleh pula:



sehingga laju perubahan konsentrasi ion-ion logam kembali ke logam per satuan waktu dipengaruhi oleh laju bertambahnya logam awal, laju berkurangnya ion-ion logam, dan laju bertambahnya produk terkorosi, atau dapat dituliskan:

$$\frac{dy}{dt} = ax - by - cz.$$

Karena nilai  $z$  berbanding lurus dengan  $c$  maka nilai  $cz$  dapat dianggap sebagai nilai  $c$  saja. Laju perubahan konsentrasi ion-ion logam kembali ke logam dapat dituliskan:



$$\frac{dy}{dt} = ax - by - \frac{px}{r+x}.$$

Laju bertambahnya  $z$  (konsentrasi produk terkorosi) maka dapat disamakan dengan nilai  $ck$  karena sama-sama laju terbentuknya produk reaksi ataupun korosi. Maka:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{px}{r+x}.$$

Dari penjelasan di atas didapatkan model laju korosi logam yang merupakan sistem persamaan diferensial biasa orde satu, yaitu: (yusuf, 2008)

$$\frac{dx}{dt} = by - ax, \quad (2.5)$$

$$\frac{dy}{dt} = ax - by - \frac{px}{r+x}, \quad (2.6)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{px}{r+x}, \quad (2.7)$$

dengan kondisi awal:

$$x(0) = 1,$$

$$y(0) = 1,$$

$$z(0) = 1,$$

keterangan:

$x$  : konsentrasi logam dalam larutan (variabel),

$y$  : konsentrasi ion-ion logam (variabel),

$z$  : konsentrasi produk terkorosi (variabel),

$a$  : laju berkurangnya logam (parameter),

$b$  : laju berkurangnya ion-ion untuk kembali menjadi logam (parameter),

$p$  : laju reaksi maksimum (parameter) bernilai 1,

$r$  : konstanta Michaelis Menten (parameter),

$t$  : waktu.

### 2.7.3 Pembentukan Model Laju Korosi Baja AISI 1045 Menggunakan Inhibitor

Laju perubahan konsentrasi logam per satuan waktu tidak dipengaruhi oleh adanya penambahan inhibitor karena ion-ion logam berfungsi sebagai pusat katalis primer. Jadi setelah adanya ion-ion logam baru akan ada pengaruh dari inhibitor yang dimasukkan. Maka:

$$\frac{dx}{dt} = by - ax. \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) sama dengan laju perubahan konsentrasi logam per satuan waktu tanpa adanya inhibitor.

Dalam reaksinya, inhibitor awal bekerja setelah adanya ion-ion logam dan kemudian inhibitor menjadi suatu produk korosi. Hal ini sama dengan produk reaksi yang dijelaskan pada Kinetika Michaelis Menten, hanya saja konsentrasi substrat diganti dengan konsentrasi inhibitor yaitu  $m$ . Maka laju berkurangnya inhibitor per satuan waktu adalah:

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{pm}{r+m}.$$

Tanda ( $\hat{H}$ ) berarti semakin lama berjalannya waktu konsentrasi inhibitor akan semakin berkurang.

Laju berkurangnya ion-ion logam menjadi logam menggunakan inhibitor nilainya akan sama dengan laju tanpa inhibitor hanya saja lajunya akan diperlambat oleh adanya inhibitor, sehingga:

$$\frac{dy}{dt} = ax - by - \frac{px}{r+x} + \frac{pm}{r+m}.$$

Tanda (+) pada persamaan di atas menjelaskan bahwa inhibitor fungsinya menghambat pembentukan ion-ion logam bukannya mempercepat.

Laju perubahan konsentrasi produk korosi per satuan waktu yang dipengaruhi oleh reaksi logam dengan lingkungan dan reaksi inhibitor dengan lingkungan. Faktor inhibitor bernilai ( $\hat{H}$ ) karena konsentrasi produk korosi berkurang seiring penambahan

inhibitor ke dalam sistem. Sehingga laju perubahan konsentrasi produk korosi dapat dituliskan:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{px}{r+x} - \frac{pm}{r+m}.$$

Dari penjelasan di atas didapatkan model laju korosi logam menggunakan inhibitor yang merupakan sistem persamaan diferensial biasa orde satu, yaitu: (Yusuf, 2008)

$$\frac{dx}{dt} = by - ax, \quad (2.10)$$

$$\frac{dy}{dt} = ax - by - \frac{px}{r+x} + \frac{pm}{r+m}, \quad (2.11)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{px}{r+x} - \frac{pm}{r+m}, \quad (2.12)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{pm}{r+m} \quad (2.13)$$

dengan kondisi awal:

$$x(0) = 1,$$

$$y(0) = 1,$$

$$z(0) = 0,$$

$$m(0) = 1,$$

keterangan:

$x$  : konsentrasi logam dalam larutan (variabel),

$y$  : konsentrasi ion-ion logam (variabel),

$z$  : konsentrasi produk terkorosi (variabel),

$m$  : konsentrasi inhibitor (variabel),

$a$  : laju berkurangnya logam (parameter),

$b$  : laju berkurangnya ion-ion untuk kembali menjadi logam (parameter),

$p$  : laju reaksi maksimum (parameter) bernilai 1,

$r$  : konstanta Michaelis Menten (parameter),

$t$  : waktu.

## 2.8 Persamaan Diferensial Biasa

Persamaan diferensial adalah persamaan yang mengandung turunan-turunan dari suatu fungsi yang tidak diketahui yang dinamakan  $y(x)$ . Sebagai contoh, jika laju pertumbuhan suatu populasi ( $y'$ ) sama dengan jumlah populasi ( $y$ ), maka model populasi tersebut adalah:

$$y' = y$$

dengan:

$$y' = \frac{dy}{dx},$$

dengan  $x$  merupakan waktu.

Persamaan diferensial biasa diartikan sebagai suatu persamaan yang melibatkan turunan pertama atau lebih dari fungsi sembarang  $y$  terhadap peubah  $x$ . Persamaan ini dapat pula melibatkan  $y$  itu sendiri, fungsi  $x$  yang diberikan dan konstanta. Contoh dari persamaan diferensial biasa adalah sebagai berikut:

a.  $y' = \cos x,$

b.  $y'' + 4y = 0,$

c.  $x^2 y'''' y' + 2e^x y'' = (x^2 + 2)y^2.$

Bentuk umum persamaan diferensial biasa (PDB) linier orde ke- $n$  adalah:

$$a_n(x)y^{(n)} + \dots + a_1(x)y' + a_0(x)y = f(x),$$

dengan:

$$a_n \neq 0, a_n(x), \dots, a_0(x).$$

$a_n$  disebut koefisien persamaan diferensial, sedangkan bila tidak dapat dinyatakan seperti bentuk di atas disebut persamaan diferensial taklinier.

Seringkali persamaan diferensial dilengkapi nilai awal atau nilai batas. Masalah persamaan diferensial yang dilengkapi dengan suatu nilai awal disebut masalah nilai awal. Sedangkan masalah persamaan diferensial yang dilengkapi dengan suatu nilai batas disebut masalah nilai batas.

Terdapat beberapa metode untuk menyelesaikan suatu masalah nilai awal atau nilai batas. Metode tersebut adalah metode secara analitik dan numerik. Contoh dari

metode secara analitik adalah metode pemisahan variabel, metode ini hanya untuk persamaan diferensial yang dapat dipisah. Sedangkan secara numerik dapat digunakan metode sebagai berikut: (Ayres,1995)

- Metode Euler (eksplisit).
- Penyempurnaan atau perbaikan metode Euler (Metode Heun dan Metode titik tengah).
- Metode Runge-Kutta.

### 2.8.1 Persamaan Diferensial Linier

Persamaan diferensial Linier adalah persamaan diferensial biasa linier orde- $n$  dengan variabel terikat  $y$  dan variabel bebas  $x$  yaitu persamaan yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$a_0(x) \frac{d^n y}{dx^n} + a_1(x) \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \dots + a_{n-1}(x) \frac{dy}{dx} + a_n(x)y = b(x).$$

Dari persamaan di atas persamaan diferensial biasa orde  $n$  dikatakan linier jika mempunyai cirri-ciri sebagai berikut:

- Variabel terikat  $y$  dan derivatifnya hanya berderajat satu.
- Tidak ada perkalian antara  $y$  dan derivatifnya serta antara derivatif.

Contoh dari persamaan diferensial linier adalah sebagai berikut: (Pamuntjak, 1990)

$$a. \frac{d^2 y}{dx^2} + 5 \frac{dy}{dx} + 6y = 0,$$

$$b. \frac{d^4 y}{dx^4} + x^2 \frac{d^3 y}{dx^3} + x^3 \frac{dy}{dx} = xe^x.$$

### 2.8.2 Persamaan Diferensial Non Linier

Persamaan diferensial non linier adalah persamaan diferensial yang memuat variabel tak bebas dan turunannya yang berderajat lebih dari satu. Persamaan

diferensial non linier juga memuat perkalian antara variabel tak bebas dan turunannya (Ross, 1984:5).

Contoh dari persamaan diferensial non linier adalah sebagai berikut:

a.  $\frac{d^2y}{dx^2} + 5 \frac{dy}{dx} + 6y^2 = 0$ ,

b.  $\frac{d^2y}{dx^2} + 5 \left(\frac{dy}{dx}\right)^3 + 6y = 0$ ,

c.  $\frac{d^2y}{dx^2} + 5y \frac{dy}{dx} + 6y = 0$ .

## 2.9 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan (aritmatik). Berbagai permasalahan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dapat digambarkan dalam bentuk matematik. Apabila persamaan tersebut mempunyai bentuk sederhana, penyelesaiannya dapat dilakukan secara analitik, namun bila suatu persamaan tersebut besar, tidak linier, dan sangat kompleks, maka penyelesaiannya dilakukan secara numerik. Hasil dari penyelesaian numerik merupakan nilai perkiraan atau pendekatan dari penyelesaian analitik atau eksak. Nilai kesalahan tersebut harus cukup kecil terhadap tingkat kesalahan yang ditetapkan (Triadmodjo, 2002: 1-2).

## 2.11 Metode Prediktor-Korektor

Metode Prediktor-Korektor (*Adams-Basforth-Moulton*) merupakan salah satu metode numerik banyak langkah. Metode ini dinamakan metode banyak langkah karena metode ini menggunakan lebih dari satu nilai titik sebelumnya untuk menentukan nilai pendekatan titik berikutnya. Metode ini dapat digunakan untuk mengembangkan keakuratan dalam menentukan solusi numerik suatu turunan. Akan tetapi metode ini tidak mempunyai nilai di titik sebelumnya yang akan digunakan

untuk menentukan nilai pendekatan di titik selanjutnya. Pada skripsi ini, akan digunakan metode Euler dalam menentukan nilai awal.

Metode Euler dapat digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial. Penyelesaian dengan metode Euler tidak perlu mencari turunan-turunan fungsi terlebih dahulu. Metode ini juga dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah nilai awal yang berbentuk:

$$y'(x) = f(x, y(x)),$$

dengan:

$$y(x_0) = y_0,$$

$$x_0 \leq x \leq b,$$

$$y_n = y(x_n).$$

Dengan memilih suatu ukuran langkah  $h$  yang tetap, rumus metode Euler adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + h \cdot f(x_i, y_i),$$

dengan:

$y_{i+1}$  : hampiran sekarang,

$y_i$  : hampiran sebelumnya,

$h$  : ukuran langkah.

Dalam metode Euler penyelesaian yang diperoleh berupa urutan nilai  $y_i$  untuk  $x = x_i$  dengan  $i = 0, 1, 2, \dots, n + 1$ . Untuk masalah nilai awal yang berbentuk:

$$x' = f(t, x, y),$$

$$y' = g(t, x, y),$$

$$x(t_0) = x_0,$$

$$y(t_0) = y_0.$$

Maka Rumus Euler untuk sistem, berbentuk sebagai berikut:

$$x_{i+1} = x_i + f(t_i, x_i, y_i)h, \quad (2.15)$$

dimana  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ,

$$y_{i+1} = y_i + g(t_i, x_i, y_i)h, \quad (2.15)$$

dimana  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ,

dengan:

$$t_{i+1} = t_i + h.$$

Terdapat dua bagian dalam metode Prediktor-Korektor, yaitu Prediktor dan Korektor. Bagian Prediktor digunakan untuk memprediksi nilai dari suatu fungsi yang tidak diketahui pada titik tertentu. Sedangkan bagian Korektor digunakan untuk mengoreksi atau mengembangkan keakuratan dari hasil yang sudah diprediksi oleh Prediktor (McCuen, 1996).

Persamaan diferensial biasa yang berbentuk:

$$y' = f(x, y),$$

dimana:

$$a \leq x \leq b,$$

$$y(a) = \alpha,$$

dapat diselesaikan dengan metode banyak langkah dengan cara menentukan pendekatan nilai  $y_{i+1}$  pada titik  $x_{i+1}$  yang diwakili persamaan berikut:

$$y_{i+1} = a_{m-1}y_i + a_{m-2}y_{i-1} + \dots + a_0y_{i+1-m} + h(b_m f(x_{i+1}, y_{i+1}) + b_{m-1}f(x_i, y_i) + \dots + b_0 f(x_{i+1-m}, y_{i+1-m})), \quad (2.17)$$

dengan  $m$  adalah bilangan bulat lebih besar dari 1,  $i = m - 1, 1, \dots, N - 1$ , dan nilai awal:

$$y_0 = \alpha, y_1 = \alpha_1, y_2 = \alpha_2, \dots, y_{m-1} = \alpha_{m-1},$$

$$\text{serta } h = \frac{(b - a)}{N}.$$

Jika  $b_m = 0$ , maka persamaan (2.17) disebut persamaan eksplisit, tapi jika  $b_m \neq 0$  maka disebut persamaan implisit (Richard, 1989).

### 2.11.1 Adams-Bashforth Method (Prediktor)



Diantara metode banyak langkah implisit yang paling terkenal adalah *Adams-Bashforth Method*. Jumlah nilai awal yang diperlukan pada metode ini sama dengan jumlah ordenya. Untuk Metode *Adams-Bashforth* orde dua diberikan rumus:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [3f_i - f_{i-1}],$$

dengan:

$y_0$  : kondisi awal dari persamaan diferensial,

$y_1$  : ditentukan dari metode satu langkah dengan menggunakan metode Euler,

$i = 1, \dots, n - 1$ .

Metode Adams-Bashforth orde tiga diberikan rumus:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{12} [23f_i - 16f_{i-1} + 5f_{i-2}].$$

Dengan menggunakan pendekatan beda hingga pada turunan di ruas kanan maka berbagai persamaan eksplisit atau Prediktor (*Adams-Bashforth*) dapat dicari persamaan dan kesalahan pemotongannya (Chapra, 2002). Persamaan Prediktor Orde 2 adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [3f_i - f_{i-1}] + \frac{5}{12} h^3 y'''(\xi). \quad (2.18)$$

Sedangkan persamaan Prediktor Orde 3 adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{12} [23f_i - 16f_{i-1} + 5f_{i-2}] + \frac{3}{8} h^4 y^{IV}(\xi), \quad (2.19)$$

dimana,

$i = 1, 2, \dots, N$ ,

$x_{i-1} \leq \xi \leq x_{i+1}$  (Richard, 1989).

### 2.11.2 Adams-Moulton Method (Korektor)

Metode Korektor digunakan untuk mengoreksi atau mengembangkan keakuratan pendekatan nilai suatu fungsi pada titik tertentu yang sudah diprediksi atau dicari oleh Prediktor.

Metode *Adams-Moulton* orde dua adalah metode satu langkah sehingga  $y_0$  merupakan kondisi awal dari persamaan diferensial. Persamaan *Adams-Moulton* orde 2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f_{i+1} + f_i],$$

untuk  $i = 0, 1, \dots, n - 1$ .

Metode *Adams-Moulton* orde tiga adalah metode dua langkah sehingga  $y_0$  merupakan kondisi awal dari persamaan diferensial dan  $y_1$  ditentukan dari metode satu langkah. Persamaan *Adams-Moulton* orde 3 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{12} [5f_{i+1} + 8f_i - f_{i-1}],$$

untuk  $i = 0, 1, \dots, n - 1$ .

Dengan menggunakan pendekatan beda hingga pada turunan di ruas kanan maka berbagai persamaan implisit atau Korektor (*Adams-Moulton*) dapat dicari persamaan dan kesalahan pemotongannya (Chapra, 2002). Persamaan Korektor orde 2 adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f_{i+1} + f_i] - \frac{1}{12} y'''(\xi) h^3. \quad (2.20)$$

Sedangkan persamaan Korektor orde 3 adalah sebagai berikut:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{12} [5f_{i+1} + 8f_i - f_{i-1}] - \frac{1}{24} y''''(\xi) h^4, \quad (2.21)$$

dimana  $i = 1, 2, \dots, N$ ,

$x_{i-1} \leq \xi \leq x_{i+1}$  (Richard, 1989).

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Data

Data yang digunakan dalam skripsi ini berupa data sekunder yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan oleh Sigit Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember mengenai laju korosi. Dari beberapa kali percobaan, didapatkanlah data-data seperti pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Data percobaan laju korosi

Salinitas Air laut	Laju Korosi Tanpa Inhibitor (MPY)	Laju Korosi Menggunakan Inhibitor (MPY)
33 %	5,0556	6,1093
	5,0556	4,9426
	5,0556	4,2428
	5,0556	2,6418
	5,0556	2,0753
35 %	5,3040	6,5157
	5,3040	4,8021
	5,3040	3,6564
	5,3040	2,7972
	5,3040	2,5054

Sumber : Sigit (2009)

Pada tabel 3.1 menunjukkan besarnya laju korosi pada masing-masing salinitas yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Pada masing-masing salinitas akan dicari laju korosi rata-rata sebagai nilai parameter  $c$ . Parameter  $c$  berfungsi untuk menentukan nilai  $r$ , yaitu  $(b+c)/a$ .

### 3.2 Penyelesaian Solusi Model Dengan Metode Prediktor-Korektor

Program yang digunakan untuk mencari solusi pada model laju korosi adalah dengan menerapkan metode Prediktor-Korektor. Solusi tersebut berupa grafik hubungan antara konsentrasi logam terkorosi, konsentrasi produk terkorosi dan konsentrasi inhibitor terhadap waktu. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam menyelesaikan model menggunakan metode Prediktor-Korektor:

a. Menentukan titik awal

Penentuan titik awal dilakukan menggunakan metode Euler dengan rumus sebagai berikut:

$$v_{i+1} = v_i + f(t_i, x_i, y_i)h,$$

dengan:

$$i = 0, 1, 2, \dots, n,$$

$v$  = variabel (yaitu  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dan  $m$ ),

$f$  = fungsi dari persamaan diferensial,

$t$  = waktu,

$x$  = konsentrasi logam awal,

$y$  = konsentrasi ion logam,

$z$  = konsentrasi produk terkorosi,

$m$  = konsentrasi inhibitor,

$h$  = langkah (dalam penelitian ini bernilai 0,003).

b. Memprediksi nilai fungsi menggunakan metode Prediktor

Rumus dari metode Prediktor adalah sebagai berikut:

$$v_{i+1} = v_i + \frac{h}{12} [23f_i - 16f_{i-1} + 5f_{i-2}]$$

c. Mengkoreksi keakuratan nilai fungsi menggunakan metode Korektor

Rumus dari metode Korektor adalah sebagai berikut:

$$v_{i+1} = v_i + \frac{h}{12} [5f_{i+1} + 8f_i - f_{i-1}].$$

### 3.3 Pembuatan Program

*Software* yang akan digunakan dalam membuat program adalah *software* Matlab R2009. Langkah-langkah dalam pembuatan program adalah sebagai berikut:

1. Membuat supprogram untuk laju korosi tanpa menggunakan inhibitor
2. Membuat supprogram untuk laju korosi menggunakan inhibitor
3. Membuat GUI (*Guide Use Interface*)

### 3.4 Simulasi Program

Setelah pembuatan program selesai, langkah selanjutnya yaitu mensimulasi parameter-parameter. Pada penelitian ini, simulasi parameter dilakukan dengan dua tahap, yaitu:

#### 3.4.1 Simulasi Menentukan Nilai Parameter Yang Cocok Pada Model

Pada simulasi ini, dilakukan dengan cara mengubah-ubah beberapa nilai parameter sehingga didapatkan parameter yang cocok sesuai teori pada laju korosi. Parameter-parameter yang disimulasikan pada model adalah sebagai berikut:

- a.  $a$  : laju berkurangnya logam,
- b.  $b$  : laju berkurangnya ion logam kembali menjadi logam,
- c.  $p$  : laju korosi maksimum,
- d.  $c$  : laju rata-rata percobaan korosi dibagi dua belas.

Parameter  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  digunakan untuk mencari konstanta Michaelis Menten pada model, yaitu:

$$r = \frac{b + c}{a}$$

Beberapa nilai parameter yang disimulasi adalah sebagai berikut:

1. Pada Salinitas 33%

Tabel 3.2 Nilai parameter pada salinitas 33%

Konsentrasi inhibitor (%)	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>c</i>
0	0,05	0,05	1	0,4213
	0,15	0,15	1	0,4213
	0,25	0,25	1	0,4213
	0,57	0,57	1	0,4213
0,3	0,05	0,05	1	0,3335
	0,1	0,1	1	0,3335
	0,2	0,2	1	0,3335
	0,48	0,48	1	0,3335
0,5	0,05	0,05	1	0,3335
	0,1	0,1	1	0,3335
	0,2	0,2	1	0,3335
	0,49	0,49	1	0,3335
0,7	0,05	0,05	1	0,3335
	0,1	0,1	1	0,3335
	0,15	0,15	1	0,3335
	0,51	0,51	1	0,3335
0,9	0,05	0,05	1	0,3335
	0,1	0,1	1	0,3335
	0,2	0,2	1	0,3335
	0,54	0,54	1	0,3335

b. Pada Salinitas 35%

Tabel 3.3 Nilai parameter yang akan disimulasi pada salinitas 35%

Konsentrasi inhibitor (%)	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>C</i>
0	0,09	0,09	1	0,4420
	0,15	0,15	1	0,4420
	0,2	0,2	1	0,4420
	0,55	0,55	1	0,4420
0,3	0,03	0,03	1	0,3379
	0,07	0,07	1	0,3379
	0,15	0,15	1	0,3379

	0,41	0,41	1	0,3379
0,5	0,05	0,05	1	0,3379
	0,1	0,1	1	0,3379
	0,2	0,2	1	0,3379
	0,52	0,52	1	0,3379
0,7	0,05	0,05	1	0,3379
	0,1	0,1	1	0,3379
	0,2	0,2	1	0,3379
	0,61	0,61	1	0,3379
0,9	0,05	0,05	1	0,3379
	0,15	0,15	1	0,3379
	0,25	0,25	1	0,3379
	0,47	0,47	1	0,3379

#### 3.4.2 Simulasi Menentukan Waktu Stabil Menggunakan Nilai Parameter Yang Cocok

Setelah menentukan parameter  $a$  dan  $b$  yang cocok pada model, maka parameter tersebut akan dsimulasi untuk memperoleh waktu stabil. Waktu stabil adalah waktu ketika semua logam telah membentuk serbuk karat dan mengendap di dasar larutan percobaan.

#### 3.4.3 Simulasi Menentukan Laju Perlambatan Korosi Akibat Pengaruh Inhibitor

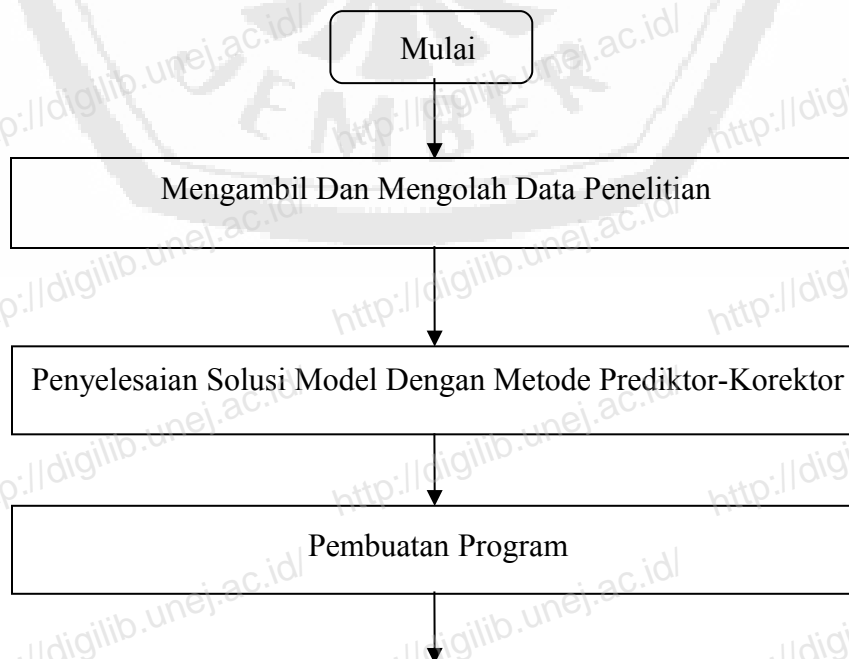
Laju perlambatan dari peristiwa korosi akibat adanya penambahan inhibitor dapat dianalisis melalui laju berkurangnya inhibitor. Hal ini dikarenakan saat inhibitor telah melapisi seluruh permukaan logam, ion-ion dari air laut akan terlebih dahulu mengkorosi lapisan inhibitor sebelum mengkorosi permukaan baja.

### 3.5 Analisis Program

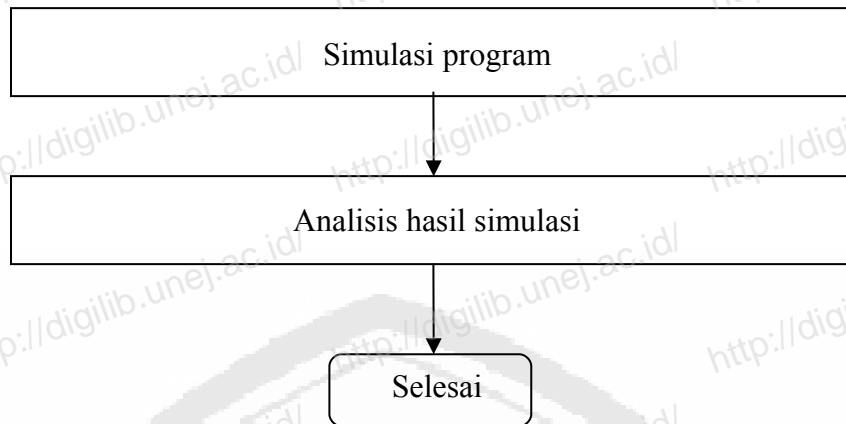
Berdasarkan skenario yang telah dilakukan pada subbab 3.3, maka akan dievaluasi mengenai waktu stabil dari suatu logam yang terkorosi, sehingga

diharapkan hasil perbandingan antara logam yang terkorosi dengan menggunakan inhibitor dan tanpa inhibitor.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, secara sistematis dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.







Gambar 3.1 Skema Metode Penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan yang telah diturunkan pada bab 3 merupakan persamaan diferensial biasa non linier orde satu yang secara umum solusinya sulit diselesaikan menggunakan metode analitik. Oleh karena itu persamaan akan diselesaikan menggunakan metode numerik, yaitu metode Prediktor-Korektor menggunakan MATLAB R2009. Metode Prediktor-Korektor digunakan untuk mencari solusi berupa grafik hubungan antara konsentrasi logam terkorosi dengan konsentrasi produk terkorosi terhadap waktu. Selain itu, metode Prediktor-Korektor digunakan untuk mencari solusi laju inhibitor yang merupakan laju perlambatan dari korosi.

### 4.1 Simulasi Menentukan Nilai Parameter Yang Cocok Pada Model

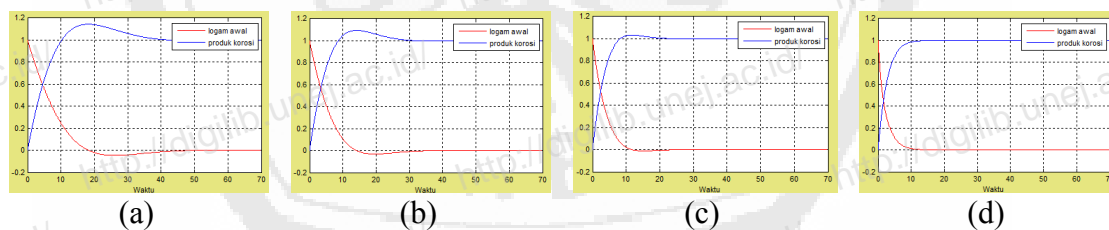
Pengambilan nilai parameter dilakukan dengan cara manual yaitu dengan memasukkan satu persatu nilai yang mungkin sampai membentuk suatu grafik yang sesuai dengan konsep kimia mengenai laju korosi. Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $p$  tidak mungkin bernilai negatif karena reaksi pembentukan produk terkorosi berlangsung satu arah yaitu hanyalah reaksi penambahan konsentrasi. Demikian pula parameter  $r$  yang merupakan konstanta Michaelis Menten akan bernilai non negatif karena didapatkan dari  $(b+c)/a$ . Parameter  $p$  yang digunakan untuk simulasi model adalah 1 yaitu sesuai dengan asumsi.

#### 4.1.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%

Perubahan parameter  $a$  dilakukan untuk beberapa nilai konsentrasi inhibitor ( $m$ ), yaitu  $m = 0$ ;  $m = 0,3$ ;  $m = 0,5$ ;  $m = 0,7$ ; dan  $m = 0,9$  yang menunjukkan bahwa untuk nilai  $a$  yang berbeda-beda, terjadi perubahan yang cukup signifikan pada konsentrasi logam awal dan produk terkorosi.

##### 1. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0% (Tanpa Inhibitor)

Simulasi pencarian parameter  $a$  tanpa menggunakan inhibitor dapat ditunjukkan sebagai pada Gambar 4.1 berikut ini.

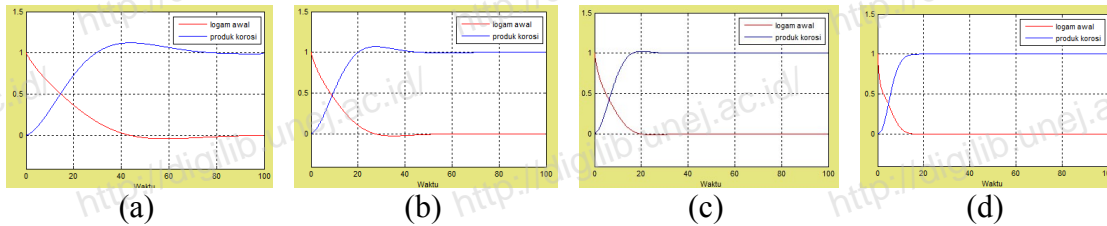


Gambar 4.1 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,15$ ; (c)  $a = 0,25$ ; (d)  $a = 0,57$

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,57$  karena pada grafik (d) sudah tidak ada lagi laju yang naik turun.

##### 2. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,9%

Simulasi pencarian parameter  $a$  menggunakan inhibitor 0,9% dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,54$

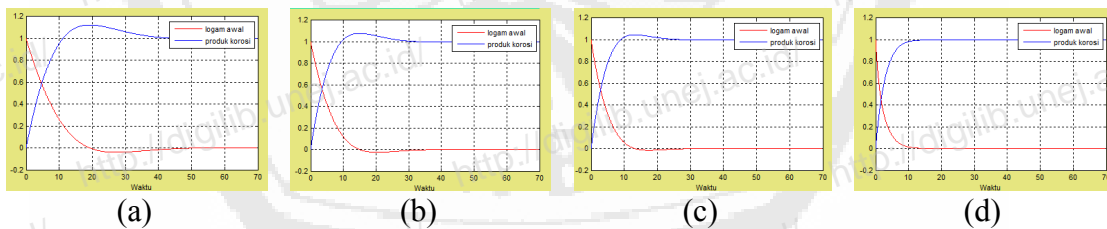
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,54$  karena pada grafik (d) sudah tidak ada lagi laju yang naik turun.

#### 4.1.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%

Perubahan parameter  $a$  dilakukan untuk beberapa nilai konsentrasi inhibitor ( $m$ ), yaitu  $m = 0$ ;  $m = 0,3$ ;  $m = 0,5$ ;  $m = 0,7$ ; dan  $m = 0,9$  yang menunjukkan bahwa untuk nilai  $a$  yang berbeda-beda, terjadi perubahan yang cukup signifikan pada konsentrasi logam awal dan produk terkorosi.

##### 1. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0% (Tanpa Inhibitor)

Simulasi pencarian parameter  $a$  tanpa menggunakan inhibitor dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini.

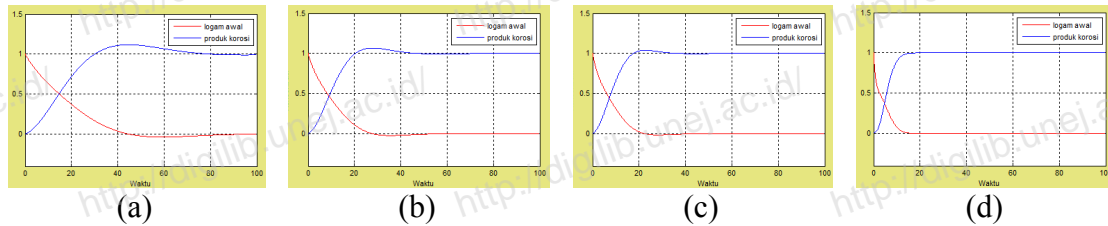


Gambar 4.3 (a)  $a = 0,1$ ; (b)  $a = 0,15$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,55$

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,55$  karena pada grafik (d) sudah tidak ada lagi laju yang naik turun.

##### 2. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,9%

Simulasi pencarian parameter  $a$  tanpa menggunakan inhibitor dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,15$ ; (d)  $a = 0,54$

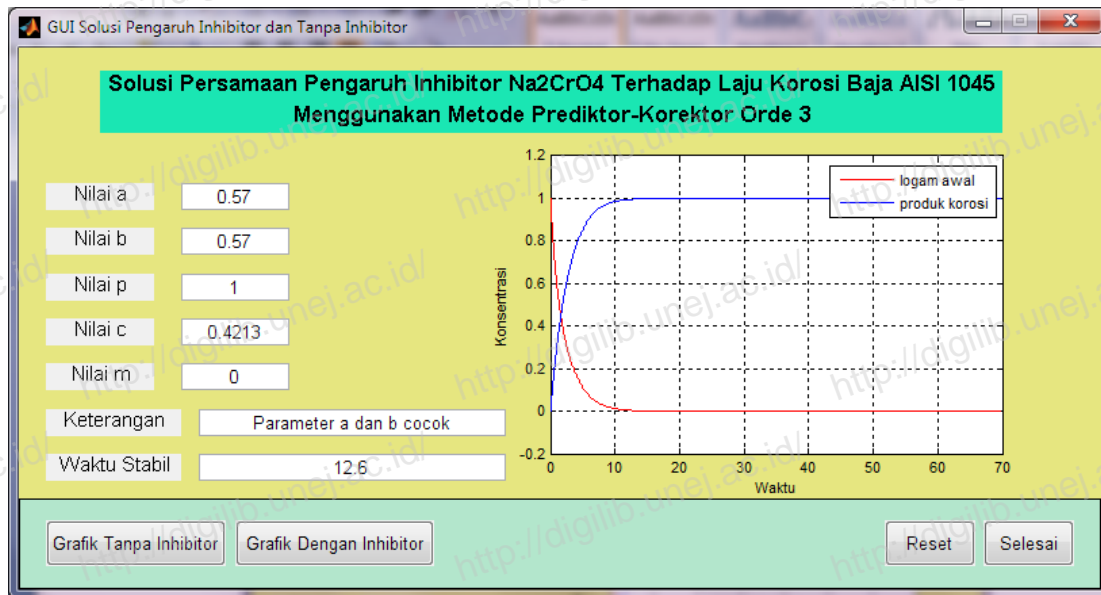
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,55$  karena pada grafik (d) sudah tidak ada lagi laju yang naik turun.

## 4.2 Simulasi Menentukan Waktu Stabil Menggunakan Nilai Parameter Yang Cocok

Nilai parameter  $a$  yang telah didapatkan melalui simulasi, akan dicari nilai yang paling besar untuk digunakan pada simulasi menentukan waktu stabil. Hal ini dikarenakan agar setiap simulasi pada masing-masing salinitas memiliki parameter  $a$  yang sama dan memenuhi syarat model. Pada simulasi menentukan waktu stabil menggunakan nilai parameter yang cocok, akan diidentifikasi waktu ketika suatu logam berbentuk baja telah berubah menjadi produk terkorosi(karat). Waktu stabil menunjukkan bahwa seluruh logam telah teroksidasi sehingga menghasilkan karat besi yang mengendap di dasar wadah larutan berwarna kecoklatan.

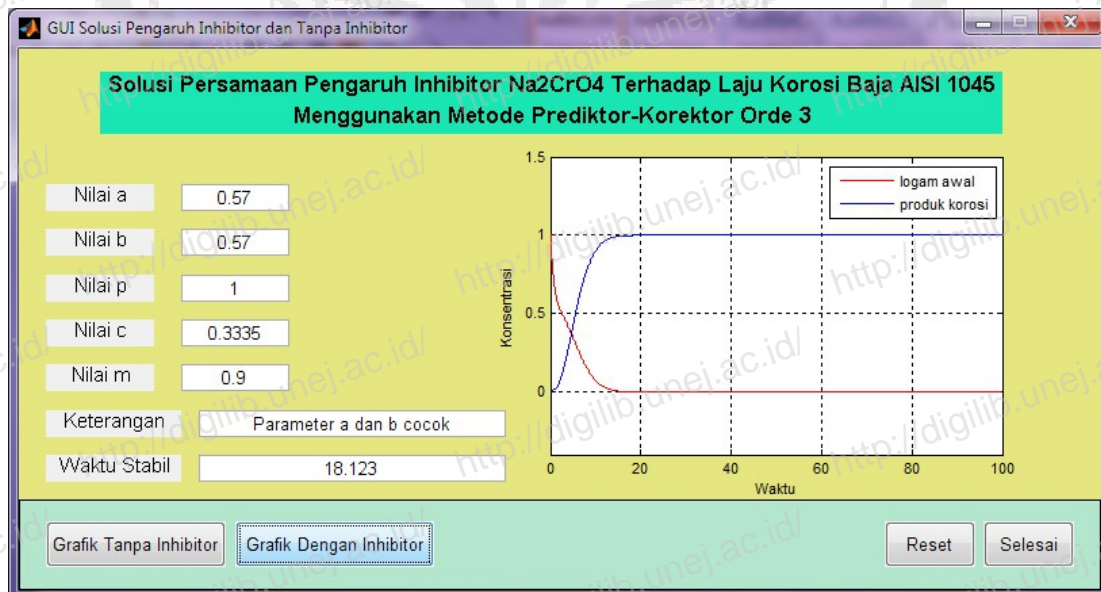
### 4.2.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%

Parameter  $a$  yang cocok telah didapatkan dari simulasi pada subbab 4.1 adalah  $a = 0,57$ , sehingga dapat digunakan untuk simulasi menentukan waktu stabil. Simulasi menentukan waktu stabil pada model tanpa inhibitor bersalinitas 33% dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Model tanpa inhibitor pada salinitas 33% dengan  $a = 0,57$

Sedangkan simulasi menentukan waktu stabil pada model menggunakan inhibitor inhibitor 0,9% dan bersalinitas 33% dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Model menggunakan inhibitor 0,9% pada salinitas 33% dengan  $a = 0,57$

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, konsentrasi logam awal akan turun dan konsentrasi hasil reaksi (produk terkorosi) akan semakin tinggi. Disini terlihat bahwa senyawa korosi terus bertambah dan akan stabil ketika senyawa logam tidak lagi mengalami korosi. Proses kestabilan laju korosi tanpa inhibitor terjadi pada  $t = 15,357$  bulan dan kestabilan menggunakan inhibitor 0,9% terjadi pada  $t = 18,123$  bulan, hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut, semua logam telah hancur menjadi serbuk karat berwarna kecoklatan. Proses kestabilan ini sama halnya dengan proses kesetimbangan kimia dimana tidak akan terjadi perubahan sifat makroskopis zat, akan tetapi reaksi penguraian logam awal dan pembentukan produk terkorosi akan tetap berlangsung. Dibandingkan dengan waktu kestabilan laju korosi tanpa menggunakan inhibitor, ternyata penambahan inhibitor memberikan pengaruh positif kepada sistem yaitu memperlambat laju korosi sebesar 2,766 bulan. Hal ini tentu saja akan menguntungkan pengguna baja AISI 1045, sehingga baja dapat dimanfaatkan lebih lama sampai benar-benar habis.

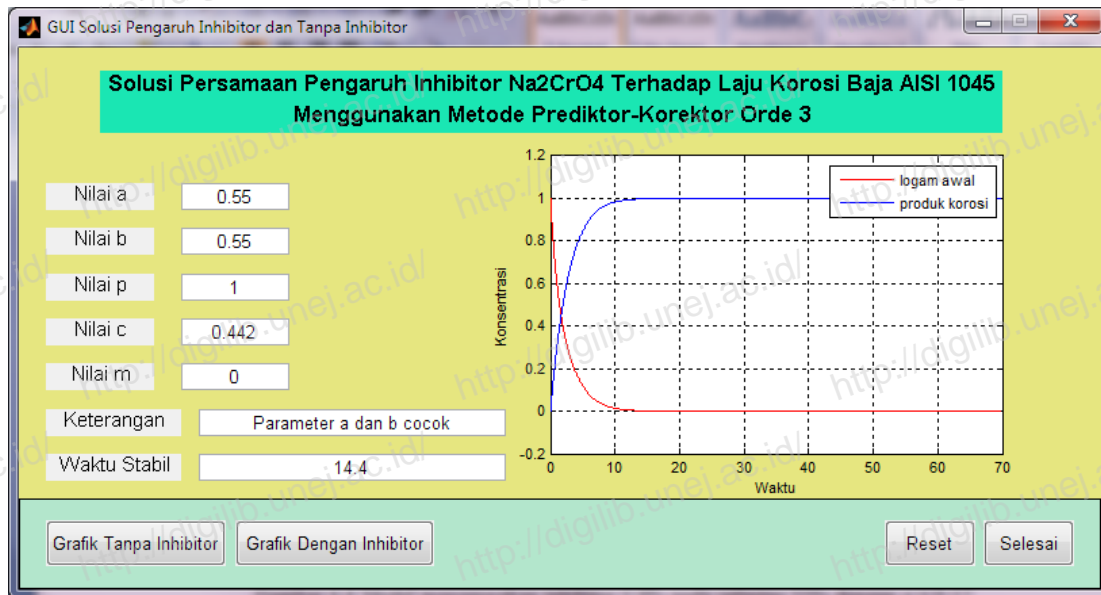
Waktu stabil dari suatu proses korosi pada salinitas 33% dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Waktu stabil baja pada salinitas 33%

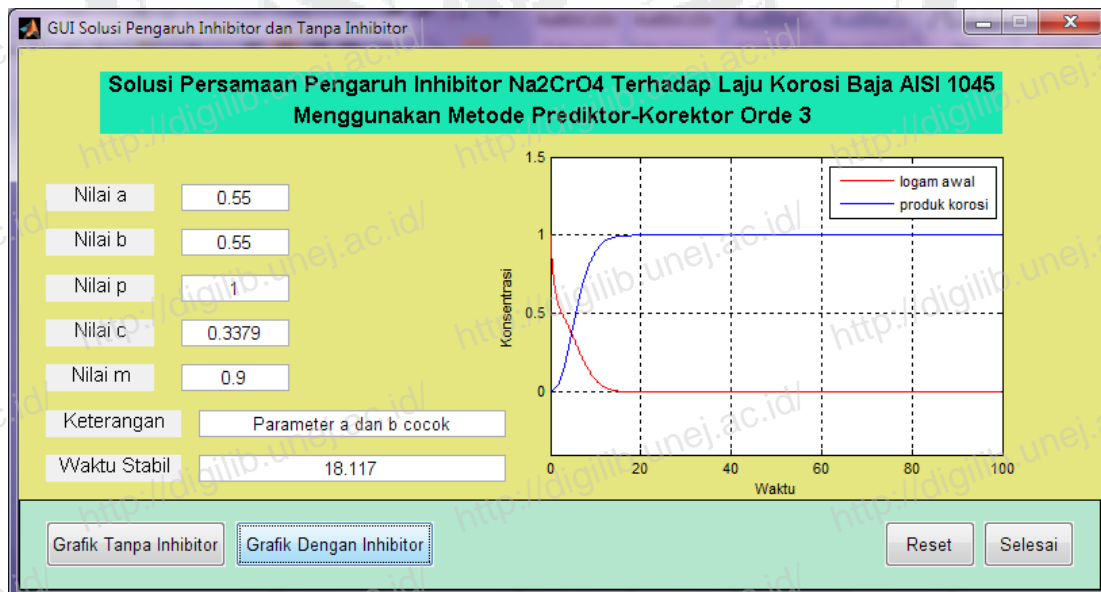
Konsentrasi inhibitor (%)	Waktu stabil
tanpa inhibitor	15,357
0.3	16.101
0.5	16,926
0.7	16,932
0.9	18,123

#### 4.2.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%

Parameter  $a$  yang cocok telah didapatkan dari simulasi pada subbab 4.1 adalah  $a = 0,55$ , sehingga dapat digunakan untuk simulasi menentukan waktu stabil. Simulasi menentukan waktu stabil pada model tanpa inhibitor bersalinitas 35% dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Model tanpa inhibitor pada salinitas 35% dengan  $a = 0,55$



Gambar 4.8 Model menggunakan inhibitor 0,9% pada salinitas 35% dengan  $a = 0,54$

Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, konsentrasi logam awal akan turun dan konsentrasi hasil reaksi (produk terkorosi) akan semakin tinggi. Proses kestabilan laju korosi tanpa inhibitor terjadi pada  $t = 15,855$  bulan dan kestabilan menggunakan inhibitor 0,9% terjadi pada  $t = 18,117$  bulan, hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut semua logam telah hancur menjadi serbuk karat berwarna kecoklatan. Dibandingkan dengan waktu kestabilan laju korosi tanpa menggunakan inhibitor, ternyata penambahan inhibitor memberikan pengaruh positif kepada sistem yaitu memperlambat laju korosi sebesar 2,262 bulan. Hal ini tentu saja akan menguntungkan pengguna baja AISI 1045, sehingga baja dapat dimanfaatkan lebih lama sampai benar-benar habis.

Waktu stabil dari suatu proses korosi pada salinitas 33% dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Waktu stabil baja pada salinitas 35%

Konsentrasi inhibitor (%)	Waktu stabil
tanpa inhibitor	15,855
0.3	16.02
0.5	16,887
0.7	17,55
0.9	18,117

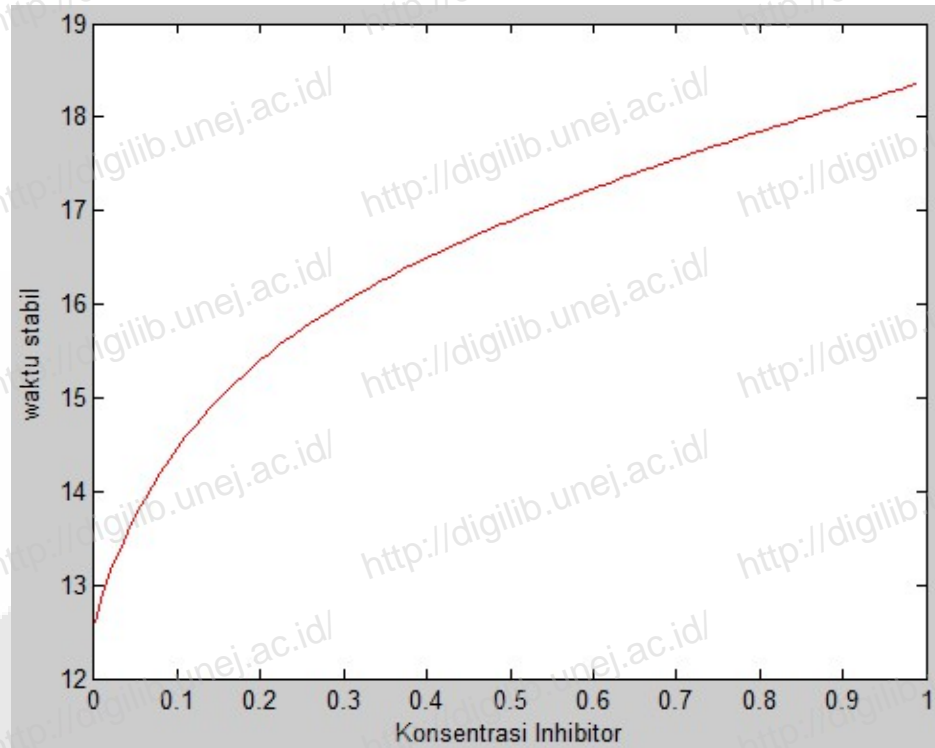
#### 4.3 Simulasi Menentukan Laju Perlambatan Korosi Akibat Pengaruh Inhibitor

Laju perlambatan dari proses korosi dapat ditentukan melalui laju inhibitor, karena ion-ion air laut akan mengkorosi lapisan inhibitor terlebih dahulu sebelum mengkorosi logam. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa melambatnya laju korosi karena terhalang oleh inhibitor.

##### 4.3.1 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%

Grafik dari laju pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap waktu stabil dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.





Gambar 4.9 Grafik laju inhibitor terhadap waktu stabil pada salinitas 33%

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam sistem, maka semakin lama pula waktu yang diperlukan suatu logam untuk berubah menjadi karat semua. Waktu stabil awal menunjukkan 12,6 bulan sedangkan waktu stabil maksimal adalah 18,354 bulan, sehingga inhibitor dapat memperlambat laju korosi secara maksimal selama 5,754 bulan. Maka efisiensi dari suatu inhibitor dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$EI(\%) = \frac{n_1 - n_0}{n_1} \times 100\%$$

$$EI(\%) = \frac{18,354 - 12,6}{18,354} \times 100\%$$

$$EI = 31,35\%$$

dengan:

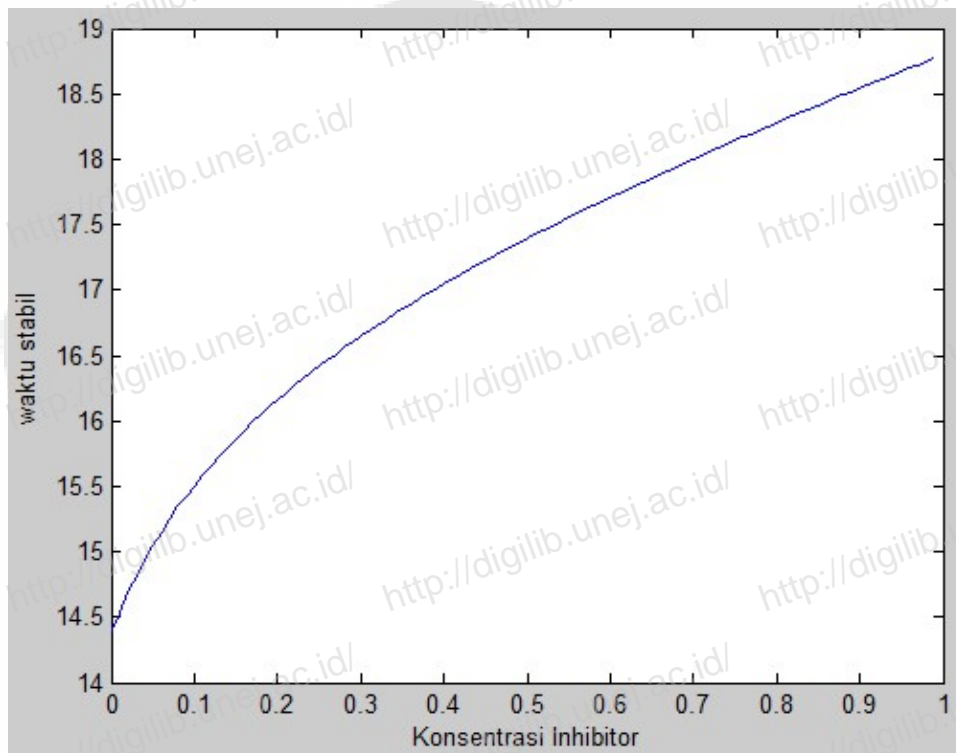
$EI(\%)$  : efisiensi inhibitor dalam % ,

$n_1$  : waktu stabil awal ,

$n_2$  : waktu stabil akhir .

#### 4.3.2 Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%

Grafik dari laju pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap waktu stabil dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.10 Grafik laju inhibitor terhadap waktu stabil pada salinitas 35%

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam sistem, maka semakin lama pula waktu yang diperlukan suatu logam untuk berubah menjadi karat semua. Waktu stabil awal menunjukkan 14,4 bulan sedangkan waktu stabil maksimal adalah 18,768 bulan, sehingga inhibitor dapat memperlambat laju korosi secara maksimal selama 4,368 bulan. Maka efisiensi dari suatu inhibitor dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$EI(\%) = \frac{n_1 - n_0}{n_1} \times 100\%$$

$$EI(\%) = \frac{18,768 - 14,4}{18,768} \times 100\%$$

$$EI = 23,28\%$$

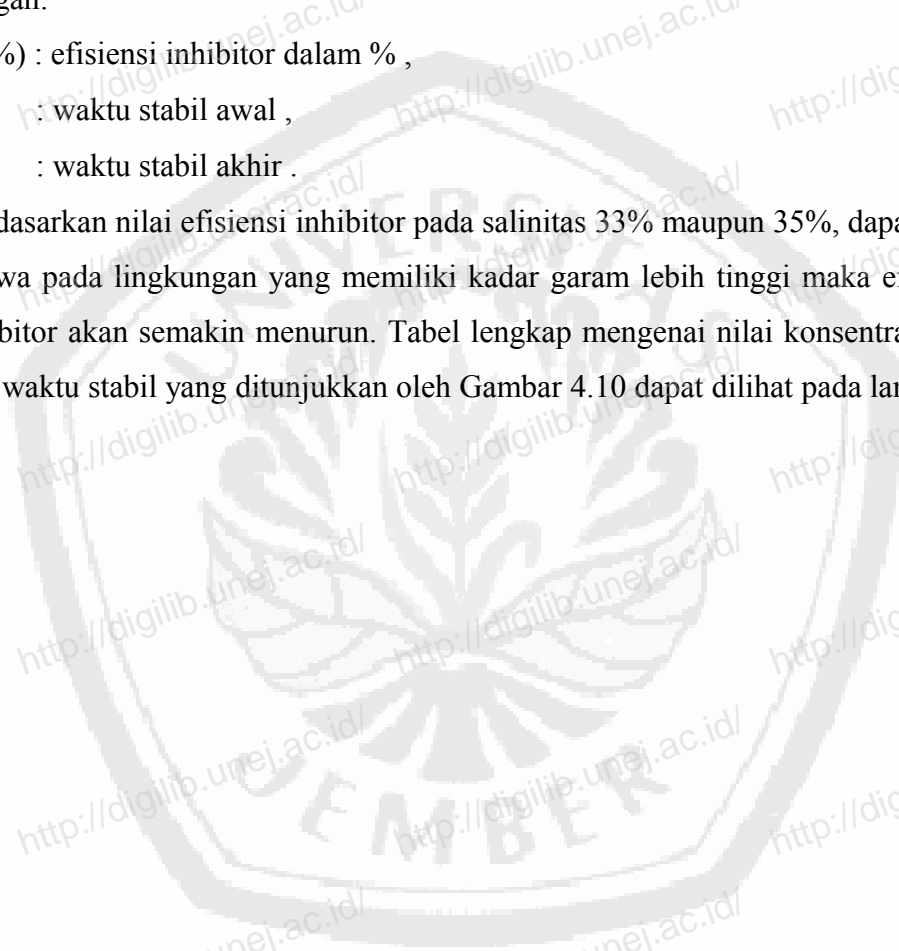
dengan:

$EI(\%)$  : efisiensi inhibitor dalam % ,

$n_1$  : waktu stabil awal ,

$n_2$  : waktu stabil akhir .

Berdasarkan nilai efisiensi inhibitor pada salinitas 33% maupun 35%, dapat dikatakan bahwa pada lingkungan yang memiliki kadar garam lebih tinggi maka efisiensi dari inhibitor akan semakin menurun. Tabel lengkap mengenai nilai konsentrasi inhibitor dan waktu stabil yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 dapat dilihat pada lampiran.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter  $a$  yang cocok untuk model dengan medium salinitas 33% adalah 0,57 sedangkan pada medium salinitas 35% adalah 0,55. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar salinitas (kadar garam) dari air laut maka laju berkurangnya logam menjadi ion logam akan semakin lambat.
2. Pengaruh inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  terhadap laju korosi baja AISI 1045 ditinjau sebagai hubungan antara konsentrasi inhibitor dengan waktu stabil, apabila konsentrasi inhibitor meningkat maka waktu stabil akan meningkat pula.
3. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam sistem, semakin lambat laju korosi yang terjadi (mengurangi konsentrasi produk terkorosi). Oleh karena itu nilai konsentrasi inhibitor yang dianjurkan adalah 0,9% untuk model pada medium salinitas 33% ataupun 35%. Konsentrasi tersebut adalah konsentrasi yang paling tepat untuk memperlambat laju korosi paling minimal.
4. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang dimasukkan ke dalam sistem, semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan seluruh konsentrasi inhibitor sebelum mengkorosi logam. Efisiensi dari inhibitor terhadap laju korosi adalah dapat memperlambat secara maksimal sebesar 31,35% pada salinitas 33% dan 23,28% pada salinitas 35%.
5. Kadar garam (salinitas) ternyata tidak berpengaruh pada cepat lambatnya laju korosi. Hal ini bertentangan dengan pernyataan bahwa meningkatnya kadar garam (salinitas) akan mempercepat laju korosi.

## 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya model dapat diperbaiki dengan cara menambah parameter-parameter lain yang dirasa berpengaruh signifikan terhadap model laju korosi baja AISI 1045. Selain itu, kadar garam (salinitas) dapat dimasukkan sebagai variabel sehingga dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya pada sistem.
2. Pada tugas akhir ini, data pengaruh senyawa inhibitor yang digunakan hanya  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Oleh karena itu diharapkan dengan semakin banyaknya data inhibitor yang digunakan atau diolah, maka model yang didapatkan akan lebih baik dari sebelumnya.
3. Hasil dari simulasi model pengaruh inhibitor  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  terhadap laju korosi baja AISI 1045 diharapkan dapat diterapkan dalam kehidupan nyata agar mengurangi proses korosi baja dalam kehidupan sehari-hari.

## DAFTAR PUSTAKA

Ayres, Frank. 1995. *Persamaan Diferensial dalam Satuan SI metric*. Jakarta: Erlangga

Pamuntjak. 1990. *Persamaan Diferensial Biasa*. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Chapra, S. C. & Canale, R. P. 2002. *Numerical Methods for Engineers with software and programming applications. Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill Higher Education.

Ismanto. 2009. *Macam-Macam Korosi*. [serial on line]. <http://ismantoalpha.blogspot.com/2009/12/macam-macam-korosi.html>. [28 September 2012].

Julia, A., Soedjono, T., & Palapessy, R. V., 2000. Studi Perilaku Korosi Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Asam Askorbat (Vitamin C) dalam Lingkungan Air yang Mengandung Klorida dan Sulfat. *Jurnal Universitas Kristen Petra*, 2 (1): 62-67.

McCuen, R. H. & Ayyub, B. M. 1996. *Numerical Methods for Engineers*. New Jersey: Prentice hall.

Nasrudin, H. 2004. *Keseimbangan Kimia*. [serial on line]. <http://pdfsb.com/readonline/5a56464365417839586e782b446e566b566b593d-1036374>. [23 september 2012].

Richard, L. B. & Faires, J. D. 1989. *Numerical Analysis*. New York: PSW-Kent Publishing Company.

Ross, L. S. 1984. *Differential Equation 3PrdP Edition*. New York: John Wiley and Sons Company.

Sasono, J. E. 2010. *Efektifitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal AISI E 2512 Terhadap Laju Korosi di Dalam Media Air Laut*. Tidak Diterbitkan. Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.

Sigit, B. 2009. *Korosi Baja AISI 1045 Menggunakan Inhibitor Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dengan Metode Potensiostat*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Sitorus, M. 2008. *Kimia Organik Fisik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.

Surdia, Tata & Shindroku, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Surya, I. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.

Sverdrup, H. U., Johnson, M. W., & Flemming, R. H. 1942. *The Oceans: Their Physics, Chemistry, and General Biology*. New Jersey: Prantice-Hall, Englewood Cliffs.

Threthewey, K. R. 1991. *Korosi: Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa. Alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Triatmodjo, B. 2002. *Metode Numerik Dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta: Beta Offset.

Widharto, S. 1999. *Karat dan Pencegahannya*. Cetakan I. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yusuf, A. 2008. *Model Pengaruh Inhibitor Terhadap Laju Korosi*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

## LAMPIRAN SKRIP PROGRAM :

```

% -----
% Matlab Programming
% Create Graphic User Interface
% GUI LAJU KOROSI BAJA
% -----
clear all;
clc;
win1=figure(...
'units', 'points', ...
'position', [200 200 600 300], ...
'color', [.9 .9 .5], ...
'menubar', 'none', ...
'resize', 'off', ...
'numbertitle', 'off', ...
'name', 'GUI Solusi Pengaruh Inhibitor dan Tanpa Inhibitor');
frame1=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [0 0 600 50], ...
'backgroundcolor', [.7 .9 .8], ...
'style', 'Frame');
label1=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [45 270 500 17], ...
'backgroundcolor', [.1 .9 .7], ...
'style', 'Text', ...
'string', 'Solusi Persamaan Pengaruh Inhibitor Na2CrO4 Terhadap Laju
Korosi Baja AISI 1045', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 13, ...
'fontweight', 'bold', ...
'foregroundcolor', [0 0 0]);
label2=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [15 210 60 15], ...
'style', 'Text', ...
'string', 'Nilai a', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 11);
label3=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [15 185 60 15], ...
'style', 'Text', ...
'string', 'Nilai b', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 11);
label4=uicontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...

```



```
'position',[15 160 60 15],...
'style','Text',...
'string','Nilai p',...
'fontname','arial',...
'fontsize',11);
label5=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[45 253 500 17],...
'backgroundcolor',[.1 .9 .7],...
'style','Text',...
'string','Menggunakan Metode Prediktor-Korektor Orde 3',...
'fontname','arial',...
'fontsize',13,...
'fontweight','bold',...
'foregroundcolor',[0 0 0]);
label6=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[15 135 60 15],...
'style','Text',...
'string','Nilai c',...
'fontname','arial',...
'fontsize',11);
label7=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[15 110 60 15],...
'style','Text',...
'string','Nilai m',...
'fontname','arial',...
'fontsize',11);
label8=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[15 85 75 15],...
'style','Text',...
'string','Keterangan',...
'fontname','arial',...
'fontsize',11);
label9=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[15 60 75 15],...
'style','Text',...
'string','Waktu Stabil',...
'fontname','arial',...
'fontsize',11);
edit1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[90 210 60 15],...
'backgroundcolor',[1 1 1],...
'style','Edit',...
'string','0',...
'fontname','arial',...
'fontsize',10);
edit2=uicontrol('parent',win1,...
```

```
'units', 'points', ...
'position', [90 185 60 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', '0', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
edit3=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [90 160 60 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', '0', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
edit4=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [90 135 60 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', '0', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
edit5=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [90 110 60 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', '0', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
edit6=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [100 85 170 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', ' ', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
edit7=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [100 60 170 15], ...
'backgroundcolor', [1 1 1], ...
'style', 'Edit', ...
'string', ' ', ...
'fontname', 'arial', ...
'fontsize', 10);
tomtanpa=icontrol('parent', win1, ...
'units', 'points', ...
'position', [15 13 100 25], ...
'style', 'pushbutton', ...
'callback', 'tanpa_inhibitor', ...
```

```

'string','Grafik Tanpa Inhibitor',...
'fontname','arial',...
'fontsize',10);
tomdengan=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[120 13 110 25],...
'style','pushbutton',...
'callback','dengan_inhibitor',...
'string','Grafik Dengan Inhibitor',...
'fontname','arial',...
'fontsize',10);
tomreset=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[480 13 50 25],...
'style','pushbutton',...
'callback','reset_edit',...
'string','Reset',...
'fontname','arial',...
'fontsize',10);
tomtutup=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[535 13 50 25],...
'style','pushbutton',...
'string','Selesai',...
'fontname','arial',...
'fontsize',10,...
'callback','close');
grafik1=axes('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[295 75 250 165],...
'xgrid','on',...
'ygrid','on',...
'xcolor',[0.4 0 .15],...
'ycolor',[0.4 0 .15],...
'fontsize',[8],...
'color',[1 1 1]);

% -----
% SOLUSI PERSAMAAN LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 TANPA MENGGUNAKAN
% INHIBITOR
% MENGGUNAKAN METODE PREDIKTOR-KOREKTOR ORDE 3
% -----

%Input Parameter
%-----
% Laju berkurangnya logam
a=str2num(get(edit1,'String'));
% Laju berkurangnya ion-ion logam untuk kembali menjadi logam
b=str2num(get(edit2,'String'));
% Laju reaksi maksimum
p=str2num(get(edit3,'String'));
% jumlah rata-rata laju korosi dari data percobaan

```

```

c=str2num(get(edit4,'String'));
%-----
% Inisialisasi
%-----
r=(b+c)/a;      % rumus konstanta michaelis menten
h=0.003;        % banyaknya langkah untuk t
t=0:h:70;       % inisialisasi waktu (t)

xstar(1)=1.0;   % nilai awal x (konsentrasi logam dalam larutan)
ystar(1)=0.0;   % nilai awal y (konsentrasi ion-ion logam)
zstar(1)=0.0;   % nilai awal z (konsentrasi produk terkorosi)

k1(1)=(b*ystar(1))-(a*xstar(1));           % dx/dt
k2(1)=(a*xstar(1))-b*ystar(1)-((p*xstar(1))/(r+xstar(1))); % dy/dt
k3(1)=(p*xstar(1))/(r+xstar(1));           % dz/dt
%-----

% Metode Euler untuk menentukan 3 titik awal
%-----
for i=1:length(t)-1      % struktur loop dengan sintak
"for"
    xstar(i+1)=xstar(i)+h*k1(i); % estimasi nilai x baru
    ystar(i+1)=ystar(i)+h*k2(i); % estimasi nilai y baru
    zstar(i+1)=zstar(i)+h*k3(i); % estimasi nilai z baru

    % estimasi nilai fungsi dx/dt, dy/dt, dan dz/dt untuk metode
    euler
    k1(i+1)=(b*ystar(i))-(a*xstar(i)); %
    dx/dt
    k2(i+1)=(a*xstar(i))-b*ystar(i)-((p*xstar(i))/(r+xstar(i))); %
    dy/dt
    k3(i+1)=(p*xstar(i))/(r+xstar(i)); %
    dz/dt
end
%-----

% Inisialisasi untuk metode Prediktor-Korektor Orde 3
%-----
d=xstar(1); d1=k1(1); xstarz(1)=d; z1(1)=d1;
e=xstar(2); e1=k1(2); xstarz(2)=e; z1(2)=e1;
f=xstar(3); f1=k1(3); xstarz(3)=f; z1(3)=f1;

v=ystar(1); v1=k2(1); ystarz(1)=v; z2(1)=v1;
j=ystar(2); j1=k2(2); ystarz(2)=j; z2(2)=j1;
l=ystar(3); l1=k2(3); ystarz(3)=l; z2(3)=l1;

o=zstar(1); o1=k3(1); zstarz(1)=o; z3(1)=o1;
q=zstar(2); q1=k3(2); zstarz(2)=q; z3(2)=q1;
s=zstar(3); s1=k3(3); zstarz(3)=s; z3(3)=s1;

```

```

% -----
% Metode Prediktor-Korektor Orde 3
% -----
for n=3:length(t)-1 % struktur loop dengan sintak "for"

    % estimasi nilai x,y dan z yang baru dengan metode Prediktor
    Orde 3
    ystarz(n+1)=ystarz(n)+((h/12)*(23*z2(n)-16*z2(n-1)+5*z2(n-2)));
    % x
    xstarz(n+1)=xstarz(n)+((h/12)*(23*z1(n)-16*z1(n-1)+5*z1(n-2)));
    % y
    zstarz(n+1)=zstarz(n)+((h/12)*(23*z3(n)-16*z3(n-1)+5*z3(n-2)));
    % z

    % estimasi nilai fungsi dx/dt, dy/dt, dan dz/dt untuk metode
    Prediktor
    % Orde 3 untuk selanjutnya digunakan pada metode Korektor Orde 3
    z1(n+1)=(b*ystarz(n)-(a*xstarz(n)));
    %dx/dt
    z2(n+1)=(a*xstarz(n)-b*ystarz(n)-((p*xstarz(n))/(r+xstarz(n))));
    %dy/dt
    z3(n+1)=(p*xstarz(n))/(r+xstarz(n));
    %dz/dt

    % estimasi nilai x,y dan z yang baru dengan metode Korektor
    Orde 3
    ystarz(n+1)=ystarz(n)+((h/12)*(5*z2(n+1)+8*z2(n)-z2(n-1))); % x
    xstarz(n+1)=xstarz(n)+((h/12)*(5*z1(n+1)+8*z1(n)-z1(n-1))); % y
    zstarz(n+1)=zstarz(n)+((h/12)*(5*z3(n+1)+8*z3(n)-z3(n-1))); % z
end
% -----

% penentuan waktu stabil
% -----
dewinta=[zstarz];
melya=[t];
beta=0;
for batas=1:length(t)
    if dewinta(batas)>=0.999 && beta==0
        jadi=melya(batas);
        beta=1;
        set(edit7,'string',num2str(jadi));
    end
end
% -----

% penentuan kecocokan parameter a dan b
% -----

```

```

dew=max(dewinta);

    if dew>1.000
        set(edit6,'string','Parameter a dan b tidak cocok');
    else
        set(edit6,'string','Parameter a dan b cocok');
    end

% -----
set(win1,'CurrentAxes',grafik1);

% Plot Aproksimasi
% -----
plot(t,xstarz,'r-',t,zstarz,'b-');
legend('logam awal','produk korosi');
grid on;
xlabel('Waktu');
ylabel('Konsentrasi');
axis([0 70 -0.2 1.2]);
% -----

% -----
% SOLUSI PERSAMAAN LAJU KOROSI BAJA AISI 1045 MENGGUNAKAN INHIBITOR
% Na2CrO4
% MENGGUNAKAN METODE PREDIKTOR-KOREKTOR ORDE 3
% -----

%Input Parameter
% -----
% Laju berkurangnya logam
a=str2num(get(edit1,'String'));
%Laju berkurangnya ion-ion logam untuk kembali menjadi logam
b=str2num(get(edit2,'String'));
% Laju reaksi maksimum
p=str2num(get(edit3,'String'));
% jumlah rata-rata laju korosi dari data percobaan
c=str2num(get(edit4,'String'));
%konsentrasi inhibitor
ml=str2num(get(edit5,'String'));
% -----

% Inisialisasi
% -----
r=(b+c)/a; % rumus konstanta michaelis menten
h=0.003; % banyaknya langkah untuk t
t=0:h:100; % inisialisasi waktu (t)

xstar(1)=1.0; % nilai awal x (konsentrasi logam dalam larutan)
ystar(1)=0.0; % nilai awal y (konsentrasi ion-ion logam)
zstar(1)=0.0; % nilai awal z (konsentrasi produk terkorosi)

```

```

mstar(1)=m1; % nilai awal m (konsentrasi inhibitor)

k1(1)=(b*ystar(1)-(a*xstar(1))); % dx/dt
k2(1)=(a*xstar(1)-(b*ystar(1))-((p*xstar(1))/(r+xstar(1)))+
((p*mstar(1))/(r+mstar(1)))); % dy/dt
k3(1)=(p*xstar(1)/(r+xstar(1))-((p*mstar(1))/(r+mstar(1)))); % dz/dt
k4(1)=((-p)*mstar(1)/(r+mstar(1))); % dm/dt
% -----

% Metode Euler untuk menentukan 3 titik awal
% -----
for i=1:length(t)-1 % struktur loop dengan sintak
"for"
    xstar(i+1)=xstar(i)+h*k1(i); % estimasi nilai x baru
    ystar(i+1)=ystar(i)+h*k2(i); % estimasi nilai y baru
    zstar(i+1)=zstar(i)+h*k3(i); % estimasi nilai z baru
    mstar(i+1)=mstar(i)+h*k4(i); % estimasi nilai m baru

% estimasi nilai fungsi dx/dt, dy/dt, dz/dt dan dm/dt untuk
metode euler
    k1(i+1)=(b*ystar(i)-(a*xstar(i))); %
dx/dt
    k2(i+1)=(a*xstar(i)-(b*ystar(i))-((p*xstar(i))/(r+xstar(i)))+
((p*mstar(i))/(r+mstar(i)))); %
dy/dt
    k3(i+1)=(p*xstar(i)/(r+xstar(i))-((p*mstar(i))/(r+mstar(i)))); %
dz/dt
    k4(i+1)=((-p)*mstar(i)/(r+mstar(i))); %
dm/dt
end
% -----

% Inisialisasi untuk metode Prediktor-Korektor Orde 3
% -----
d=xstar(1); d1=k1(1); xstarz(1)=d; z1(1)=d1;
e=ystar(2); e1=k1(2); xstarz(2)=e; z1(2)=e1;
f=xstar(3); f1=k1(3); xstarz(3)=f; z1(3)=f1;

v=ystar(1); v1=k2(1); ystarz(1)=v; z2(1)=v1;
j=ystar(2); j1=k2(2); ystarz(2)=j; z2(2)=j1;
l=ystar(3); l1=k2(3); ystarz(3)=l; z2(3)=l1;

o=zstar(1); o1=k3(1); zstarz(1)=o; z3(1)=o1;
q=zstar(2); q1=k3(2); zstarz(2)=q; z3(2)=q1;
s=zstar(3); s1=k3(3); zstarz(3)=s; z3(3)=s1;

u=mstar(1); u1=k3(1); mstarz(1)=u; z4(1)=u1;
w=mstar(2); w1=k3(2); mstarz(2)=w; z4(2)=w1;
ww=mstar(3); ww1=k3(3); mstarz(3)=ww; z4(3)=ww1;

```

```

% -----
% Metode Prediktor-Korektor Orde 3
% -----
for n=3:length(t)-1 % struktur loop dengan sintak "for"

    % estimasi nilai x,y,z dan m yang baru dengan metode Prediktor
    Orde 3
    ystarz(n+1)=ystarz(n)+((h/12)*(23*z2(n)-16*z2(n-1)+5*z2(n-2)));
    % x
    xstarz(n+1)=xstarz(n)+((h/12)*(23*z1(n)-16*z1(n-1)+5*z1(n-2)));
    % y
    zstarz(n+1)=zstarz(n)+((h/12)*(23*z3(n)-16*z3(n-1)+5*z3(n-2)));
    % z
    mstarz(n+1)=mstarz(n)+((h/12)*(23*z4(n)-16*z4(n-1)+5*z4(n-2)));
    % m

    % estimasi nilai fungsi dx/dt, dy/dt, dz/dt dan dm/dt untuk
    metode
    % Prediktor Orde 3 untuk selanjutnya digunakan pada metode
    Korektor
    % Orde 3
    z1(n+1)=(b*ystarz(n)-(a*xstarz(n)));
    %dx/dt
    z2(n+1)=(a*xstarz(n)-(b*ystarz(n))-((p*xstarz(n))/(r+xstarz(n)))+
    ((p*mstarz(n))/(r+mstarz(n))));
    %dy/dt
    z3(n+1)=(p*xstarz(n))/(r+xstarz(n))-((p*mstarz(n))/(r+mstarz(n)));
    %dz/dt
    z4(n+1)=((-p)*mstarz(n))/(r+mstarz(n));
    %dm/dt

    % estimasi nilai x,y,z dan m yang baru dengan metode Korektor
    Orde 3
    ystarz(n+1)=ystarz(n)+((h/12)*(5*z2(n+1)+8*z2(n)-z2(n-1))); % x
    xstarz(n+1)=xstarz(n)+((h/12)*(5*z1(n+1)+8*z1(n)-z1(n-1))); % y
    zstarz(n+1)=zstarz(n)+((h/12)*(5*z3(n+1)+8*z3(n)-z3(n-1))); % z
    mstarz(n+1)=mstarz(n)+((h/12)*(5*z4(n+1)+8*z4(n)-z4(n-1))); % m
end
% -----

% penentuan waktu stabil
% -----
dewinta=[zstarz];
melya=[t];
beta=0;
for batas=1:length(t)
    if dewinta(batas)>=0.999 && beta==0
        jadi=melya(batas);
        beta=1;
    end
end

```



```

set(edit7,'string',num2str(jadi));
end
end
% -----
% penentuan kecocokan parameter a dan b
% -----
dew=max(dewinta);

if dew>1.000
set(edit6,'string','Parameter a dan b tidak cocok');
else
set(edit6,'string','Parameter a dan b cocok');
end

% -----

set(win1,'CurrentAxes',grafik1);
% Plot Aproksimasi
% -----
plot(t,xstarz,'r-',t,zstarz,'b-');
legend('logam awal','produk korosi');
grid on;
xlabel('Waktu');
ylabel('Konsentrasi');
axis([0 100 -0.4 1.5]);
% -----

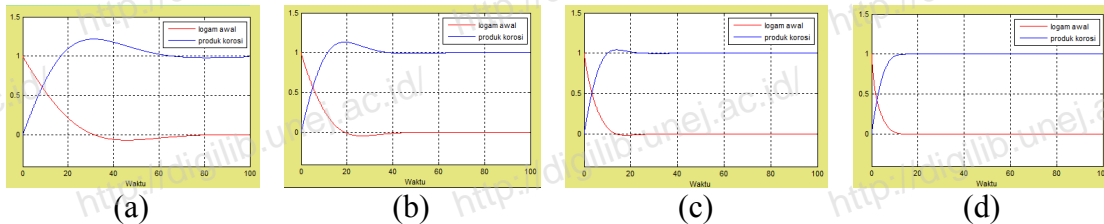
```

## LAMPIRAN HASIL SIMULASI PROGRAM :

### 1. Simulasi Untuk Menentukan Nilai Parameter Yang Cocok Pada Model

#### a. Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%

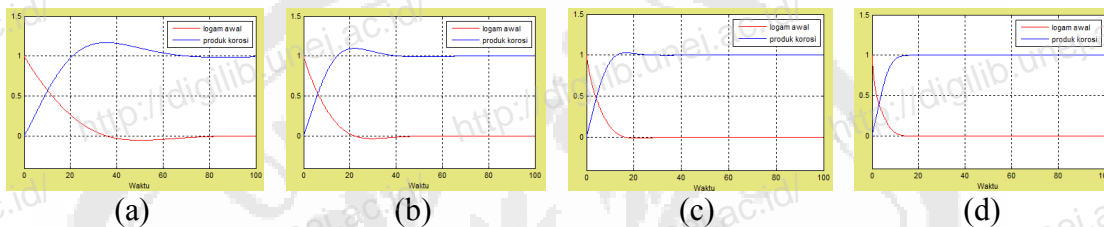
##### 1. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,3%



Gambar 4.11 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,48$

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,48$ .

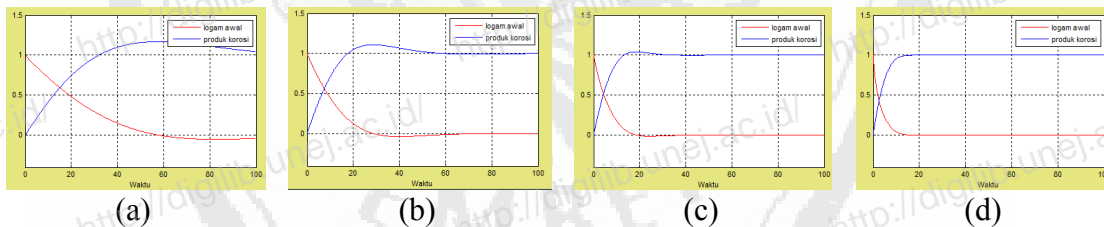
## 2. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,5%



Gambar 4.12 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,49$

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,49$ .

## 3. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,7%

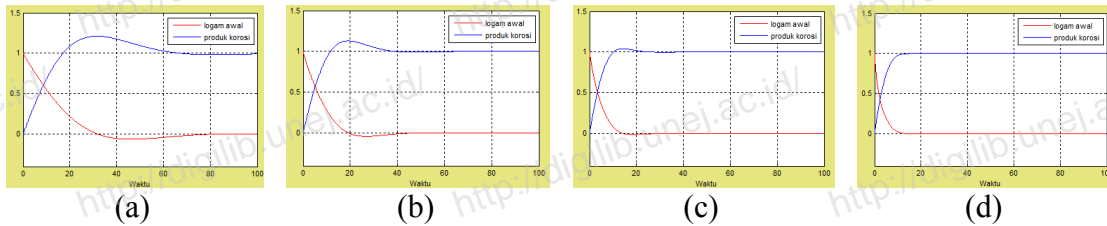


Gambar 4.13 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,15$ ; (d)  $a = 0,51$

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,51$

## b. Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%

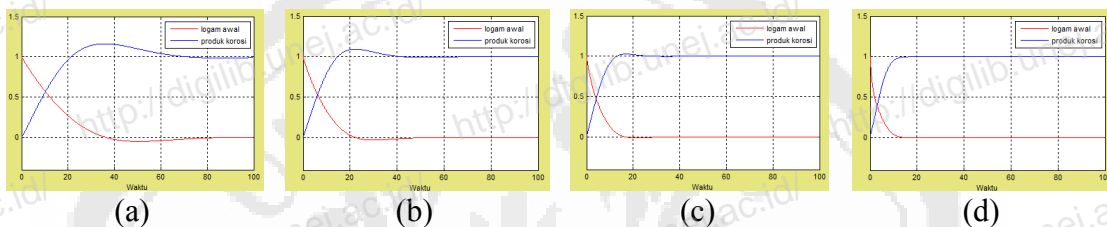
### 1. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,3%



Gambar 4.15 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,47$

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,47$ .

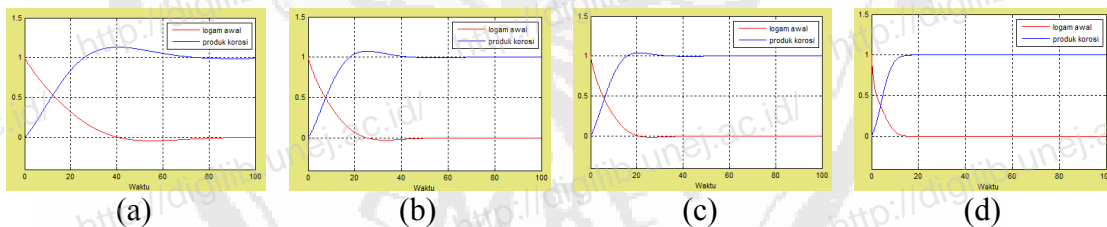
## 2. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,5%



Gambar 4.16 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,2$ ; (d)  $a = 0,49$

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,49$ .

## 3. Pencarian Parameter $a$ Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,7%



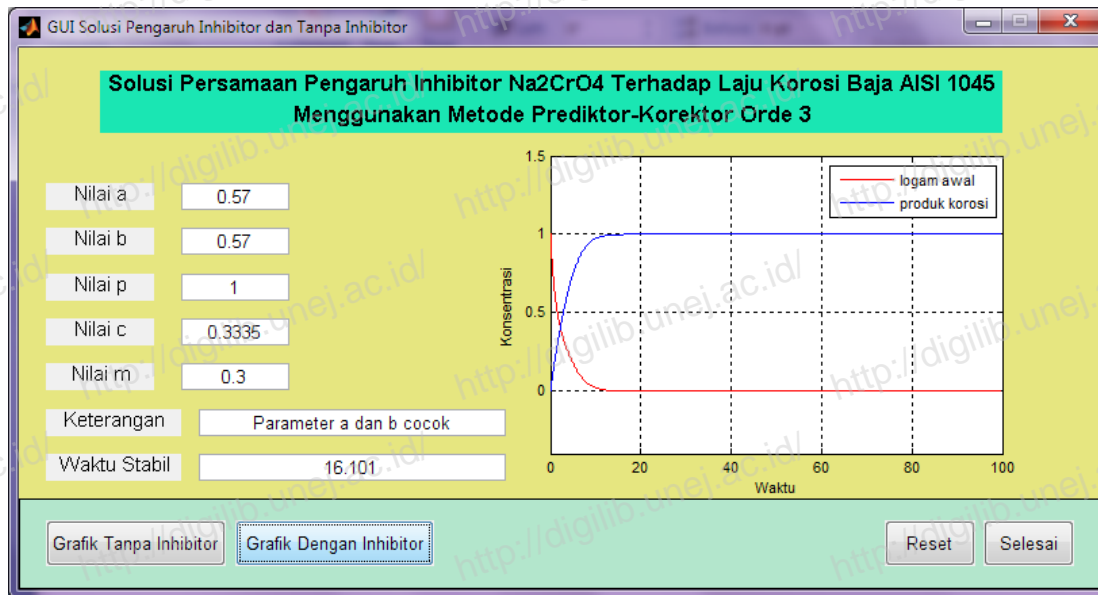
Gambar 4.17 (a)  $a = 0,05$ ; (b)  $a = 0,1$ ; (c)  $a = 0,15$ ; (d)  $a = 0,51$

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa parameter  $a$  yang paling cocok untuk model adalah  $a = 0,51$ .

## 2. Simulasi Menentukan Waktu Stabil Menggunakan Nilai Parameter Yang Cocok

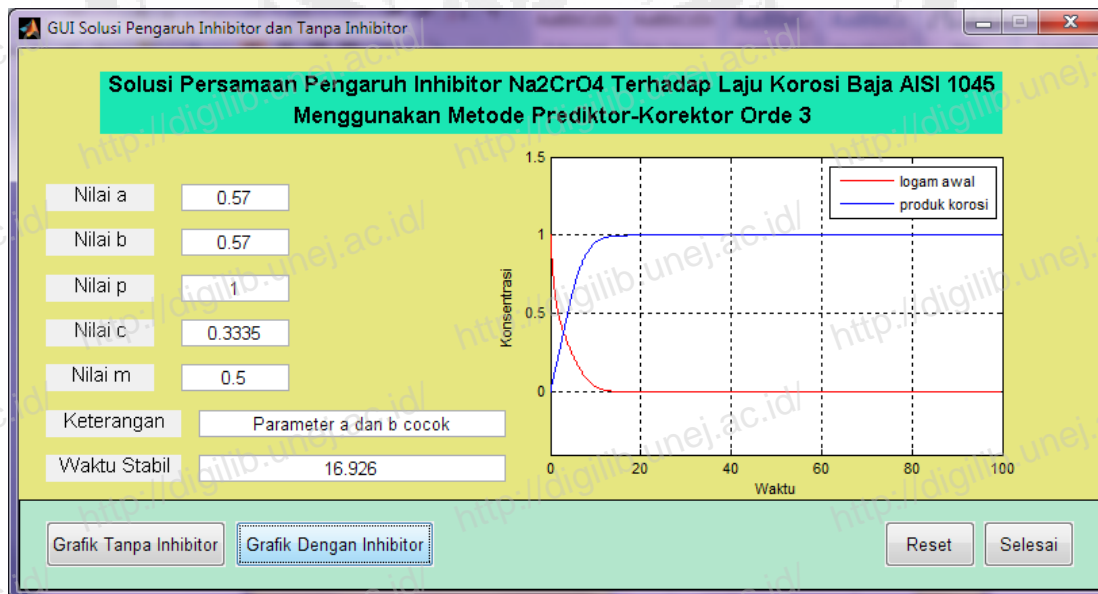
### a. Simulasi Pada Medium Bersalinitas 33%

#### 1. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,3%



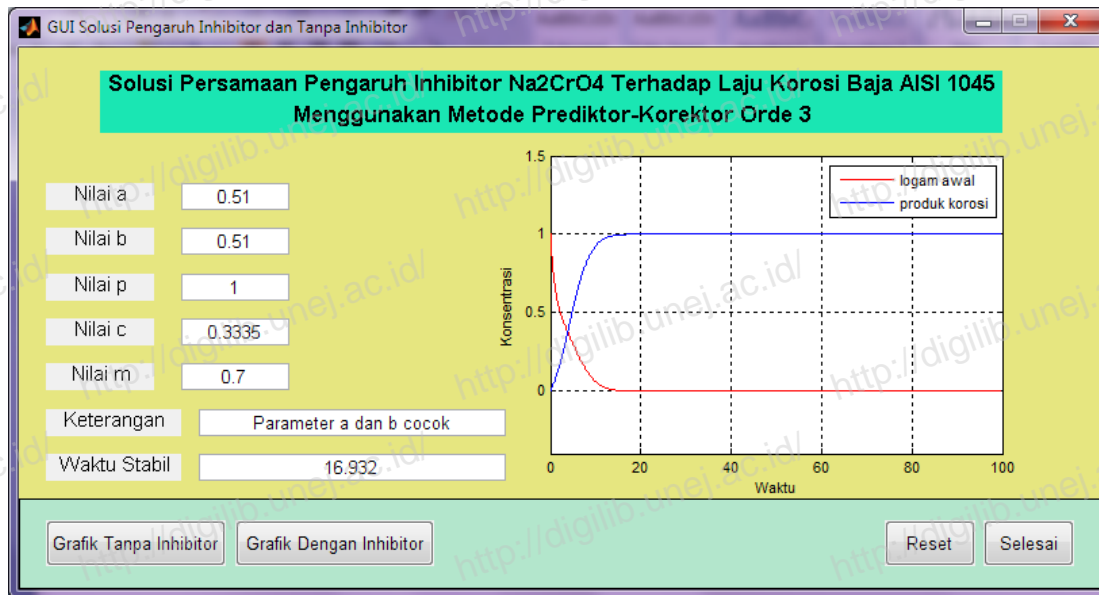
Gambar 4.18 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,3% dan  $a = 0,57$

## 2. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,5%



Gambar 4.19 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,5% dan  $a = 0,57$

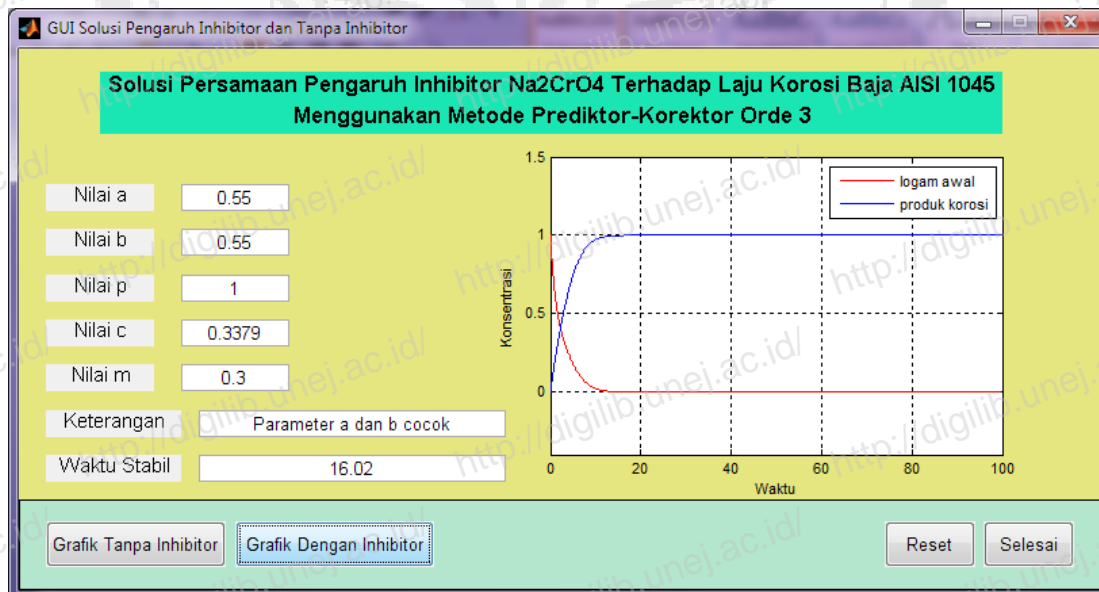
## 3. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,7%



Gambar 4.20 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,7% dan  $a = 0,57$

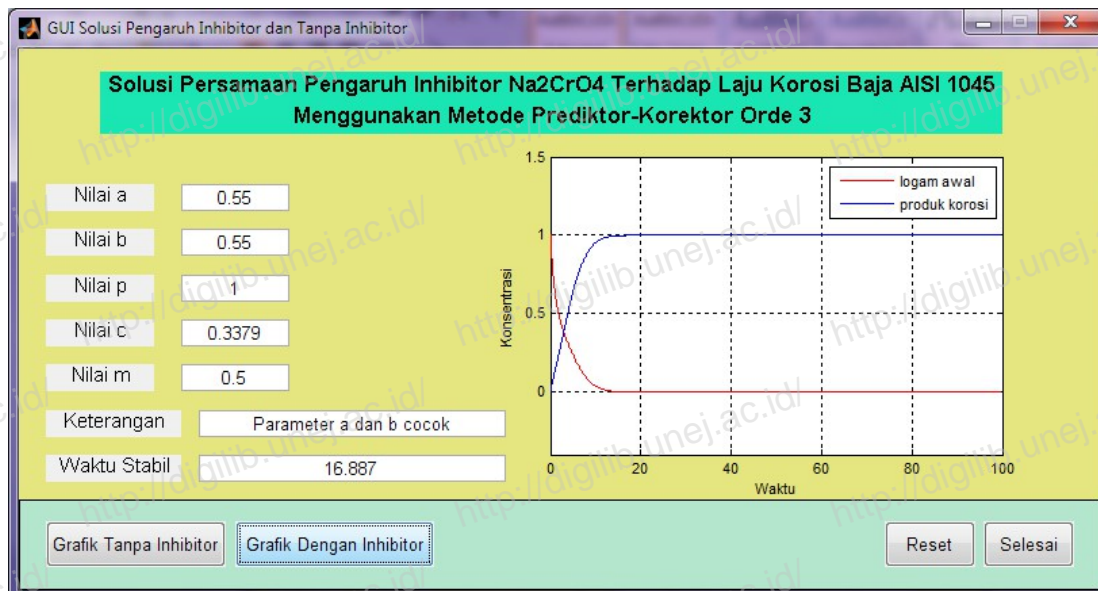
b. Simulasi Pada Medium Bersalinitas 35%

1. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,3%



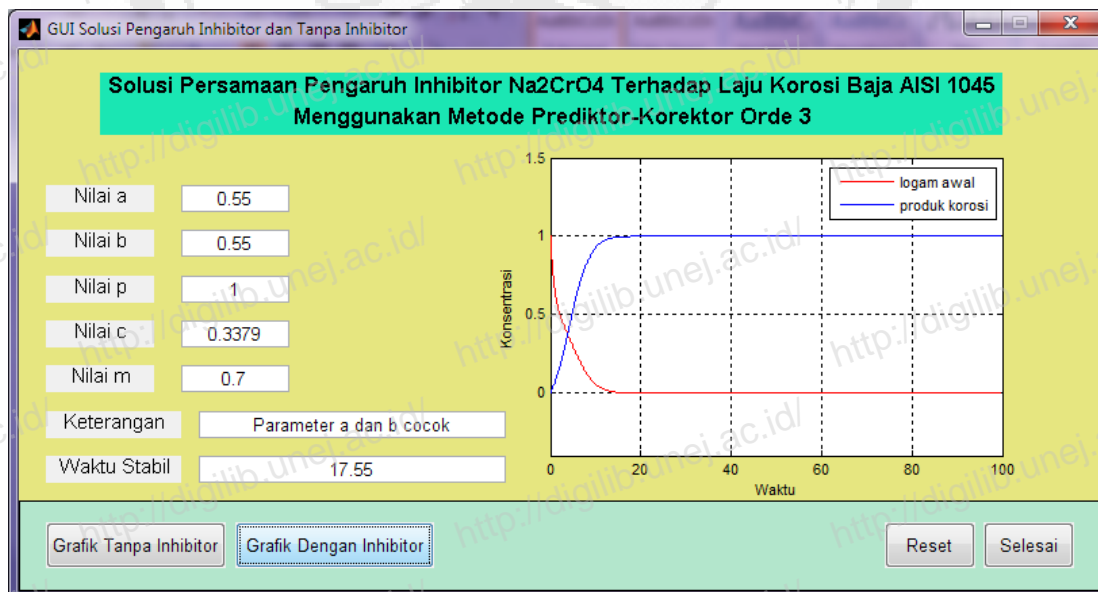
Gambar 4.21 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,3% dan  $a = 0,55$

## 2. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,5%



Gambar 4.22 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,5% dan  $a = 0,55$

## 3. Pencarian Waktu Stabil Menggunakan Konsentrasi Inhibitor 0,7%



Gambar 4.23 Grafik Laju Korosi Menggunakan inhibitor 0,7% dan  $\alpha = 0,55$



Tabel 4.3 Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap waktu stabil logam

Salinitas 33%		Salinitas 35%	
Konsentrasi inhibitor (%)	Waktu stabil (bulan)	Konsentrasi inhibitor (%)	Waktu stabil (bulan)
0	12,6	0	14,4
0,01	12,918	0,01	14,53
0,02	13,152	0,02	14,688
0,03	13,365	0,03	14,814
0,04	13,563	0,04	14,934
0,05	13,743	0,05	15,045
0,06	13,911	0,06	15,147
0,07	14,065	0,07	15,243
0,08	14,208	0,08	15,356
0,09	14,343	0,09	15,423

0,1	14,469	0,1	15,504
0,11	14,586	0,11	15,582
0,12	14,697	0,12	15,657
0,13	14,802	0,13	15,729
0,14	14,901	0,14	15,798
0,15	14,994	0,15	15,864
0,16	15,084	0,16	15,927
0,17	15,168	0,17	15,99
0,18	15,249	0,18	16,05
0,19	15,327	0,19	16,107
0,2	15,402	0,2	16,161
0,21	15,474	0,21	16,215
0,22	15,543	0,22	16,269
0,23	15,609	0,23	16,32
0,25	15,672	0,25	16,371
0,26	15,735	0,26	16,419
0,27	15,795	0,27	16,467
0,28	15,852	0,28	16,512
0,29	15,902	0,29	16,56
0,3	15,966	0,3	16,602
0,31	16,02	0,31	16,647
0,32	16,071	0,32	16,689
0,33	16,122	0,33	16,731
0,34	16,173	0,34	16,773
0,35	16,221	0,35	16,815
0,36	16,269	0,36	16,854
0,37	16,314	0,37	16,893
0,38	16,362	0,38	16,932
0,39	16,407	0,39	16,971
0,4	16,449	0,4	17,01
0,41	16,494	0,41	17,046
0,42	16,536	0,42	17,082
0,43	16,578	0,43	17,118
0,44	16,617	0,44	17,154
0,45	16,659	0,45	17,19
0,46	16,698	0,46	17,226
0,47	16,737	0,47	17,259
0,48	16,776	0,48	17,292
0,49	16,812	0,49	17,328
0,5	16,851	0,5	17,361
0,51	16,882	0,51	17,394



0,52	16,926	0,52	17,427
0,53	16,962	0,53	17,46
0,54	16,998	0,54	17,49
0,55	17,031	0,55	17,523
0,56	17,067	0,56	17,556
0,57	17,1	0,57	17,586
0,58	17,136	0,58	17,616
0,59	17,169	0,59	17,649
0,6	17,202	0,6	17,679
0,61	17,235	0,61	17,709
0,62	17,268	0,62	17,739
0,63	17,301	0,63	17,769
0,64	17,334	0,64	17,799
0,65	17,364	0,65	17,829
0,66	17,397	0,66	17,859
0,67	17,427	0,67	17,886
0,68	17,46	0,68	17,916
0,69	17,49	0,69	17,946
0,7	17,52	0,7	17,973
0,71	17,55	0,71	18,003
0,71	17,58	0,71	18,03
0,72	17,61	0,72	18,057
0,73	17,64	0,73	18,087
0,74	17,67	0,74	18,114
0,75	17,7	0,75	18,141
0,76	17,727	0,76	18,168
0,77	17,757	0,77	18,195
0,78	17,784	0,78	18,222
0,79	17,814	0,79	18,249
0,8	17,841	0,8	18,276
0,81	17,871	0,81	18,303
0,82	17,898	0,82	18,33
0,83	17,925	0,83	18,357
0,84	17,955	0,84	18,384
0,85	17,982	0,85	18,411
0,86	18,009	0,86	18,435
0,87	18,036	0,87	18,462
0,88	18,063	0,88	18,489
0,89	18,09	0,89	18,513
0,9	18,117	0,9	18,54
0,91	18,144	0,91	18,567

0,92	18,171	0,92	18,591
0,93	18,198	0,93	18,618
0,94	18,222	0,94	18,642
0,95	18,249	0,95	18,666
0,96	18,276	0,96	18,693
0,97	18,303	0,97	18,717
0,98	18,327	0,98	18,744
0,99	18,354	0,99	18,768

