



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH RESISTIVITAS TANAH TERHADAP  
PENGUKURAN POTENSIAL BAJA DENGAN MULTIMETER  
DIGITAL DAN MIKROKONTROLER ATMega8353**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**REZA KISWARA**

**040504060Y**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI METALURGI & MATERIAL**

**KEKHUSUSAN LOGAM**

**DEPOK**

**JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Reza Kiswara**  
**NPM : 040504060Y**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 7 Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Reza Kiswara  
NPM : 040504060Y  
Program Studi : Metalurgi & Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Pengukuran Potensial Baja Dengan Multimeter Digital dan Mikrokontroler ATmega8353

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M, DEA ( )

Penguji I : Ir. Andi Rustandi M.T. ( )

Penguji II : Badrul Munir, Ph.D ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Metalurgi & Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini disusun atas bantuan dan bimbingan berbagai pihak, maka saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M, DEA selaku dosen pembimbing skripsi Departemen Metalurgi & Material FTUI.
- (2) Orang tua, adik dan keluarga yang selalu ada untuk member dukungan.
- (3) Rizal Dwi Listio, alumni D3 Fisika Instrumentasi Universitas Indonesia yang telah membantu dalam merancang pembuatan pengukur potensial dengan Mikrokontroler ATmega8353
- (4) Karyawan, asisten lab korosi

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**  
**TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Kiswara  
NPM : 040504060Y  
Program Studi : Metalurgi & Material  
Departemen : Metalurgi & Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Pengukuran Potensial Baja Dengan  
Multimeter Digital Dan Mikrokontroler ATmega8353

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 7 Juli 2009

Yang menyatakan

(Reza Kiswara)

## ABSTRAK

Nama : Reza Kiswara

Program Studi : Metalurgi & Material

Judul : Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Pengukuran Potensial Baja Dengan Multimeter Digital Dan Mikrokontroler ATmega8353

Pengukuran potensial korosi untuk suatu struktur yang tertanam di dalam tanah rutin dilakukan untuk memelihara struktur agar tidak terserang oleh korosi. Untuk jarak struktur yang sangat panjang, pengukuran potensial korosi yang ada sekarang masih membutuhkan waktu yang lama dan ini merupakan kekurangan dalam hal efisiensi waktu. Pada penelitian ini, dirancang sebuah instrument pengukur potensial yang menggunakan mikrokontroler ATmega8353 yang diharapkan dapat melakukan pengukuran secara bersamaan di banyak tempat sehingga dengan begitu waktu yang dibutuhkan untuk mengukur potensial korosi suatu struktur yang panjang juga akan semakin sedikit. Penelitian juga dilakukan dengan mengamati hubungan antara potensial korosi dari logam dengan kondisi tanah seperti pH dan resistivitas tanah. Hasil penelitian untuk potensial yang diukur dengan mikrokontroler ATmega8353 berbeda dengan hasil potensial dari multimeter digital yaitu potensial logam yang diukur dengan mikrokontroler ATmega8353 lebih rendah dari potensial logam dengan multimeter digital. Hubungan antara potensial logam yang tertanam di dalam tanah juga berbanding lurus dengan resistivitas tanah. Dengan besar resistivitas yang paling kecil pada daerah di sekitar danau, potensial logam pada lokasi ini juga paling kecil. Sedangkan pada lokasi di sekitar Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, potensial logam lebih positif dari lokasi di sekitar danau dengan semakin besarnya resistivitas dari lokasi di sekitar danau. Dari hubungan pH dan potensial, logam telah mengalami proses korosi yang di lihat dari diagram pourbaix.

Kata Kunci : Resistivitas tanah, Potensial Baja, pH tanah, Mikrokontroler ATmega8353

## ABSTRACT

Name : Reza Kiswara

Study Program: Metallurgy & materials

Title : The Effect of Soil Resistivity to Potential Measurement of Steel with Digital Electrometers and Mikrokontroler ATMega8353

The measurement of corrosion potential for a structure that is embedded in the ground is done to maintain a regular structure that does not attack by corrosion. Distance for a very long structure, the measurement of corrosion potential that is now still need a long time and this is the lack of efficiency in terms of time. On this research, an instrument designed to measure potential use mikrokontroler ATMega8353 that are expected to perform measurements simultaneously in so many places with the time needed to measure the corrosion potential of a long structure that also will be less. Research is also done with the relationship between the corrosion potential of metals with soil conditions such as pH and soil resistivity. Research results to the potential measured with mikrokontroler ATMega8353 different from the potential results of a digital multimeter that is potentially measured with a mikrokontroler ATMega8353 lower potential of the metal with a digital multimeter. Relationships between the potential of metal embedded in the ground is also proportionate to the soil resistivity. With large resistivity the most on a small area around the lake, the metal potential at this location is also small. While on location in the vicinity of the Department of Metallurgy and Materials, University of Indonesia, the metal more positive potential of the location around the lake with the size of the resistivity's location around the lake. Relationship of pH and potential, have experienced the process of metal corrosion in the view of the pourbaix diagram.

Key words : Soil Resistivity, Potential of Steel, Soil pH, Mikrokontroler ATMega8353

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
<b>BAB 1            PENDAHULUAN</b>	
1.1    LATAR BELAKANG PENELITIAN	1
1.2    TUJUAN PENELITIAN	3
1.3    RUMUSAN MASALAH	3
1.4    RUANG LINGKUP PENELITIAN	4
1.4.1   Daerah Penelitian	4
1.4.2   Metodologi Penelitian	4
1.4.3   Metodologi Pengujian	4
1.5    SISTEMATIKA PENULISAN	5

<b>BAB II</b>		<b>DASAR TEORI</b>	
2.1	KOROSI		6
	2.1.1	Definisi Korosi	6
	2.1.2	Syarat Terjadinya Korosi	6
	2.1.3	Mekanisme Korosi	7
2.2	PENGUKURAN POTENSIAL		8
2.3	KOROSI TANAH ( <i>Corrosion by Soils</i> )		10
	2.3.1	Sistem Klasifikasi Tanah	10
	2.3.2	Faktor yang Mempengaruhi Korosi Tanah	13
		2.3.2.1 Kandungan uap air atau kelembaban ( <i>Moisture</i> )	14
		2.3.2.2 Derajat Aerasi	16
		2.3.2.3 pH	17
		2.3.2.4 Resistivitas	19
		2.3.2.5 Potensial Redoks	22
		2.3.2.6 Aktifitas Microbiologically Induced Corrosion (MIC)	23
2.4	MIKROKONTROLER AVR ( <i>Alf and Vegard's Risc Processor</i> )		25
<b>BAB III</b>		<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN		31
3.2	PROSEDUR PENELITIAN		32
	3.2.1	Pengukuran Potensial	32

3.2.2	Pengujian Karakteristik Tanah	32
3.2.2.1	Pengukuran Resistivitas Tanah	32
3.2.2.2	Pengukuran pH Tanah dan Moisture Content	35
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b>		
4.1	DATA POTENSIAL	37
4.2	DATA RESISTIVITAS TANAH	41
4.3	DATA pH TANAH DAN MOISTURE CONTENT	44
<b>BAB V PEMBAHASAN</b>		
5.1	TINGKAT KOROSIFITAS TANAH	46
5.2	PENGARUH RESISTIVITAS TANAH TERHADAP POTENSIAL LOGAM	49
5.2.1	Lokasi A1 dan A2	52
5.2.2	Lokasi B	55
5.2.3	Lokasi C	57
5.3	PENGUKURAN POTENSIAL DENGAN MIKROKONTROLER ATMega8353	58
5.4	HUBUNGAN pH DAN POTENSIAL LOGAM	61

**BAB VI KESIMPULAN**

66

**DAFTAR PUSTAKA**

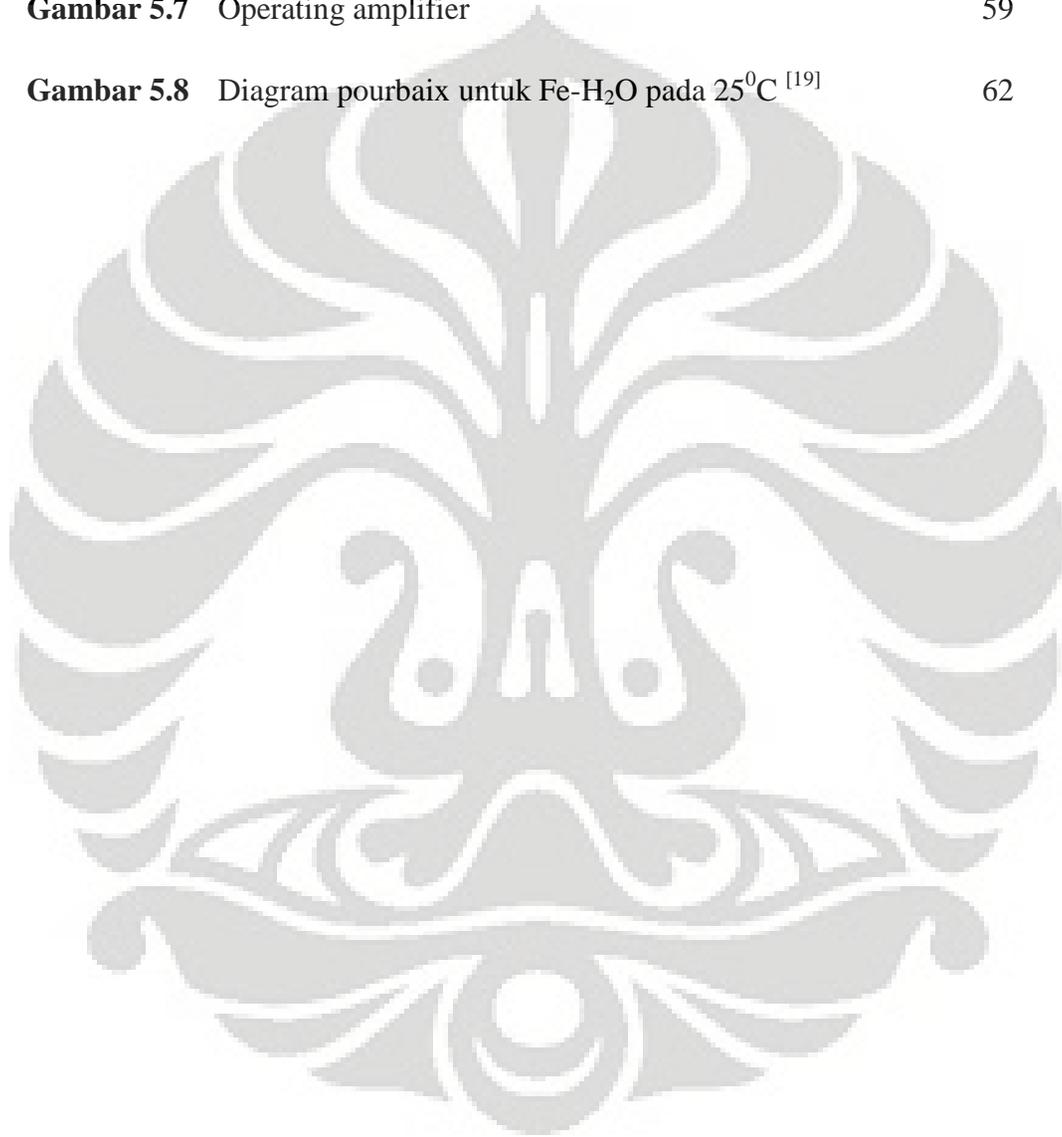
67



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Ilustrasi pipa yang tertanam dalam tanah <sup>[5]</sup>	12
<b>Gambar 2.2</b>	Hubungan beberapa Faktor yang berdampak pada laju korosi dalam tanah <sup>[4]</sup>	13
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Wenner four pin soil resistivity test set-up</i> <sup>[17]</sup>	21
<b>Gambar 2.4</b>	Soil Box	22
<b>Gambar 2.5</b>	Atmel AVR jenis ATmega8353 <sup>[14]</sup>	26
<b>Gambar 2.6</b>	Konfigurasi Pin ATmega8535 <sup>[15]</sup>	27
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian	31
<b>Gambar 3.2</b>	Multimeter Digital	32
<b>Gambar 3.3</b>	Mikrokontroler ATmega8353	32
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Soil Resistivity Meter</i>	33
<b>Gambar 3.5</b>	Skema peletakan kabel C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , P <sub>1</sub> dan P <sub>2</sub> pada <i>soilbox</i>	33
<b>Gambar 3.6</b>	Skema peletakan pin pada alat pengukur resistivitas tanah	34
<b>Gambar 3.7</b>	Soil pH Meter & Moisture Tester	35
<b>Gambar 5.1</b>	Besar Resistivitas Tanah Pada Setiap Lokasi	46
<b>Gambar 5.2</b>	Skema pengukuran potensial korosi pada elektrolit tanah	49
<b>Gambar 5.3</b>	Kriteria Pemilihan Proteksi Katodik Untuk Material yang berbeda <sup>[4]</sup>	51

<b>Gambar 5.4</b>	Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi A1 dan A2	52
<b>Gambar 5.5</b>	Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi B	55
<b>Gambar 5.6</b>	Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi C	57
<b>Gambar 5.7</b>	Operating amplifier	59
<b>Gambar 5.8</b>	Diagram pourbaix untuk Fe-H <sub>2</sub> O pada 25 <sup>0</sup> C <sup>[19]</sup>	62



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Deret Galvanic dari beberapa material pada lingkungan tanah <sup>[11]</sup>	9
<b>Tabel 2.2</b>	Konversi Elektroda Standar Ke Dalam SHE <sup>[10]</sup>	10
<b>Tabel 2.3</b>	Klasifikasi tanah berdasarkan sifat fisik, komposisi kimia dan resistivitas <sup>[9]</sup>	11
<b>Tabel 2.4</b>	Tingkat Korosifitas berdasarkan Resistifitas Tanah <sup>[8]</sup>	20
<b>Table 2.5</b>	Tingkat Korosifitas Tanah berdasarkan Potensial Redoks <sup>[10]</sup>	23
<b>Tabel 2.6</b>	Karakteristik Bakteri yang berhubungan dengan Korosi Tanah <sup>[4]</sup>	24
<b>Tabel 4.1</b>	Data potensial pada lokasi A1	37
<b>Tabel 4.2</b>	Data potensial pada lokasi A2	38
<b>Tabel 4.3</b>	Data potensial pada lokasi B	39
<b>Tabel 4.4</b>	Data potensial pada lokasi C	40
<b>Tabel 4.5</b>	Data resistivitas pada lokasi A1*	42
<b>Tabel 4.6</b>	Data resistivitas pada lokasi A2*	42
<b>Tabel 4.7</b>	Data resistivitas pada lokasi B*	43
<b>Tabel 4.8</b>	Data resistivitas pada lokasi C*	43
<b>Tabel 4.9</b>	Data pH dan <i>Moisture content</i> pada lokasi A1	44

<b>Tabel 4.10</b>	Data pH dan <i>Moisture content</i> pada lokasi A2	44
<b>Tabel 4.11</b>	Data pH dan <i>Moisture content</i> pada lokasi B	45
<b>Tabel 4.11</b>	Data pH dan <i>Moisture content</i> pada lokasi C	45



## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1** PROGRAM MIKROKONTROLER ATMega8353

69



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Penggunaan besi dan baja untuk dimanfaatkan sebagai sebuah struktur bukanlah suatu hal yang jarang ditemukan misalnya untuk saluran minyak dan gas, saluran air, maupun tiang konstruksi. Struktur ini tidak semuanya berada di lingkungan terbuka namun ada juga yang ditanam di dalam tanah. Baik besi dan baja maupun material lainnya yang sering digunakan sebagai struktur yang tertanam di dalam tanah, biasanya dilakukan proteksi terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tanah. Proteksi awal yang biasa dilakukan adalah dengan melakukan *coating* pada material struktur tersebut baik itu pada besi dan baja maupun pada material lain seperti aluminium.

Walaupun sebelum struktur tersebut digunakan telah dilakukan proteksi terlebih dahulu sebelum ditanam, tidak dapat dikatakan bahwa struktur akan terlindungi dari kegagalan. Oleh sebab itu, dilakukanlah inspeksi dan pemeliharaan terhadap struktur tersebut. Inspeksi dan pemeliharaan terus dan rutin dilakukan untuk struktur-struktur tersebut, terutama untuk struktur yang tertanam didalam tanah, pemeliharaan dan pemantauan ini sangat perlu dilakukan sebab untuk mempertahankan umur pakai dari struktur yang tertanam. Dan juga untuk mencegah terjadinya kegagalan pada struktur, sebab jika terjadi kegagalan maka akan berdampak pada lingkungan dan perekonomian perusahaan.

Kegagalan yang biasa terjadi pada struktur yang ditanam di dalam tanah biasanya terjadi karena serangan korosi. Hal ini dikarenakan tanah merupakan elektrolit yang bersifat dinamis dan akan berubah setiap waktu. Tanah memiliki banyak variabel-variabel seperti kandungan uap air, pH, kandungan oksigen dan lain-

lain yang akan berubah setiap waktu dan hal ini jika tidak dilakukan inspeksi menyebabkan terjadinya korosi tanah.

Pengukuran potensial, pengukuran resistivitas tanah, pengukuran pH tanah dan pengukuran kelembaban tanah dilakukan untuk memantau dan mengontrol laju korosi yang terjadi pada struktur di dalam tanah namun pengukuran potensial yang dilakukan sampai sekarang masih dirasakan kurang efisien dalam hal waktu yang diperlukan untuk pengukuran. Sebab, pengukuran yang dilakukan masih dilakukan per titik ukur, tidak secara bersamaan. Sehingga jika struktur yang akan diukur memiliki panjang hingga berkilo-kilo meter maka akan sangat membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan hasil pengukuran.

Pada penelitian ini, dirancang sebuah alat pengukur potensial dengan menggunakan mikrokontroler AVR. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan dalam 7 kelas, yaitu keluarga ATTiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATMega, keluarga ATXMega, keluarga ATUSBxx, keluarga ATPWMxx dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral dan fungsinya. Pada penelitian ini digunakan salah satu AVR produk Atmel, yaitu ATMega8535 karena AVR ini murah, mudah didapatkan, dan fasilitasnya lengkap.<sup>[1]</sup>

Diharapkan pembuatan pengukur potensial ini akan menghasilkan alat ukur yang dapat melakukan pengukuran yang dapat memberikan efisiensi terhadap waktu pengukuran. Dan juga dilakukan pengamatan potensial baja hasil pengukuran dengan mikrokontroler ATMega8353 yang dibuat maupun multimeter digital terhadap resistivitas tanah dan pH tanah di lokasi dilakukannya pengukuran. Besar potensial yang terukur dengan mikrokontroler ATMega8353 selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan besar potensial hasil pengukuran menggunakan multimeter digital.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang sebuah alat pengukur potensial dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535 yang akan membantu teknisi atau praktisi untuk mengukur potensial pipa terhadap tanah.
2. Mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi kerja alat yang dirancang.
3. Membandingkan data hasil pengukuran dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8353 dengan data hasil pengukuran menggunakan multimeter digital.

## 1.3 RUMUSAN MASALAH

Tanah merupakan media elektrolit yang bersifat dinamis, dan lingkungan tanah ini akan selalu mengalami perubahan setiap waktu dan juga pada musim yang berbeda, perubahan ini meliputi perubahan secara kimiawi maupun perubahan secara fisik. Tanaman, hewan merupakan faktor yang dapat menyebabkan perubahan lingkungan tanah, namun faktor yang paling berpengaruh adalah dari aktifitas manusia sendiri. Masing-masing tanah memiliki tingkat korosifitas yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Tingkat korosifitas ini dapat dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya adalah resistifitas dan pH. Dalam melakukan pengukuran potensial, resistifitas juga akan memberikan hasil data yang berbeda pada masing-masing media elektrolit tanah yang berbeda besar resistifitasnya.

## **1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN**

### **1.4.1 Daerah Penelitian**

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan di 2 tempat yang masih berada dalam lingkungan Universitas Indonesia, yaitu :

- a. Pengujian pengukuran potensial baja pada tanah di samping Laboratorium Pengecoran Logam.
- b. Pengujian pengukuran potensial baja pada tanah di sekitar Danau Universitas Indonesia.

### **1.4.2 Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dirancang untuk mengukur potensial baja mampu memberikan data yang benar dengan membandingkan data yang didapat dengan data yang dihasilkan dari pengukuran yang dilakukan dengan multimeter digital yang sudah ada walaupun pengukuran dilakukan pada media tanah yang berbeda.

### **1.4.3 Metodologi Pengujian**

Pada pengujian pengukuran potensial baja, yang dilakukan pada media elektrolit tanah yang berbeda dilakukan beberapa pengujian dari beberapa variabel, yaitu :

- a. Pengukuran resistifitas tanah dari masing-masing media elektrolit tanah tempat dilakukannya pengujian pengukuran potensial baja.
- b. Pengukuran pH tanah dari masing-masing media elektrolit tanah tempat dilakukannya pengujian pengukuran potensial baja.

## 1.5 SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain, antara lain :

**Bab I Pendahuluan** Membahas mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, rumusan masalah penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### **Bab II Dasar Teori**

Membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan korosi dan media elektrolit tanah serta teori singkat mengenai mikrokontroler ATmega8353.

### **Bab III Metodologi Penelitian**

Membahas mengenai diagram alir penelitian, prosedur penelitian, dan pengujian.

### **Bab IV Hasil Penelitian**

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik.

### **Bab V Pembahasan**

Membahas mengenai analisa dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.

### **Bab VI Kesimpulan**

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB 2**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 KOROSI**

##### **2.1.1 Definisi Korosi**

Korosi merupakan proses penurunan mutu atau degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dan atau elektrokimia akibat interaksinya dengan lingkungan yang bersifat korosif.<sup>[2]</sup>

Ada juga definisi lain tentang korosi yaitu suatu proses kebalikan dari proses ekstraksi logam dari bijih mineralnya.<sup>[3]</sup>

##### **2.1.2 Syarat terjadinya korosi**

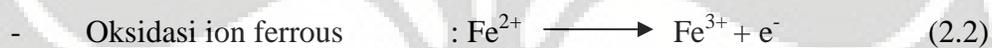
Peristiwa korosi dapat terjadi apabila telah memiliki empat komponen yang menjadi syarat-syarat penyusunnya, yaitu:<sup>[4]</sup>

1. Anoda, merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif akan berkumpul,
2. Katoda, merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif akan berkumpul,
3. Media Elektrolit, media yang menghantarkan elektron antara katoda dan anoda,
4. Hubungan arus listrik.

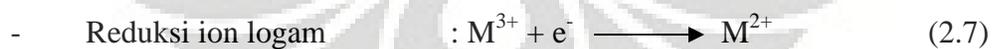
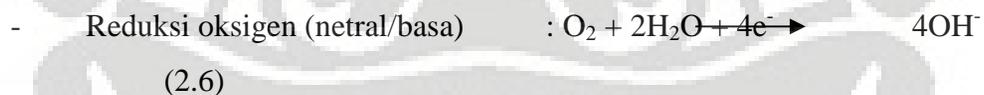
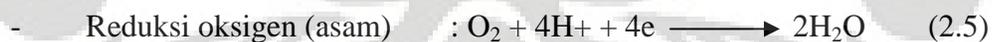
### 2.1.3 Mekanisme Korosi

Korosi pada suatu media penghantar atau elektrolit terjadi melalui mekanisme elektrokimia yang ditandai dengan pelepasan elektron-elektron pada permukaan logam yang terkorosi. Pada proses korosi tersebut, elektron-elektron yang dilepaskan oleh anoda akan diambil oleh katoda untuk proses reduksi. Katoda akan mengalirkan arus ke anoda melalui elektrolit, sedangkan elektron akan dilepaskan anoda menuju katoda melalui logam.

Secara umum reaksi yang berlangsung pada anoda adalah sebagai berikut:<sup>[2]</sup>



Sedangkan pada katoda, reaksi yang mungkin terjadi selama proses korosi logam adalah :



Mekanisme korosi dibagi kedalam empat tahap yaitu :

- Larutnya logam pada anoda

- Transfer elektron dari logam (anoda) ke penerima elektron (katoda)
- Terjadinya arus ion dalam larutan
- Terjadinya arus elektron dari logam

## 2.2 PENGUKURAN POTENSIAL

Pengukuran potensial korosi untuk tiap logam yang berbeda memiliki hasil potensial yang berbeda pula. Hal ini terjadi karena ion dan elektron yang dihasilkan selama reaksi akan menumpuk menghasilkan potensial elektroda yang tergantung pada jenis logam dan jenis larutan elektrolitnya. Potensial yang terukur ini merupakan potensial reduksi, dimana ia menunjukkan tingkat kereaktifan dari suatu logam terhadap lingkungannya. Semakin reaktif suatu logam maka potensial reduksi yang terukur akan semakin rendah. Logam dengan potensial reduksi yang rendah cenderung akan mengalami proses oksidasi atau dengan kata lain logam dengan potensial reduksi yang semakin rendah akan semakin mudah pula terkorosi.

Potensial elektroda tidak dapat diukur. Yang dapat diukur adalah beda potensial dari kedua elektroda (dalam suatu sel). Untuk itu perlu suatu elektroda yang potensialnya diketahui oleh karena itu dipilih elektroda hidrogen standar sebagai pembanding, dengan konvensi bahwa elektroda ini mempunyai potensial sama dengan nol.

Untuk mengetahui potensial dari suatu elektroda, maka disusun suatu sel yang terdiri dari elektroda (logam) tersebut dipasangkan dengan elektroda hidrogen standar (Standard Hydrogen Electrode). Potensial suatu elektroda (logam) didefinisikan sebagai potensial sel yang dibentuk dari elektroda tersebut dengan elektroda hidrogen standar, dengan elektroda (logam) selalu bertindak sebagai katoda.<sup>[5]</sup>

Tidak semua pengukuran potensial korosi logam menggunakan elektroda standar hidrogen (SHE), namun disesuaikan dengan elektrolit tempat terjadinya

reaksi redoks. Untuk lingkungan tanah, elektroda standar yang biasa digunakan adalah Cu/CuSO<sub>4</sub>.<sup>[6]</sup>

Pengetahuan mengenai potensial korosi dari material-material mutlak diperlukan dalam desain pemilihan material ataupun dalam mencegah dan mengatasi terjadinya korosi pada struktur atau part yang menggunakan material yang mengalami kontak dengan media yang korosif, seperti air laut.

Untuk mengetahui perbedaan besar energi potensial dari material-material pada lingkungan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1** Deret Galvanic dari beberapa material pada lingkungan tanah<sup>[7]</sup>

Metal	Approximate Volts to CuCuSo <sub>4</sub>
Magnesium Alloy	-1.60
Zinc	-1.10
Aluminum Alloy	-1.05
Mild Steel (Clean & Shiny)	-0.50 to -0.80
Mild Steel (Rusted)	-0.20 to -0.50
Cast Iron	-0.50
Lead	-0.50
Mild Steel in concrete	-0.20
Copper, Brass, Bronze	-0.20
Mill Scale on steel	-0.20
Carbon, Graphite, Coke	+0.30

Hasil potensial yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan potensial dengan standar Cu/CuSO<sub>4</sub>. Nilai ini dapat di konversikan kedalam standar hydrogen (SHE) dengan menjumlahkan hasil potensial yang didapat dalam pengukuran dengan konstanta konversi SHE yaitu sebesar +0,318V.

**Tabel 2.2** Konversi elektroda standar Ke dalam SHE<sup>[6]</sup>

Elektroda	Reaksi Setengah Sel	Konversi (SHE)
Hg/HgCl	$\text{HgSO}_4 + 2e = 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	+ 0,615 Volt
Cu/CuSO <sub>4</sub>	$\text{CuSO}_4 + 2e = \text{Cu} + \text{SO}_4^{2-}$	+ 0,318 Volt
Saturated Calomel	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2e = 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	+ 0,241 Volt
Ag/AgCl	$\text{AgCl} + e = \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+ 0,222 Volt
SHE	$2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$	0,000

## 2.3 KOROSI TANAH (*Corrosion by Soils*)

### 2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Tanah tersusun melalui proses pencampuran dari hasil penghancuran batuan secara fisik yang selanjutnya akan diubah oleh cuaca (*clastic sediments*), endapan kimia material dari larutan (*nonclastic sediments*) dan unsur organik.<sup>[8]</sup>

Oleh sebab itu, tanah di suatu daerah tidak memiliki karakteristik yang sama dengan daerah lainnya sebab faktor pembentuk tanah tersebut berbeda.

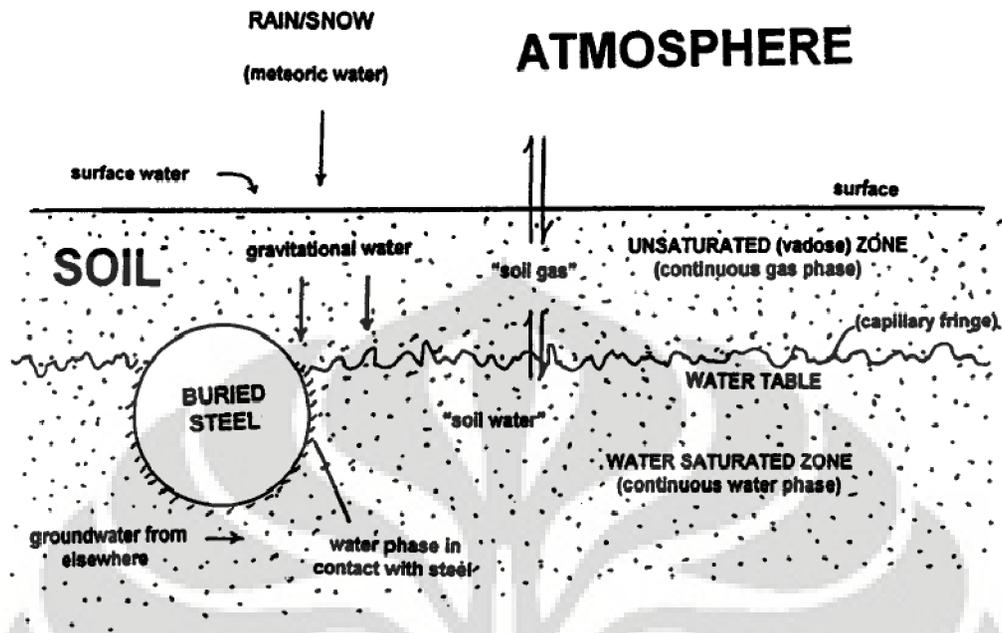
Klasifikasi tanah berdasarkan sifat fisik, komposisi kimia dan besar resistivitasnya masing-masing dapat dilihat pada **Tabel 2.2** Berikut :

**Tabel 2.3** Klasifikasi tanah berdasarkan sifat fisik, komposisi kimia dan resistivitas<sup>[9]</sup>

Type of Soil	Physical Properties (Particle size, plasticity, moisture, ...)	Chemical Composition (Main constituents and contaminants)	Resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
Sand	Particle sizes: Fine : 0.02 / 0.06 mm Medium : 0.06 / 0.2 mm Coarse : 0.2 / 0.6 mm Good drainage	$\text{SiO}_2$ , ...	10,000 to 500,000
Gravel	Particle sizes: Fine : 2 / 6 mm Medium : 6 / 20 mm Coarse : 20 / 60 mm Excellent drainage	$\text{SiO}_2$ , ...	20,000 to 400,000
Loam	Plastic mixture High moisture	$\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ... Dissolved species: $\text{H}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ , ...	3,000 to 20,000
Clay	Very plastic mixture High moisture	$\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ... Dissolved species: $\text{H}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$	500 to 2,000
Silt	Coarse clay High moisture	$\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ... Dissolved species: $\text{H}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$	1,000 to 2,000

Tanah yang memiliki sifat sulit mengalirkan air memiliki sifat korosif yang paling tinggi sedangkan tanah yang mampu mengalirkan air dengan baik memiliki sifat korosif yang kecil. Misalnya saja, tanah di daerah pantai memiliki kandungan unsur organik (humus) yang hampir tidak ada akan besar resistivitas yang berbeda dengan tanah yang terdapat di daerah hutan dimana tanah tersebut banyak mengandung unsur organik (humus).<sup>[10]</sup>

Karakteristik tanah juga memiliki perbedaan jika dilihat dari kedalamannya. Dibawah ini akan diberikan sebuah ilustrasi pipa yang tertanam dalam tanah dengan sebagian pipa berada pada daerah unsaturated dan bagian lainnya pada daerah water saturated :



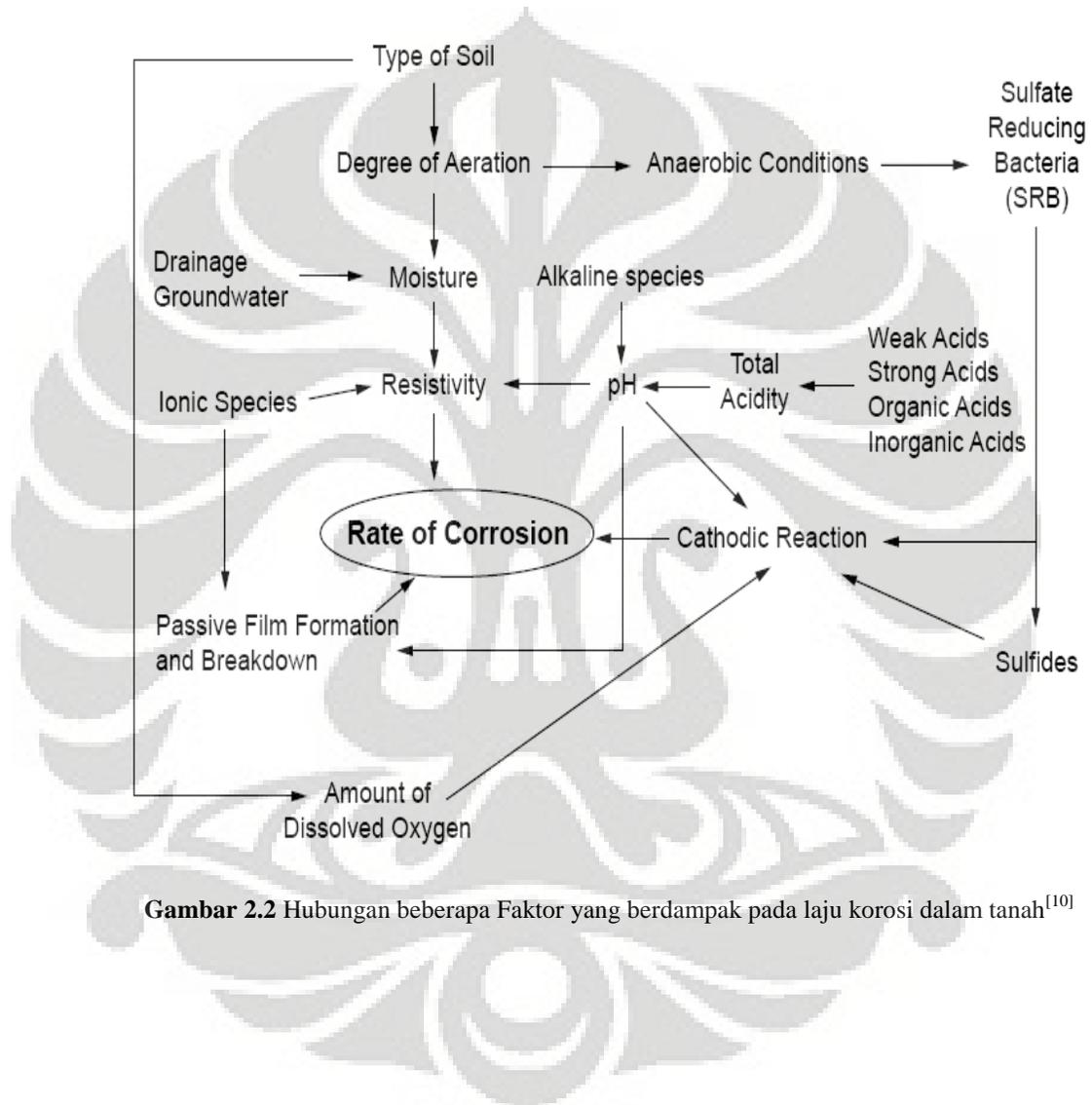
Gambar 2.1 Ilustrasi pipa yang tertanam dalam tanah<sup>[8]</sup>

Sifat dan karakteristik dari tanah juga dapat disamakan sebagai fungsi dari kedalaman. Pengkarakteristikan tanah berdasarkan bagian ketinggian secara vertikal dikenal sebagai profil tanah, dan pengelompokan berdasarkan perbedaan lapisan tanah dikenal dengan horizon tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan horizon tanah dibagi kedalam beberapa kelas:<sup>[10]</sup>

- *A. Surface soil* (biasanya berwarna gelap karena mengandung unsur organik)
- *O. Organic horizon* (pengendapan sisa-sisa tanaman yang membusuk)
- *E. Eluviation horizon* (berwarna terang)
- *B. accumulation horizon* (kaya dengan oksida logam)
- *C. Parent material* (daerah batuan yang luas)

### 2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Korosi Tanah

Beberapa faktor penting yang dapat mempengaruhi laju korosi dari tanah atau peningkatan sifat korosifitas pada tanah, faktor-faktor itu antara lain air, pH tanah, derajat aerasi, resistivitas, potensial redoks dan aktivitas mikrobiologi.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.2** Hubungan beberapa Faktor yang berdampak pada laju korosi dalam tanah<sup>[10]</sup>

### 2.3.2.1 Kandungan uap air atau kelembaban (*Moisture*)

Air, dalam bentuk larutan maupun gas merupakan syarat dasar untuk reaksi elektrokimia pada proses korosi, dimana tanah dibedakan menjadi dua daerah yaitu daerah saturated dan daerah unsaturated yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 Dimana daerah itu mewakili pergerakan air dari daerah yang basah (saturated) ke daerah yang kering (unsaturated) dengan gaya gravitasi. Walaupun secara teori air selalu bergerak dari tempat yang tinggi menuju tempat yang rendah, namun di dalam tanah dapat terjadi sebaliknya. Air yang terdapat pada tanah basah yang berada di bawah dapat bergerak menuju tanah kering yang posisinya di atas tanah basah melalui gaya kapileritas.<sup>[10]</sup>

Pada daerah saturated, aliran air bergantung pada besarnya pori-pori tanah dan penyebarannya, tekstur tanah, struktur tanah, dan kandungan unsur organik dalam tanah tersebut. Pergerakan air dari satu daerah ke daerah lainnya dapat terjadi melalui beberapa cara yaitu dengan gravitasi, gaya kapileritas, tekanan osmosis dan interaksi elektrostatis antar partikel tanah.

Air merupakan elektrolit yang memicu reaksi elektrokimia sehingga menyebabkan korosi. Perbedaan tersebut disebabkan oleh aliran air jenuh dan tidak jenuh pada tanah yang berhubungan dengan pergerakan air dari daerah yang basah menuju daerah yang kering. Kejenuhan air tergantung dari ukuran dan distribusi pori, tekstur, struktur, dan bahan organik.<sup>[10]</sup>

Korosi pada tanah atau *soil corrosion* adalah jenis korosi *aqueous* dengan mekanisme elektrokimia. Namun kondisi pada tanah dapat menggeser atmosferik menjadi keadaan *immersed* tergantung dari kepadatan tanah dan kadar kristal air (*moisture content*). Walaupun mekanismenya merupakan elektrokimia, banyak karakteristik tanah yang akan meningkatkan korosifitas seperti hujan, iklim maupun reaksi pada tanah tersebut. Pada tanah, air dibutuhkan untuk ionisasi untuk oksidasi pada permukaan logam. Air juga dibutuhkan untuk ionisasi elektrolit tanah, untuk

melengkapi sirkulasi aliran arus pada aktivitas korosi. Dengan demikian, air mempunyai pengaruh dalam terjadinya korosi pada tanah.<sup>[11]</sup>

Kelembaban tanah sangat penting terhadap mekanisme korosi, contohnya tanah yang mengandung pasir kering akan lebih tahan korosi dibandingkan tanah yang mengandung tanah liat basah. Daerah dengan kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan nilai resistivitas suatu tanah akan menurun sehingga daerah tersebut memiliki tingkat korosi yang tinggi. Hal ini disebabkan uap air adalah salah satu pemicu atau media elektrolit dalam peristiwa korosi.

Tipe Kelembaban tanah antara lain:<sup>[11]</sup>

#### 1. *Free ground water*

Air berada pada kedalaman tertentu, bervariasi dari beberapa meter hingga ratusan meter tergantung pembentukan geologi. Hanya sebagian kecil logam yang digunakan pada kondisi bawah tanah (*underground*) digunakan pada kondisi lingkungan air. Korosi pada kondisi ini adalah korosi lingkungan *aqueous*.

#### 2. *Gravitational water*

Air masuk ke dalam tanah melalui permukaan dari hujan atau sumber lain bergerak ke bawah. Air gravitasi ini akan mengalir dengan kecepatan tertentu dipengaruhi struktur fisik meliputi pori-pori tanah pada berbagai daerah. Pada umumnya, air gravitasi ini tersaring dengan cepat hingga ke tingkat air tanah permanen.

#### 3. *Capillary water*

Kebanyakan tanah terdiri dari beberapa jumlah air pada ruang kapiler pada partikel lumpur dan tanah liat. Jumlah aktual air tersebut dipengaruhi jenis tanah dan kondisi cuaca. Kelembaban kapiler tersebut merupakan penyimpanan air pada tanah yang akan di kirim kepada binatang maupun tumbuhan yang hidup di alamnya.

### **2.3.2.2 Derajat Aerasi**

Oksigen bebas yang terdapat dalam tanah juga berpengaruh terhadap proses korosi, sebab oksigen ini akan berkombinasi dengan ion logam dan membentuk oksida, hidroksida ataupun garam logam.<sup>[11]</sup>

Dalam tanah, konsentrasi oksigen akan menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah tersebut. Oleh sebab itu, konsentrasi oksigen pada daerah saturated akan berbeda dengan konsentrasi oksigen pada daerah unsaturated. Pada tanah netral atau tanah yang banyak mengandung unsur alkalin, konsentrasi oksigen merupakan faktor yang sangat penting terhadap laju korosi di dalam tanah, karena berperan dalam reaksi katodik. Perbedaan kadar Oksigen tersebut dapat menimbulkan perbedaan potensial dan menyebabkan terjadinya arus yang dapat meningkatkan laju korosi.

Logam yang berada pada lingkungan yang kaya oksigen akan teroksidasi dengan lebih cepat dari logam yang berada pada lingkungan yang kelarutan oksigennya lebih rendah. Hal ini terjadi karena keberadaan kelarutan oksigen yang tinggi akan bertindak sebagai stimulan untuk terjadinya reaksi reduksi, dengan menerapkan prinsip kesetimbangan reaksi, maka laju oksidasi juga meningkat, akibatnya reaksi korosi menjadi lebih cepat terjadi dibandingkan dengan logam yang tercelup didalam larutan yang konsentrasi oksigennya rendah. Contohnya adalah korosi pada pipa baja dalam tanah terjadi karena perbedaan aerasi didalam tanah yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.1.

Walaupun demikian kehadiran mikroba (seperti *sulfate reducing bacteria*), dapat meningkatkan laju korosi walaupun berada pada kondisi dengan konsentrasi oksigen yang rendah (kondisi anaerob).

Aerasi pada tanah secara langsung berhubungan dengan ruang pori dan kandungan air sebab ruang pori pada tanah dapat mengandung air maupun gas. Tanah bertekstur halus dengan kandungan tanah liat yang tinggi memiliki patikel yang lebih padat dan memiliki kapasitas pori untuk difusi gas yang lebih sedikit dibandingkan tanah jenis pasir.<sup>[11]</sup>

Kandungan oksigen pada tanah merupakan hal menarik pada korosi. Secara umum diasumsikan bahwa gas di atas lapisan tanah adalah sama komposisinya dengan di dalam tanah, kecuali kandungan karbon dioksida yang tinggi. Pada kenyataannya, akar tanaman akan menyebabkan oksigen berpenetrasi ke dalam tanah dan dapat diasumsikan gas tanah tersebut berada pada kedalaman 6 m atau lebih mengandung jumlah oksigen yang signifikan.<sup>[11]</sup>

Difusi gas ke dalam tanah dapat dipengaruhi oleh iklim. Temperatur berubah dari pagi hingga malam menyebabkan ekspansi dan kontraksi gas ke permukaan tanah. Selain itu aktivitas biologi akan menurunkan kadar oksigen menggantikan oksigen dengan gas dari aktivitas metabolisme seperti karbon dioksida. Kebanyakan aktivitas biologi terdapat pada di atas 150 mm dalam tanah dan pada daerah tersebut difusi akan berjalan dengan cepat.<sup>[11]</sup>

### 2.3.2.3 pH

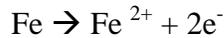
Proses korosi logam sangat dipengaruhi pH. Setiap logam memiliki kecenderungan korosi pada setiap tingkat keasaman lingkungan (pH) yang berbeda untuk beda potensial tertentu. Pada logam Fe untuk pH rendah yaitu dalam kondisi asam, logam akan berada dalam kondisi *immun* atau jika dalam beda potensial yang tinggi akan menjadi ion  $Fe^{2+}$  dan ion  $Fe^{3+}$  dimana berada dalam daerah aktif.

Untuk pH netral (~7) maka logam Fe akan berada dalam daerah *immun* serta pada lapisan pasif dalam bentuk  $Fe_2O_3$  dan  $Fe_3O_4$  dimana lapisan pasif bertindak sebagai pelindung oksidasi selanjutnya.

Sedangkan untuk pH yang tinggi atau dalam kondisi basa maka Fe akan berada dalam daerah *immun*, korosif ( $HFeO_2^-$ ) dan terbentuk lapisan pasif  $Fe_2O_3$ . Hal ini dapat ditunjukkan bahwa laju korsi semakin lambat karena adanya lapisan pasif. Pada pH di atas 14, tanpa oksigen terlarut maka laju korosi akan meningkat, Hal ini

disebabkan terbentuknya  $\text{HfFeO}_2$ . Semua kondisi dari Fe tersebut dapat ditentukan dari diagram Pourbaix yang menggambarkan hubungan potensial dengan pH.

Reaksi yang terjadi pada anoda untuk semua pH adalah (misalnya pada Fe):



Seperti yang sudah dijelaskan di atas, laju korosi pada reaksi reduksi memiliki nilai yang berbeda untuk semua pH. Reaksi yang terjadi di permukaan logam, di bawah deposit, oksigen direduksi secara katodik :



Bila tidak ada deposit pada permukaan, reaksinya:



Untuk mengetahui keadaan suatu material pada kondisi tertentu dapat digunakan diagram pourbaix. Diagram pourbaix adalah suatu diagram kesetimbangan yang menunjukkan kondisi logam pada pH tertentu dan potensial tertentu.

Pada diagram pourbaix keadaan material pada pH dan potensial tertentu dibagi menjadi 3, yaitu :

1. keadaan pasif,
2. keadaan terkorosi dan
3. keadaan immune

kekurangan diagram pourbaix ialah diagram ini hanya dapat memprediksi keadaan logam, tanpa mengetahui kecepatan korosi. Selain itu diagram ini tidak memperhitungkan pengaruh faktor lingkungan lainnya seperti kehadiran ion chlorine yang dapat menyebabkan terjadinya *pitting corrosion* serta hanya berlaku untuk unsur logam murni.

Banyak pendapat yang berbeda mengenai rentang pH yang terdapat pada tanah. Tanah biasanya mempunyai rentang pH dari 3,5 hingga 10.<sup>[8]</sup>

Namun ada sumber lain yang menyebutkan bahwa rentang pH tanah hanya berkisar antara 5 hingga 8.<sup>[10]</sup>

Tanah yang banyak mengandung unsur organik akan berisifat asam, begitu juga tanah yang banyak mengandung mineral juga bersifat asam karena proses *leaching* dari unsur-unsur mineral ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{K}^{+}$ ) karena air hujan dan juga terlarutnya karbon dioksida ke dalam tanah. Pada tanah yang memiliki pH yang lebih tinggi, proses *passivasi* yang akan terjadi sehingga pada tanah basa, pipa baja akan menghasilkan *scale* yang bersifat protektif.

Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa pH pada tanah merupakan faktor penting karena didalam tanah mengandung nutrisi seperti Nitrogen (N), *Potassium* (K), dan *Phosphorus* (P) yang dibutuhkan tumbuhan untuk berkembang. Jika pH tanah di bawah 5,5 maka tumbuhan dapat membentuk Nitrogen dalam bentuk nitrat. Sedangkan Phosphorus terbentuk pada pH tanah antara 6 dan 7.<sup>[12]</sup>

Keasaman tanah menjadi bagian dari terbentuknya asam karbonat dari karbon dioksida akibat aktivitas biologi dan air. Selain itu, keasaman tanah juga disebabkan oleh perubahan cuaca, jenis mineral tanah, hilangnya kebasaaan atau elemen asli akibat *leaching*, terbentuknya keasaman organik dan inorganik akibat aktivitas mikrobiologi, pengeluaran akar, polusi terhadap tanah khususnya limbah industri.<sup>[11]</sup>

#### 2.3.2.4 Resistivitas

Resistivitas merupakan faktor penting yang mempengaruhi laju korosi terutama pada media tanah. Pada tanah dengan nilai resistivitas yang tinggi, maka tingkat korosifitas dari tanah tersebut akan rendah dan sebaliknya pada tanah yang resistivitasnya rendah, maka tingkat korosifitas tanahnya tinggi. Penurunan nilai

resistivitas dipengaruhi oleh kandungan uap air atau kelembaban dari tanah dan mineral-mineral seperti Ca dan Mg yang terkandung di dalam tanah. [8]

Dibawah ini merupakan tingkat korosifitas berdasarkan nilai dari resistivitas tanah :

**Tabel 2.4** Tingkat Korosifitas berdasarkan Resistivitas Tanah<sup>[13]</sup>

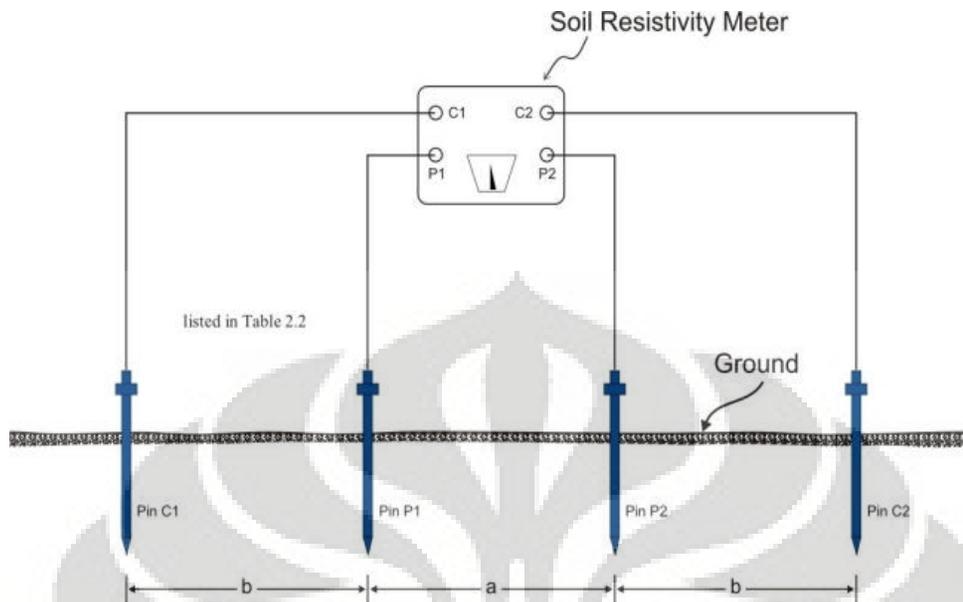
Soil resistivity, $\Omega \cdot \text{cm}$	Corrosivity rating
>20,000	Essentially noncorrosive
10,000–20,000	Mildly corrosive
5,000–10,000	Moderately corrosive
3,000–5,000	Corrosive
1,000–3,000	Highly corrosive
<1,000	Extremely corrosive

Pengukuran besarnya resistivitas tanah dapat dihitung dengan 2 metode, yaitu dengan pengujian lapangan menggunakan *Wenner Four Pin Methode* atau pengujian di laboratorium dengan menggunakan *Soil Box Resistivity Test*.

a. *Wenner Four Pin Method*<sup>[14]</sup>

Pengujian menggunakan 4 pin yang ditancapkan dipermukaan yang dihubungkan dengan sumber listrik. Saat sumber listrik dihubungkan (V), arus (I) akan mengalir diantara rangkaian pin melalui elektroda tanah (sebagai media lelektrolit) yang ditimbulkan oleh medan listrik diantara rangkaian pin tersebut.

Rangkaian pin dapat dilihat melalui gambar berikut :



**Gambar 2.3** Wenner four pin soil resistivity test set-up<sup>[15]</sup>

Perbedaan yang terjadi antara pin terluar C1 dan C2 sedangkan arus mengalir melalui tanah dari C1 menuju C2 dan arus ini tercipta karena adanya medan listrik diantara pin-pin, yaitu C1, P1, C2, P2.

Hasil dari pengukuran ini adalah resistivitas tanah. Nilai ini didapat dengan mengukur perbedaan tegangan yang dibagi dengan arus yang mengalir didalam tanah lalu hasil ini akan dikali dengan faktor pengali geometric (2 ) dan jarak antara pin (a).

Perumusan nilai resistivitas, yaitu:<sup>[15]</sup>

$$\rho = 2 \pi A r \quad (2.1)$$

Keterangan :

= Resistivitas Tanah (*ohm-centimeters*)

= 3.1416

**A** = Jarak Antar Probes (*centimeters*)

**R** = Tahanan tanah yang terbaca pada layar pengukuran (*ohms*)

### b. *Soil Box Resistivity Test*

Pengujian menggunakan *Soil Box Methode* memiliki prinsip yang sama dengan *Wenner Four Pin Method*. Baik menggunakan *Soil Box Methode* maupun *Wenner Four Point*, sama-sama menggunakan empat titik uji yang merupakan titik arus dan tegangan. Arus mengalir dari dua titik terluar dan tegangan diukur dari dua titik terdalam. Dua titik terluar *soil box* biasanya terbuat dari elektroda Zn dan titik terdalam terbuat dari elektroda Cu atau dapat juga dua titik terluar dan terdalam sama-sama terbuat dari elektroda Cu.



Gambar 2.4 Soil Box

### 2.3.2.5 Potensial Redoks

Potensial redoks tanah merupakan potensial dari reaksi oksidasi-reduksi dari zat-zat kimia yang terlarut di dalam tanah. Reaksi oksidasi-reduksi tersebut dapat terjadi dalam tanah karena tanah memiliki kandungan air yang cukup tinggi, kandungan garam dan kandungan asam atau basa yang terlarut di dalam tanah. Selain itu bakteri pereduksi seperti *Sulfate Bacteria Reducing* (SBR) juga mempengaruhi tingkat redoks tanah.

Dibawah ini merupakan tingkat korosifitas tanah berdasarkan potensial redoks dengan menggunakan elektroda referensi SHE :

**Table 2.5** Tingkat korosifitas tanah berdasarkan Potensial Redoks<sup>[6]</sup>

Soil $E_h$ (NHE), mV	Corrosivity
<100	Severe
100–200	Moderate
200–400	Slight
>400	Noncorrosive

\* $E_h$  , Redox Potential ; NHE , Normal Hydrogen Scale

### 2.3.2.6 Aktifitas Microbiologically Induced Corrosion (MIC)

Microbiologically Induced Corrosion dapat diartikan sebagai korosi yang diakibatkan karena kehadiran dan aktifitas dari mikroorganisme dalam proses metabolismenya (produk hasil metabolisme). Khususnya *Sulphate Reducting Bacteria* (SRB), dimana terjadi dibawah kondisi anaerob. Pada SRB, produk hasil metabolismenya mengandung ion *sulphide*, yang akan bereaksi dengan permukaan logam yang akan mengakibatkan terjadinya korosi. Bakteri ini memiliki kondisi lingkungan tertentu yang menyebabkan bakteri ini aktif, yaitu pada pH sekitar 6 sampai 8 dengan temperature 20° hingga 30° dengan lingkungan tanah yang memiliki besar resistivitas 500 sampai 20.000  $\Omega$ -cm.<sup>[6]</sup>

Tidak hanya bakteri yang berperan penting dalam terjadinya korosi di dalam tanah, namun jamur dan mikroorganisme lainnya juga ikut berperan dalam proses korosi pada logam yang terpendam di dalam tanah. Ada mikroorganisme yang berkembang dan menyebabkan korosi pada lingkungan anaerob seperti *Sulphate Reducting Bacteria* (SRB), namun ada juga mikroorganisme yang berkembang pada kondisi aerob.

**Tabel 2.6** Karakteristik Bakteri yang berhubungan dengan Korosi Tanah<sup>[10]</sup>

Species	Likely soil conditions	Metabolic action	Species produced	Comments
Sulfate-reducing bacteria (SRB)	Anaerobic, close to neutral pH values, presence of sulfate ions. Often associated with waterlogged clay soils	Convert sulfate to sulfide	Iron sulfide, hydrogen sulfide	Very well known for corrosion of iron and steel. <i>Desulfovibrio</i> genus very widespread
Iron-oxidizing bacteria (IOB)	Acidic, aerobic	Oxidize ferrous ions to ferric ions	Sulfuric acid, iron sulfate	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> is a well-known example
Sulfur-oxidizing bacteria (SOB)	Aerobic, acidic	Oxidize sulfur and sulfide to form sulfuric acid	Sulfuric acid	<i>Thiobacillus</i> genus is a common example
Iron bacteria (IB)	Aerobic, close to neutral pH values	Oxidize ferrous ions to ferric ions	Magnetite	<i>Gallionella</i> genus is an example. Usually associated with deposit and tubercle formation

Namun dari kedua mikroorganisme tersebut memiliki kesamaan yaitu ketersediaan nutrisi dan pH menjadi faktor penting bagi kedua mikroorganisme tersebut untuk berkembang.<sup>[11]</sup>

Masing-masing mikroorganisme mempunyai perang tersendiri dalam proses korosi.<sup>[10]</sup>

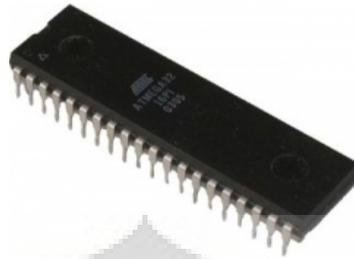
- Bakteri aerob, memproduksi mineral asam yang korosif,
- Bakteri anaerob, meningkatkan korosifitas akibat proses metabolisme (produk hasil metabolismenya mengandung ion *sulphide*),
- Jamur, mengakibatkan korosi karena proses metabolismenya misalnya asam organik yang dapat merusak *coating organic*,
- *Slime Former*, dapat menyebabkan terbentuknya sel konsentrasi pada permukaan material.

## 2.4 Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*)

Mikrokontroler merupakan suatu *chip* yang dapat diprogram untuk dapat melakukan fungsi kendali pada suatu alat. *Chip* ini memiliki memori di dalam tubuhnya. Memori inilah yang akan menyimpan program yang dapat kita isikan melalui PC menggunakan *port* serial / paralel. Setelah kita mengisikan program ke dalam *chip* tersebut, maka *chip* itu akan dapat digunakan sebagai pengendali gerakan robot, penampilan suhu digital, dan lain-lainnya sesuai dengan program yang kita buat.

Perkembangan teknologi telah maju pesat dalam perkembangan dunia elektronika, khususnya mikroelektronika. Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi suatu teknologi standar bagi para desainer sistem elektronika masa kini. Dengan perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*), para desainer elektronika telah diberi suatu teknologi yang memiliki kapabilitas yang amat maju tetapi dengan biaya ekonomis yang cukup minimal.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit (*16 bits word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. Tentu saja itu terjadi karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*).



[C] embedit.de

**Gambar 2.5** Atmel AVR jenis ATmega8535<sup>[16]</sup>

Secara umum, AVR dapat dikelompokkan dalam 7 kelas, yaitu keluarga ATTiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, keluarga ATXMega, keluarga ATUSBxx, keluarga ATPWMxx dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral dan fungsinya. Pada penelitian ini digunakan salah satu AVR produk Atmel, yaitu ATmega8535 karena AVR ini murah, mudah didapatkan, dan fasilitasnya lengkap. Fitur – fitur ATmega8535 diantaranya adalah sebagai berikut:<sup>[1]</sup>

1. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal 16 Mhz.
2. Kapabilitas memory *flash* 8kb, *SRAM* sebesar 512 byte, dan *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 512 byte.
3. *ADC* internal dengan fidelitas 10 bit sebanyak 8 *channel*.
4. Portal komunikasi *serial* (*USART*) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps.
5. enam pilihan mode *sleep* untuk menghemat penggunaan daya listrik.

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5
(TXD) PD1	15	26	PC4
(INT0) PD2	16	25	PC3
(INT1) PD3	17	24	PC2
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2.6 Kofigurasi Pin ATmega8535<sup>[17]</sup>

Dari gambar.... tersebut dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATmega8535 sebagai berikut:<sup>[18]</sup>

1. VCC merupakan pin masukan positif catu daya. Setiap piranti elektronika digital membutuhkan sumber daya yang umumnya sebesar 5V. Oleh karena itu, biasanya di PCB kit mikrokontroler selalu ada IC regulator 7805
2. GND sebagai pin *ground*.
3. Port A (PA0....PA7) merupakan pin I/O dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC.
4. Port B (PB0....PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, komparator analog dan *SPI*.
5. Port C (PC0....PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *TWI*, komparator analog dan *Timer Oscilator*.

6. Port D (PD0....PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal dan komunikasi *serial*.
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler sehingga program akan kembali ke awal.
8. XTAL 1 dan XTAL 2 merupakan pin masukan *clock* eksternal. Suatu mikrokontroler membutuhkan sumber detak (*clock*) agar dapat mengeksekusi instruksi yang ada di memori. Semakin tinggi nilai kristalnya, semakin cepat mikrokontroler tersebut.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

Untuk penggunaan pin – pin tersebut kita harus menginisialisasi sebagai input atau sebagai output. Dalam satu Port pada AVR terdapat tiga register untuk inisialisasi, tapi tidak semuanya dipakai.

Register tersebut adalah :

1. DDRx = (x adalah nama port salah satu dari A – D) register ini berfungsi untuk inisialisasi Port sebagai input atau output. Bila diberi 1 maka Port yang bersangkutan akan menjadi output. Sebaliknya, bila diberi 0 maka akan menjadi input.
2. PORTx = register ini berfungsi untuk mengaktifkan resistor Pull Up internalnya dan mengeluarkan data ke Portnya..
3. PINx = register ini berfungsi untuk menerima data dan memasukkannya ke variabel.

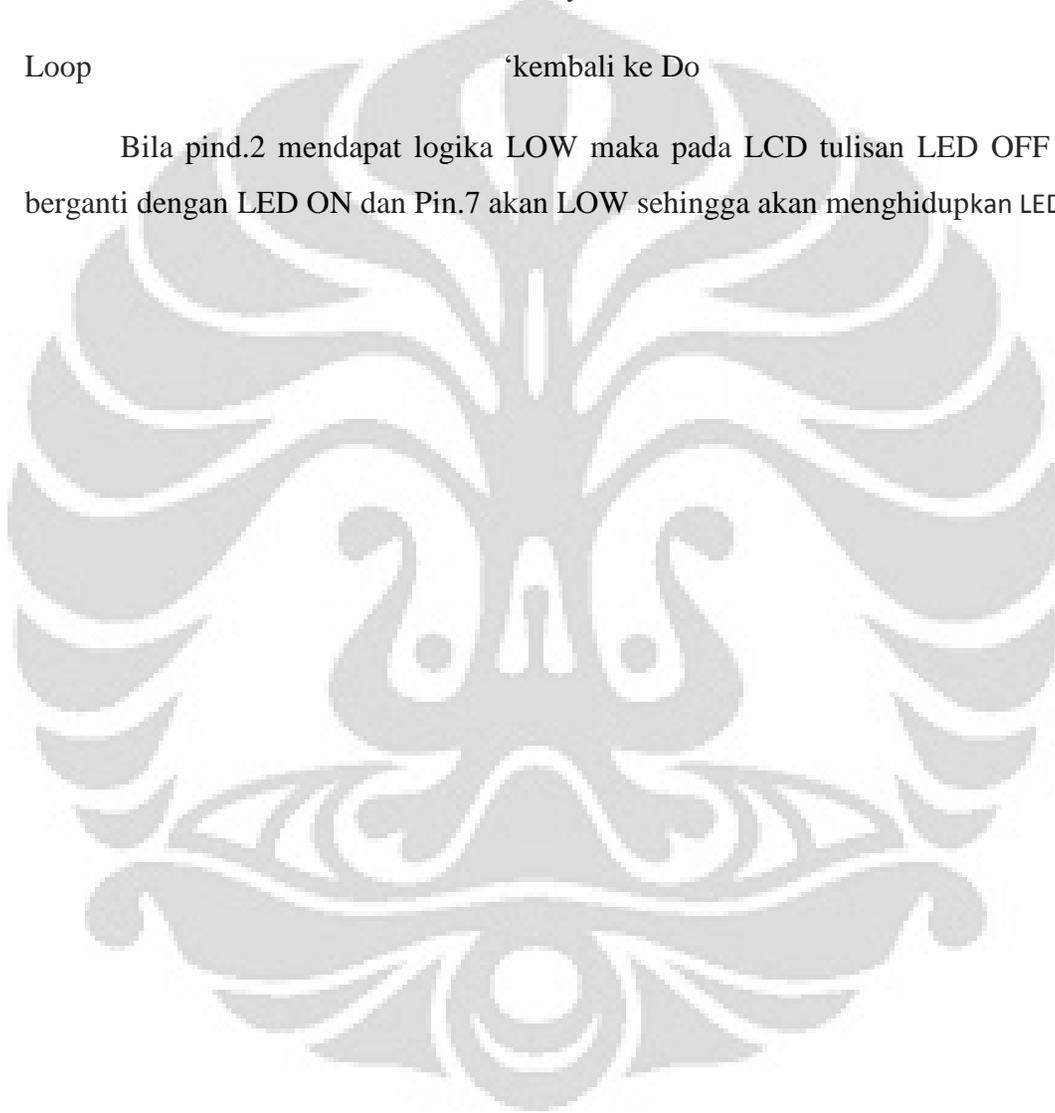
Karena menggunakan compiler *BASCOM-AVR* sehingga *listing* programnya akan menjadi jauh lebih mudah dibanding menggunakan *assembler*-nya. Instruksi –

instruksi yang terdapat pada *compiler* ini lebih mudah diingat karena mirip “kata – kata” dalam bahasa Inggris. Berikut adalah contoh *listing* program sekaligus penjelasannya untuk men-set Portd sebagai input atau output.

\$crystal = 8000000	'inisialisasi frekuensi AVR sebesar 8Mhz
Dim A As Bit	'inisialisasi variabel A bertipe bit,karena 'nilai A hanya berkisar 1 atau 0
Config Portd = Input	'inisialisasi portd sebagai input
Config Portc.7 = Output	'inisialisasi portc.7 sebagai output
Portd.2 = 1	'portd.2 kondisi awalnya adalah high
Cls	'hapus layer LCD
Do	'sebagai awal program utama
Cls	'hapus layer LCD
A = Pind.2	'masukan nilai portd.2 ke A (1 atau 0)
If A = 0 Then	'jika A = 0 maka kerjakan instruksi 'selanjutnya, jika bukan lompat ke setelah 'instruksi Else
Upperline	'inisialisasi penulisan di baris satu
Lcd "LED ON"	'tuliskan "LED ON" di baris satu
Portc.7 = 0	'keluarkan logika low ke portc.7(Led aktif low)
Else	'jika A bukan 0 maka kerjakan instruksi 'selanjutnya
Portc.7 = 1	'keluarkan high ke portc.7(Led off)

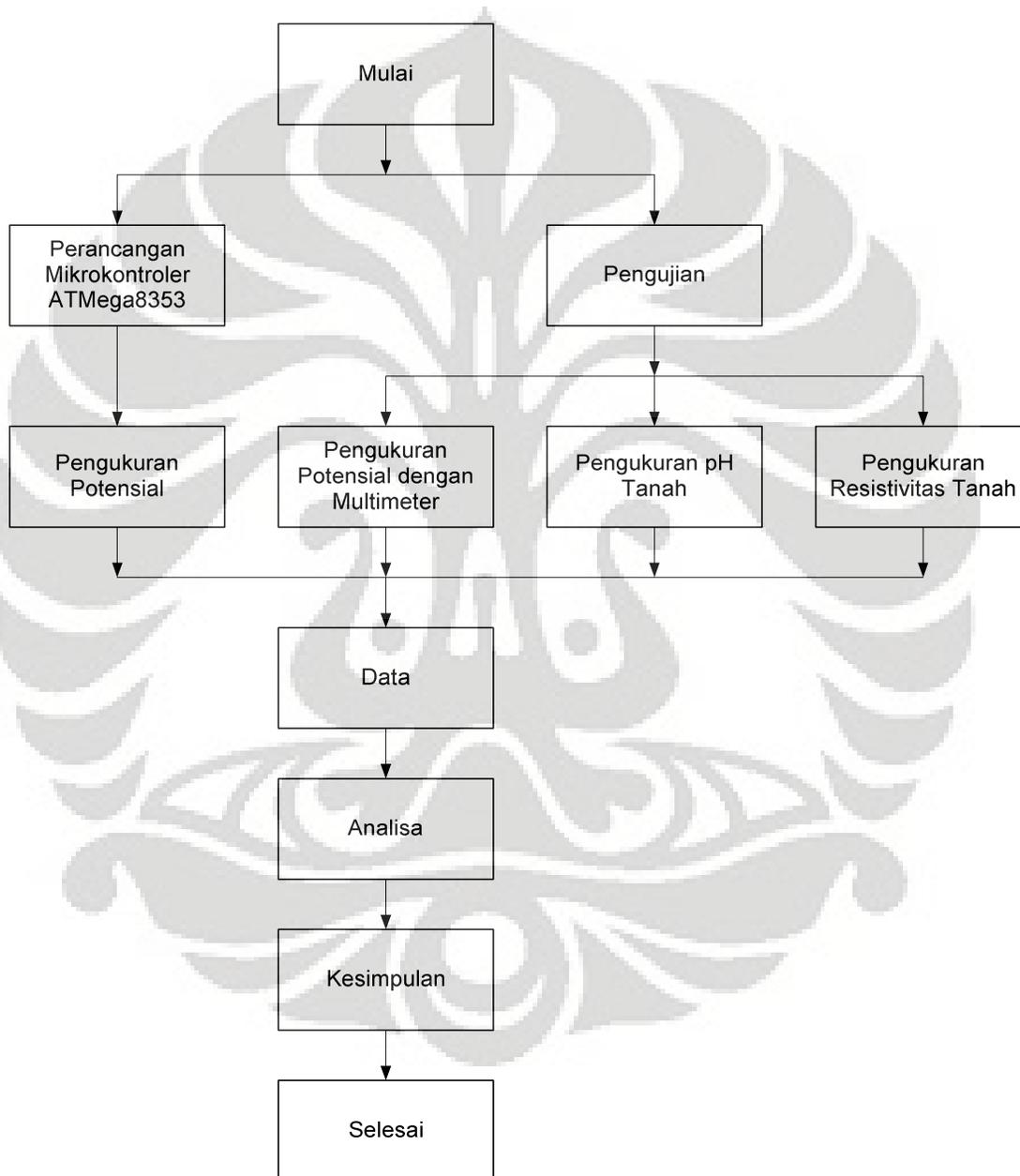
Upperline	'inisialisasi penulisan di baris satu
Lcd "LED OFF"	'tuliskan "LED OFF" di baris satu
End If	'inisialisasi akhir penggunaan If
Wait 1	'delay 1 detik
Loop	'kembali ke Do

Bila pind.2 mendapat logika LOW maka pada LCD tulisan LED OFF akan berganti dengan LED ON dan Pin.7 akan LOW sehingga akan menghidupkan LED.



## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

## 3.2 PROSEDUR PENELITIAN

### 3.2.1 Pengukuran Potensial

Pengukuran potensial dilakukan dengan 2 cara yaitu pengukuran menggunakan mikrokontroler ATmega8353 dan pengukuran dengan menggunakan multimeter digital. Sampel baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran baja medium karbon dan menggunakan elektroda standar Cu/CuSO<sub>4</sub>. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi tanah yang berbeda.

Pengambilan data potensial dilakukan dengan menggunakan variasi jarak antara baja dengan elektroda standar dengan jarak maksimal antara baja dengan elektroda standar Cu/CuSO<sub>4</sub> adalah 10 meter.



Gambar 3.2 Multimeter Digital



Gambar 3.3 Mikrokontroler ATmega8353

### 3.2.2 Pengujian Karakteristik Tanah

#### 3.2.2.1 Pengukuran Resistivitas Tanah

Pengukuran resistivitas dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengukuran langsung pada tanah (*insitu*) dengan metode empat terminal dan pengukuran resistivitas dalam skala laboratorium dengan menggunakan *soilbox*. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian dengan dua cara diatas, untuk sampel tanah yang diambil dari tanah yang berada di sebelah laboratorium pengecoran departemen metalurgi dan

material uji digunakan skala laboratorium dengan menggunakan metode empat terminal dan untuk sampel tanah yang diambil dari danau digunakan metode *soilbox*. Standard yang digunakan untuk metode *soilbox* ini adalah ASTM G-57.

Prosedur pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode *soilbox* antara lain:



**Gambar 3.4** *Soil Resistivity Meter*

1. Tanah dimasukkan kedalam *soilbox* hingga rata dan padat.
2. Kabel C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, dan P<sub>2</sub> pada alat *digital resistivity meter* dihubungkan dengan *soilbox*.



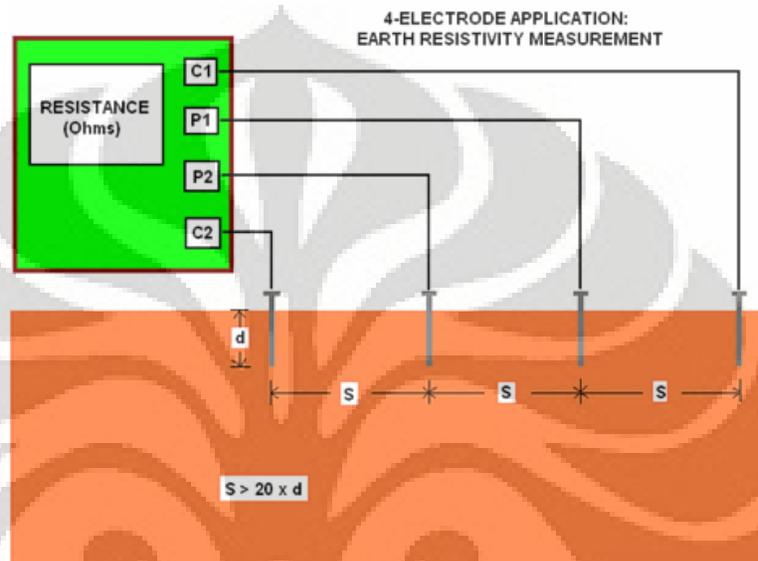
**Gambar 3.5** Skema peletakan kabel C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> pada *soilbox*

3. Tombol berwarna hitam ditekan untuk mendapatkan nilai pengukuran.

Nilai yang dihasilkan adalah nilai resistivitas tanah tersebut (ohm.cm)

Pengukuran resistivitas tanah secara langsung dilapangan (insitu) antara lain:

1. Pin ditancapkan dengan jarak antar pin 1m ( $a = 1$ ).



**Gambar 3.6** Skema peletakan pin pada alat pengukur resistivitas tanah

2. Kabel  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $P_1$ , dan  $P_2$  di alat pengukur resistivitas disambungkan dengan tiang pin.
3. Tombol pengukuran ditekan untuk mendapatkan nilai pengukuran. Nilai pengukuran di layar pengukur adalah nilai tahanan tanah ( $R$ ) sehingga harus dihitung melalui persamaan wenner untuk mendapatkan nilai resistivitas ( ).
4. Setelah dilakukan pengukuran 1m maka dilanjutkan dengan pengukuran 0,5m dan 2m.

Persamaan Wenner:

$$\rho = 2 \pi A r \quad (3.1)$$

keterangan:

R = tahanan tanah yang terbaca pada layar pengukur

A = jarak antar pin (cm)

$\rho$  = resistivitas tanah (  $\Omega$ .cm)

### 3.2.2.2 Pengukuran pH Tanah dan Moisture Content

Pada pengujian ini, pengukuran pH tanah dilakukan dengan menggunakan pH *soil tester*. Pengujian ini mengacu pada ASTM G51.



**Gambar 3.7** Soil pH Meter & Moisture Tester

Prosedur pengukuran pH tanah dengan pH *soil tester* antara lain:

1. Alat penguji pH soil tester ditancapkan vertical hingga elektroda tembaga tertutupi oleh sampel tanah. Tanah dipadatkan agar kontak antara elektroda tembaga dan tanah dapat terjaga.
2. Diamkan selama 3 menit dengan tujuan menstabilkan jarum skala dengan hasil pengukuran.
3. Lihat angka yang ditunjuk jarum pengukuran.
4. Tekan tombol berwarna putih.
5. Diamkan selama 3 menit dengan tujuan menstabilkan jarum skala dengan hasil pengukuran.
6. Lihat angka yang ditunjuk jarum pengukuran. Nilai pengukuran yang ditampilkan adalah persentase kelembaban (*moisture content*) dengan *range* 0-100%.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 DATA POTENSIAL

Pengujian dilakukan dengan mengukur potensial logam pada kondisi tanah yang berbeda. Dengan melakukan pengukuran potensial menggunakan multimeter digital dan mikrokontroler ATmega8353, maka akan didapat data beda potensial logam tersebut pada masing-masing kondisi tanah. Pada mikrokontroler ATmega8353 sendiri, ada tiga titik pengukur yang dapat mengukur potensial logam. Masing-masing titik pengukur ini dinamakan mikrokontroler ATmega8353 (A), mikrokontroler ATmega8353 (B) dan mikrokontroler ATmega8353 (C).

Dengan menjumlahkan potensial logam baja yang telah diperoleh sebesar +0,318V maka nilai tersebut telah dirubah kedalam SHE.

Tabel 4.1 Data potensial pada lokasi A1

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
0	-608	-594	-596	-592	-290	-276	-278	-274
1	-647	-633	-635	-631	-329	-315	-317	-313
2	-695	-667	-669	-665	-377	-349	-351	-347
3	-695	-669	-671	-667	-377	-351	-353	-349
4	-688	-659	-661	-657	-370	-341	-343	-339

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
5	-702	-674	-676	-672	-384	-329	-331	-327
6	-712	-687	-689	-685	-394	-369	-371	-367
7	-712	-689	-691	-687	-394	-371	-373	-369
8	-742	-719	-721	-717	-424	-401	-403	-399
9	-704	-678	-680	-676	-386	-360	-362	-358
10	-691	-663	-665	-661	-373	-345	-347	-343

Tabel 4.2 Data potensial pada lokasi A2

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
0	574	555	557	553	-256	-237	-239	-235
1	580	563	565	561	-262	-245	-247	-243
2	583	565	567	563	-265	-247	-249	-245
3	605	585	587	583	-287	-267	-269	-265
4	629	607	609	605	-311	-289	-291	-287
5	634	609	611	607	-316	-291	-293	-289
6	641	620	622	618	-323	-302	-304	-300
7	657	635	637	633	-339	-317	-319	-315

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
8	645	618	620	616	-327	-300	-302	-298
9	645	594	596	592	-327	-276	-278	-274
10	662	639	641	637	-344	-321	-323	-319

**Tabel 4.3** Data potensial pada lokasi B

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
0	817	802	804	800	-499	-484	-486	-482
1	799	786	788	784	-481	-468	-470	-466
2	777	758	760	756	-459	-440	-442	-438
3	788	771	773	769	-470	-453	-455	-451
4	797	780	782	778	-479	-462	-464	-460
5	817	797	799	795	-499	-479	-481	-477
6	849	826	828	824	-531	-508	-510	-506
7	834	815	817	813	-516	-497	-499	-495
8	824	806	808	804	-506	-488	-490	-486
9	813	799	801	797	-495	-481	-483	-479
10	820	802	804	800	-502	-484	-486	-482

**Tabel 4.4** Data potensial pada lokasi C

Standar Cu/CuSO <sub>4</sub>					Standar SHE			
Jarak (m)	Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353			Multimeter Digital (mV)	Mikrokontroler ATmega8353		
		A (mV)	B (mV)	C (mV)		A (mV)	B (mV)	C (mV)
0	664	487	489	485	-346	-169	-171	-167
1	638	481	483	479	-320	-163	-165	-161
2	658	500	502	498	-340	-182	-184	-180
3	662	507	509	505	-344	-189	-191	-187
4	658	503	505	501	-340	-185	-187	-183
5	643	500	502	498	-325	-182	-184	-180
6	641	492	494	490	-323	-174	-176	-172
7	663	500	502	498	-345	-182	-184	-180
8	631	474	476	472	-313	-156	-158	-154
9	635	490	492	488	-317	-172	-174	-170
10	654	520	522	518	-336	-202	-204	-200

Pada pengujian ini, pengukuran potensial dilakukan pada tiga lokasi dengan kondisi tanah yang berbeda, yaitu:

Tanah A : Pengukuran potensial dilakukan di tanah yang berada di samping Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada tanah A pengukuran potensial dilakukan dua kali dengan waktu yang berbeda.

- Pada A1, pengukuran dilakukan pada tanggal 13 mei 2009. Kondisi tanah saat dilakukan pengukuran sedikit basah sebab sehari

sebelumnya, tepatnya pada tanggal 12 mei 2009 terjadi hujan pada daerah ini.

- Pada A2, pengukuran dilakukan pada tanggal 27 mei 2009. Kondisi tanah saat dilakukan pengukuran potensial berbeda dari kondisi A1 sebab sehari sebelumnya yaitu tanggal 26 mei 2009 tidak terjadi hujan pada daerah ini.

Tanah B : Pengukuran potensial dilakukan di tanah yang berada di sekitar danau Universitas Indonesia. Pengukuran dilakukan pada tanggal 15 mei 2009.

Tanah C : Pengukuran potensial dilakukan di tanah yang berada di samping Departemen Metalurgi dan Material namun tempatnya berbeda dari tanah A1 dan A2. Pengukuran dilakukan pada tanggal 27 mei 2009. Kondisi tanah saat dilakukan pengukuran adalah tidak terjadi hujan sehari sebelum dilakukan pengukuran yaitu tanggal 26 mei 2009.

#### 4.2 DATA RESISTIVITAS TANAH

Pengujian resistivitas tanah diperoleh baik dengan menggunakan skala laboratorium atau metode *soilbox* maupun dengan menggunakan metode *4-Point Ground Resistance*. Pada metode *soilbox*, nilai resistivitas tanah ( ) didapatkan secara langsung seperti yang terbaca pada layar alat pengukur ( .cm). Sedangkan pada metode *4-Point Ground Resistance*, nilai yang terbaca adalah nilai hambatan (R). Sehingga untuk mendapatkan nilai resistivitas tanah, nilai hambatan (R) yang terukur dimasukkan kedalam persamaan wenner.

$$= 2 A R \quad (4.1)$$

Contoh perhitungan resistivitas untuk jarak antar pin (A) 100 cm :

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot A \cdot R \\
 &= 2 \cdot 100 \cdot 3,24 \\
 &= 2.034,72
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Data resistivitas pada lokasi A1\*

Jarak (m)	R ( )	A (cm)	( .cm)
0	3,24	100	2.034,72
3	3,47	100	2.179,16
6	2,99	100	1.877,72
9	3,29	100	2.066,12

Tabel 4.6 Data resistivitas pada lokasi A2\*

Jarak (m)	R ( )	A (cm)	( .cm)
0	3,64	100	2.287,08
3	4,37	100	2.745,75
6	4,11	100	2.582,39
9	7,64	100	4.800,35

\* Pada tanah lokasi A1 dan A2, pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode *4-Point Ground Resistance*.

Tabel 4.7 Data resistivitas pada lokasi B\*

Jarak (m)	Resistivitas ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
0	1.503
3	1.605
6	1.380
9	1.462

\* Pada tanah B, pengukuran resistivitas dilakukan dengan menggunakan metode *soilbox*. Pengukuran dilakukan sebanyak tujuh kali.

Tabel 4.8 Data resistivitas pada lokasi C\*

Jarak (m)	R ( $\Omega$ )	A (cm)	( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
0	22,9	100	14.388,49
3	18,66	100	11.724,42
6	15,55	100	9.770,35
9	12,26	100	7.703,19

\* Pada lokasi C, pengukuran resistivitas dilakukan dengan metode *4-Point Ground Resistance*.

### 4.3 DATA pH TANAH DAN MOISTURE CONTENT

Data pH tanah dan *moisture content* didapat dengan pengukuran menggunakan *soil tester*. Dimana pada alat ini, pH tanah dan nilai kelembaban tanah (*moisture content*) dapat dihitung secara langsung.

**Tabel 4.9** Data pH dan *Moisture content* pada lokasi A1

Jarak (m)	Moisture	pH
0	70%	7
3	60%	7
6	65%	7
9	60%	7

**Tabel 4.10** Data pH dan *Moisture content* pada lokasi A2

Jarak (m)	Moisture	pH
0	45%	7
3	40%	7
6	55%	7
9	55%	7

**Tabel 4.11** Data pH dan *Moisture content* pada lokasi B

Jarak (m)	Moisture	pH
0	68%	6,8
3	70%	6,8
6	65%	6,8
9	70%	6,8

**Tabel 4.11** Data pH dan *Moisture content* pada lokasi C

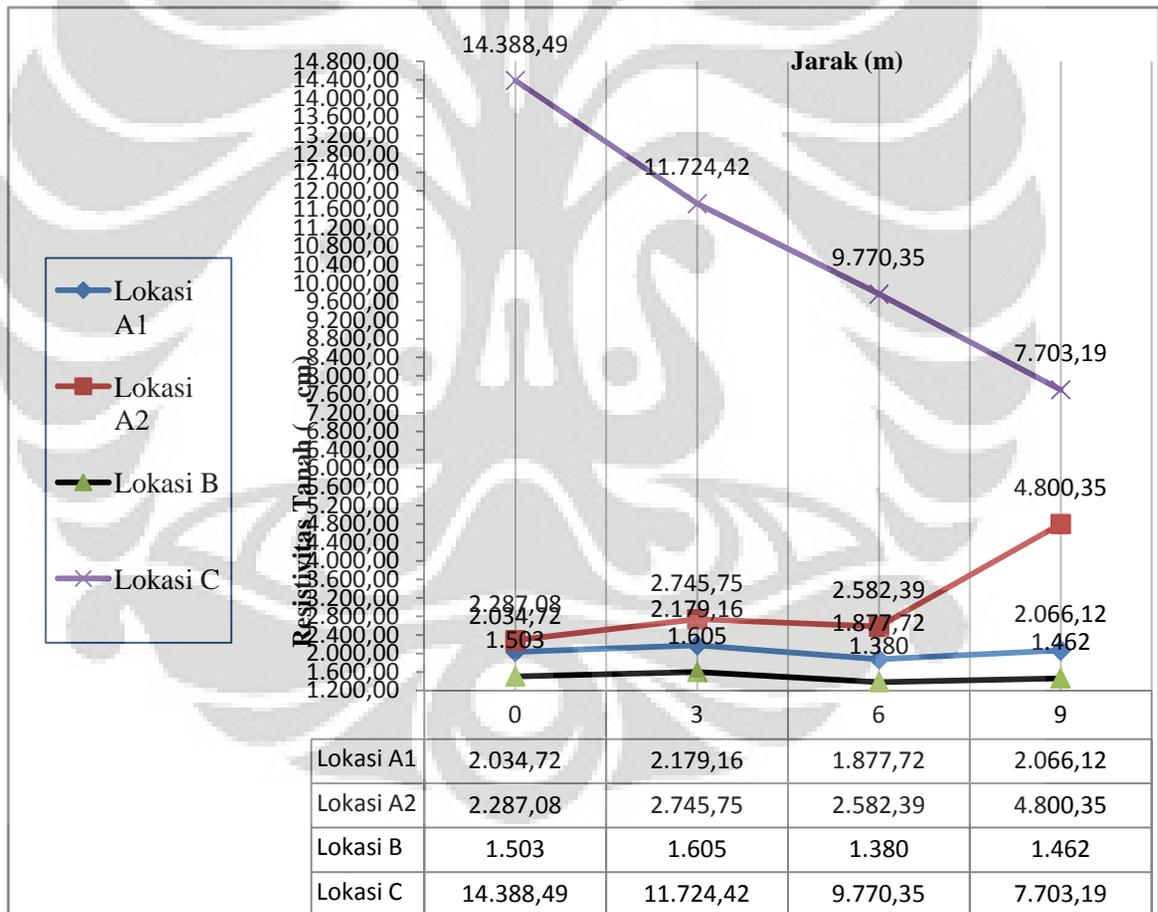
Jarak (m)	Moisture	pH
0	40%	6,8
3	50%	6,8
6	45%	6,8
9	40%	6,8

## BAB 5

### PEMBAHASAN

#### 5.1 TINGKAT KOROSIFITAS TANAH

Memperhatikan data hasil pengukuran yang terdapat pada subbab 4.2 terhadap besar resistivitas tanah pada tiap lokasi maka dapat diketahui bahwa lokasi C merupakan tanah yang memiliki tingkat resistivitas paling besar sedangkan tanah pada lokasi B merupakan tanah yang resistivitasnya paling kecil.



**Gambar 5.1** Besar Resistivitas Tanah Pada Setiap Lokasi

Dengan berpanduan dari literatur, tanah pada lokasi C yang memiliki resistivitas yang paling besar merupakan tanah yang tidak terlalu korosif sedangkan untuk tanah pada lokasi B yang memiliki resistivitas terkecil merupakan tanah yang sangat korosif.

Secara teoritis diketahui bahwa tingkat korosifitas tanah akan meningkat saat arus yang mengalir banyak yang disebabkan karena menurunnya nilai resistivitas tanah. Daerah dengan kelembaban yang tinggi menyebabkan nilai resistivitas tanah akan semakin kecil sehingga akan menyebabkan tanah memiliki tingkat korosifitas yang tinggi. Fungsi uap air pada daerah yang memiliki kelembaban yang tinggi adalah sebagai media elektrolit tempat mengalirkan arus. Dengan jumlah air yang banyak, maka semakin banyak pula arus yang mengalir melalui media elektrolit sehingga korosi sering terjadi.

Namun resistivitas tidak hanya dilihat berdasarkan faktor kandungan air di dalam tanah saja. Ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi nilai resistivitas suatu tanah seperti pH, aerasi, jenis tanah dan aktifitas mikrobiologi di dalam tanah. Untuk jenis tanah sendiri dikelompokkan berdasarkan kemampuannya mengalirkan air.

Perbedaan yang menyebabkan terjadinya perbedaan besar resistivitas tanah pada lokasi B dan lokasi C adalah dari kandungan air dalam tanah serta jenis tanah itu sendiri. Pada lokasi B, pengukuran dilakukan di tanah yang berada di sekitar danau Universitas Indonesia sehingga tanah ini memiliki kandungan air yang tinggi dan juga berdasarkan Tabel 2.2, tanah pada lokasi B merupakan tanah jenis *silt* dengan moisture yang tinggi yang memiliki resistivitas paling kecil sehingga tanah ini paling korosif. Dan resistivitas yang kecil juga dapat disebabkan oleh endapan-endapan mineral dari air danau sehingga tanah pada lokasi ini sangat korosif.

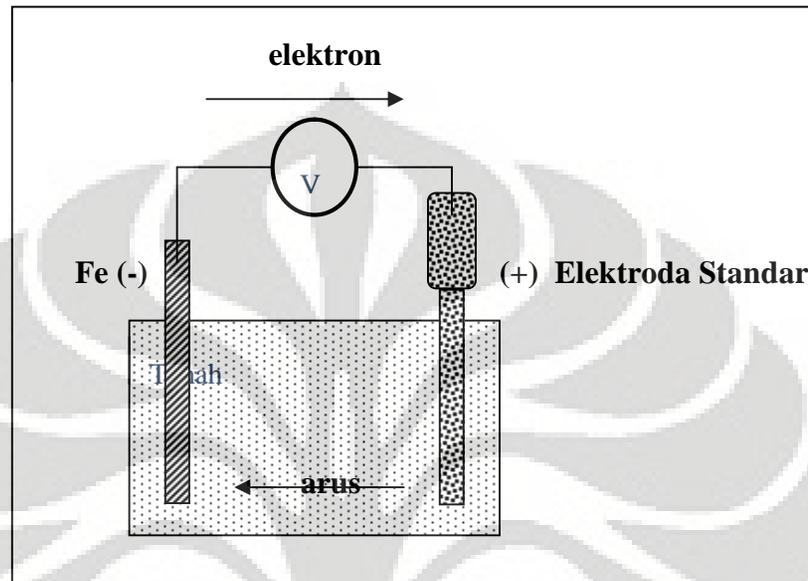
Sedangkan untuk lokasi C, pengujian dilakukan di tanah yang berada di samping Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tanah ini memiliki kandungan air yang tidak terlalu tinggi dan berdasarkan Tabel 2.2, tanah pada lokasi C ini termasuk jenis tanah *loam/clay*. Dengan kandungan air

yang tidak terlalu tinggi, tanah ini memiliki resistivitas paling besar artinya tanah pada lokasi ini tidak terlalu korosif jika dibandingkan dengan lokasi B. Hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan bahwa besar resistivitas tanah dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam tanah.

Pada tanah lokasi A1 dan A2, pengukuran dilakukan di tempat yang sama di tanah yang berada di samping Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia namun dilakukan pada waktu yang berbeda. Dari Gambar 5.1, tanah pada lokasi A1 dan A2 memiliki resistivitas yang lebih besar di bandingkan dengan tanah pada lokasi B. Pada A1, tanah memiliki resistivitas yang yang lebih rendah dibandingkan dengan A2. Ini dikarenakan pada A1, pengukuran resistivitas dilakukan pada tanah yang sehari sebelum dilakukan pengukuran telah terjadi hujan sehingga kandungan air pada tanah ini lebih besar di bandingkan dengan tanah A2 yang tidak terjadi hujan sehari sebelum pengukuran. Namun jika dibandingkan dengan tanah pada lokasi C, tanah A1 dan A2 lebih korosif walaupun dilakukan pada lingkungan yang sama.

Jika ditinjau dari pH tanah, pada setiap lokasi perbedaan pH tidak terlalu besar. Lokasi B yang memiliki pH yang kecil di bandingkan dengan lokasi A1 dan A2 namun memiliki kesamaan pH dengan lokasi C. Dengan pH yang lebih kecil dari lokasi A1 dan A2, lokasi B memiliki resistivitas yang lebih kecil. Hal ini sesuai dengan literatur. Namun jika dibandingkan antara lokasi C dengan lokasi A1, A2 maupun lokasi B, lokasi C yang memiliki resistivitas lebih besar memiliki pH yang sama dengan lokasi B dan lebih besar dari lokasi A1 dan A2 memiliki resistivitas lebih besar. Hal ini tentu saja tidak sesuai dengan literatur namun besar resistivitas tidak dapat dilihat hanya berdasarkan satu faktor saja namun harus diamati dari faktor lainnya. Oleh karena itu, penyimpangan ini bisa terjadi karena kandungan air yang berbeda serta jenis tanah yang berbeda pula yang menyebabkan lokasi C memiliki resistivitas paling besar walaupun perbedaan pH dengan lokasi lainnya tidak terlalu besar.

## 5.2 PENGARUH RESISTIVITAS TANAH TERHADAP POTENSIAL LOGAM



Gambar 5.2 skema pengukuran potensial korosi pada elektrolit tanah

Berdasarkan hukum Ohm, hubungan antara potensial, arus dan hambatan diberikan pada persamaan berikut.<sup>[6]</sup>

$$E = I \times R \quad (5.1)$$

Dengan begitu, jika arus dibuat konstan maka dengan besarnya hambatan akan berbanding lurus dengan potensial. Jadi dengan arus yang konstan, hambatan yang besar akan menghasilkan potensial yang besar pula begitu pula sebaliknya dengan hambatan yang kecil potensial logam yang terukur akan besar juga.

Dari pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini, rangkaian bisa dikatakan rangkaian tertutup sebab tidak ada arus dari luar yang masuk pada rangkaian tersebut. Arus yang keluar dari elektroda standar adalah konstan sebab suplai arus hanya berasal dari elektroda standar yang pada rangkaian tersebut bertindak sebagai katoda dan juga berasal dari arus yang dihasilkan dari multimeter yang digunakan. Proses reduksi dan oksidasi yang terjadi ketika logam dihubungkan dengan elektroda standar

merupakan proses dimana arus dan elektron mengalir membentuk suatu siklus dengan arus yang konstan.

Ketika pengukuran dilakukan pada media yang memiliki hambatan, seringkali reaksi reduksi di katoda dan reaksi oksidasi di anoda terjadi akan bergantung pada besarnya resistivitas.



Reaksi diatas terjadi ketika logam dihubungkan dengan elektroda standar melalui suatu elektrolit pada lingkungan basa/netral. Pada reaksi tersebut, elektron yang dilepas oleh anoda akan selalu sama walaupun dengan media elektrolit yang berbeda. Sebab pada lingkungan manapun, reaksi yang terjadi tidak akan berubah jadi walaupun dengan lingkungan yang korosif dengan resistivitas kecil, elektron yang dilepas oleh anoda akan tetap sama dengan elektron yang dilepaskan oleh anoda ketika reaksi terjadi di lingkungan yang tidak korosif dengan resistivitas yang besar.

Namun yang membedakan adalah pada tanah yang resistivitasny kecil, reaksi pelepasan elektron lebih sering terjadi dibandingkan dengan pada tanah yang resistivitasnya besar. Oleh sebab itu, dengan resistivitas yang kecil korosi lebih sering terjadi jika dibandingkan dengan tanah yang resistivitasnya besar.

Jadi pada saat pengukuran pada penelitian ini dilakukan, dengan arus yang konstan resistivitas akan berbanding lurus dengan potensial logam. Dengan resistivitas yang besar, elektron akan yang dilepaskan oleh anoda akan jarang terjadi sehingga potensial logam yang terukur akan lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah yang memiliki resistivitas yang kecil, dimana pelepasan elektron lebih sering terjadi sehingga potensial logam akan menjadi lebih besar.

Hal ini tentu saja berbeda dengan prinsip proteksi katodik. Pada proteksi katodik, rangkaian dibuat dengan potensial yang konstan. Untuk mengatur potensial agar selalu konstan tersebut, arus dari luar diberikan baik yang berasal dari anoda korban maupun yang berasal dari *rectifier*. Jadi pada lingkungan yang sangat korosif, untuk proteksi katodik arus diberikan kepada logam untuk mencegah terjadinya korosi. Ketika logam terkorosi, potensial logam tersebut akan lebih besar dari sebelumnya. Oleh sebab itu, agar korosi tidak terjadi potensial logam yang di proteksi harus dibuat lebih rendah dan konstan yaitu dengan memberikan arus dari luar.

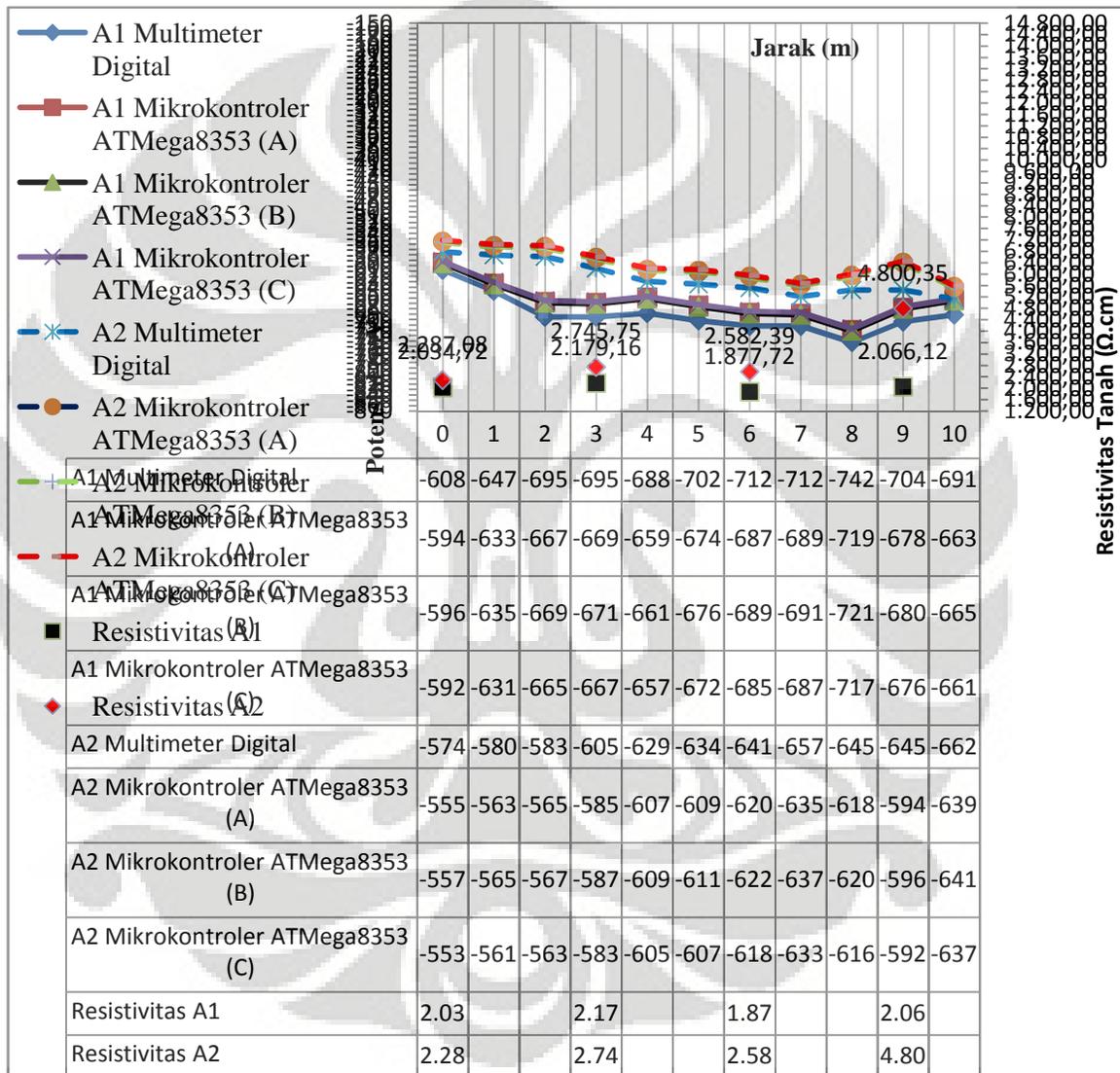
Material	CP criteria	Standard/reference
Buried steel and cast iron (not applicable to applications in concrete)	-850 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	NACE Standard RP0169-83
	Minimum negative 300-mV shift under application of CP	NACE Standard RP0169-83
	Minimum positive 100-mV shift when depolarizing (after CP current switched off)	NACE Standard RP0169-83
	-850 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub> in aerobic environment	British Standard CP 1021:1973
	-950 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub> in anaerobic environment	British Standard CP 1021:1973
Steel (offshore pipelines)	-850 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	NACE Standard RP0675-75
	Minimum negative 300-mV shift under application of CP	NACE Standard RP0675-75
	Minimum positive 100-mV shift when depolarizing (after CP current switched off)	NACE Standard RP0675-75
Aluminum	Minimum negative potential shift of 150 mV under application of CP	NACE Standard RP0169-83
	Positive 100-mV shift when depolarizing (after CP current switched off)	NACE Standard RP0169-83
	Positive limit of -950 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	British Standard CP 1021:1973
	Negative limit of -1200 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	NACE Standard RP0169-83
	Negative limit of -1200 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	NACE Standard RP0169-83
Copper	Positive 100-mV shift when depolarizing (after CP current switched off)	NACE Standard RP0169-83
Lead	-650 mV vs. Cu/CuSO <sub>4</sub>	British Standard CP 1021:1973
Dissimilar metals	Protection potential of most reactive (anodic) material should be reached	NACE Standard RP0169-83

**Gambar 5.3** Kriteria Pemilihan Proteksi Katodik Untuk Material yang Berbeda<sup>[10]</sup>

Dari standar NACE RP0169-83, untuk proteksi katodik, potensial logam baja yang akan diproteksi minimal -850mV dengan pengurangan potensial yang masih

dibolehkan adalah -300mV ketika proteksi katodik diberikan dan maksimal 100mV saat proteksi katodik terhenti.

### 5.2.1 Lokasi A1 dan A2



**Gambar 5.4** Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi A1 dan A2

Dari hasil pengukuran potensial A1, diperoleh potensial logam sampel mengalami penurunan dimulai dari meter ke-0 hingga meter ke-2. Pada meter ke-3,

besar potensial logam yang terukur mengalami sedikit kenaikan hingga meter ke-4, namun pada meter ke-5 potensial logam kembali menurun hingga meter ke 8 selanjutnya potensial mulai mengalami kenaikan hingga meter ke-10. Jika diamati berdasarkan besar resistivitas, pada meter ke-0 tanah memiliki besar resistivitas yang lebih kecil dari meter ke-3.

Berdasarkan hukum Ohm yang dibahas diatas, semakin besar resistivitas tanah maka potensial logam yang terukur juga akan semakin besar. Jadi potensial logam baja yang terukur pada meter ke-0 dengan resistivitas yang lebih kecil akan lebih kecil dari potensial meter ke-3 yang memiliki resistivitas yang lebih besar. Namun, yang terjadi tidak demikian sebab pada meter ke-3 dengan resistivitas yang lebih besar dari meter ke-0, potensialnya lebih negatif dari meter ke-0. Hal ini bisa saja terjadi karena pada saat pengukuran resistivitas, pin pengukur mengenai batu yang membuat nilai resistivitasnya besar sehingga tidak sesuai dengan potensial logam baja pada tanah tersebut.

Pada meter ke-3 hingga meter ke-6, data potensial logam yang terukur sudah sesuai dengan teori yang ada. Dari meter ke-3, potensial logam mengalami penurunan hingga meter ke-6 dan untuk resistivitas tanah yang terukur besarnya juga lebih rendah dibandingkan meter ke-3. Begitu juga dengan meter ke-0, potensialnya lebih positif dibandingkan potensial meter ke-6 karena resistivitasnya lebih rendah dari meter ke-0.

Pada meter ke-9, potensial logam yang terukur mulai meningkat dimana pada meter ke-8 potensial logam merupakan nilai potensial terendah. Potensial yang rendah pada meter ke-8 mungkin dikarenakan oleh resistivitas tanah yang paling kecil. Pada meter ke-9, potensial tanah lebih positif dibandingkan potensial baja pada meter ke-6 namun besarnya resistivitas tanah pada meter ke-6 lebih besar dari meter ke-9. Hal ini bisa dikarenakan pada saat pengukuran resistivitas, ada variabel-variabel tanah yang menyebabkan besarnya resistivitas menjadi lebih kecil pada meter ke-9.

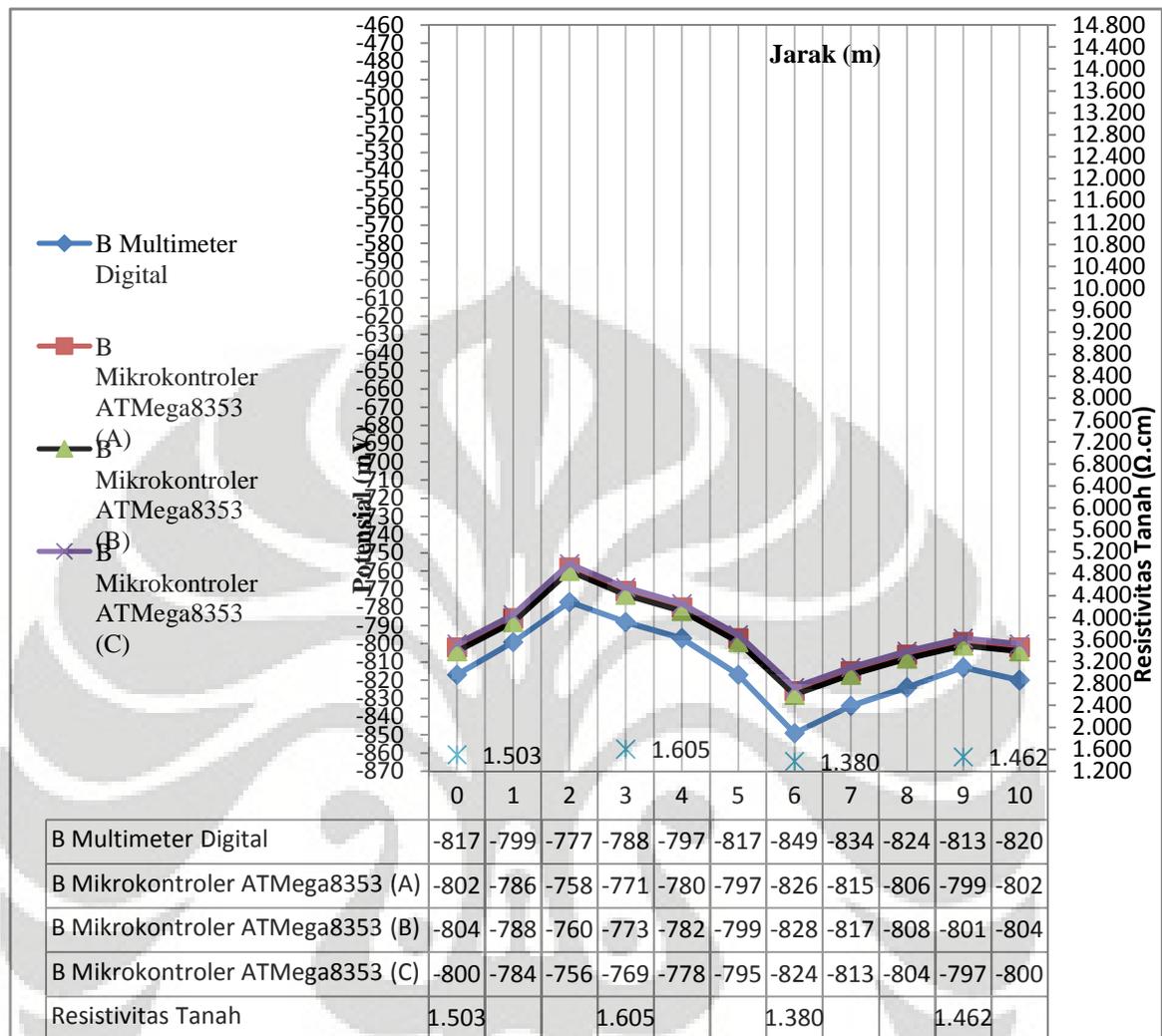
Untuk lokasi A2, potensial baja yang terukur cenderung menurun dari meter ke-0 hingga meter ke-7 dan pada meter ke-8 potensial mulai naik dengan potensial tertinggi baja yaitu pada meter ke-9 lalu menurun lagi pada meter ke-10. Sedangkan nilai resistivitas tanah yang didapatkan tidak sesuai dengan potensial baja yang terukur. Pada meter ke-3, resistivitas tanah lebih besar dari meter ke-0 sedangkan potensial pada meter ke-3 lebih kecil dari meter ke-0. Hal ini bisa disebabkan pada saat mengukur resistivitas, tanah yang diukur mengandung batuan atau kerikil sehingga menyebabkan resistivitas tanah menjadi membesar.

Walaupun resistivitas pada meter ke-6 lebih rendah dari meter ke-3 dan potensialnya juga begitu namun tetap saja potensial pada meter ke-6 lebih besar dari meter ke-0. Sedangkan pada meter ke-6, potensial baja yang diperoleh lebih kecil dari potensial baja pada meter ke-0. Perbedaan ini juga sama seperti pada meter ke-6, dimana resistivitas menjadi lebih besar diakibatkan adanya batuan atau kerikil yang terkandung di tanah tersebut yang membuat resistivitas tanah menjadi lebih besar.

Pada meter ke-9, potensial logam naik bersama dengan besarnya resistivitas tanah pada lokasi tersebut. Namun jika dibandingkan dengan meter ke-0, seharusnya dengan potensial yang lebih rendah resistivitas tanah pada meter ke-9 lebih kecil dari meter ke-0. Tetapi pada meter ke-9, resistivitas tanah paling tinggi dari lokasi lainnya. Resistivitas yang besar ini juga bisa dikarenakan ada batuan yang membuat pengukuran resistivitas terganggu.

Jika data potensial baja dan resistivitas dari masing-masing lokasi digabungkan, dapat dilihat bahwa lokasi A2 memiliki potensial yang lebih positif dari potensial logam yang terukur di tanah pada lokasi A1. Dan resistivitas tanah yang terukur juga berbanding lurus dengan potensial tersebut, dimana resistivitas tanah pada A2 lebih besar dari resistivitas A1.

### **5.2.2 Lokasi B**

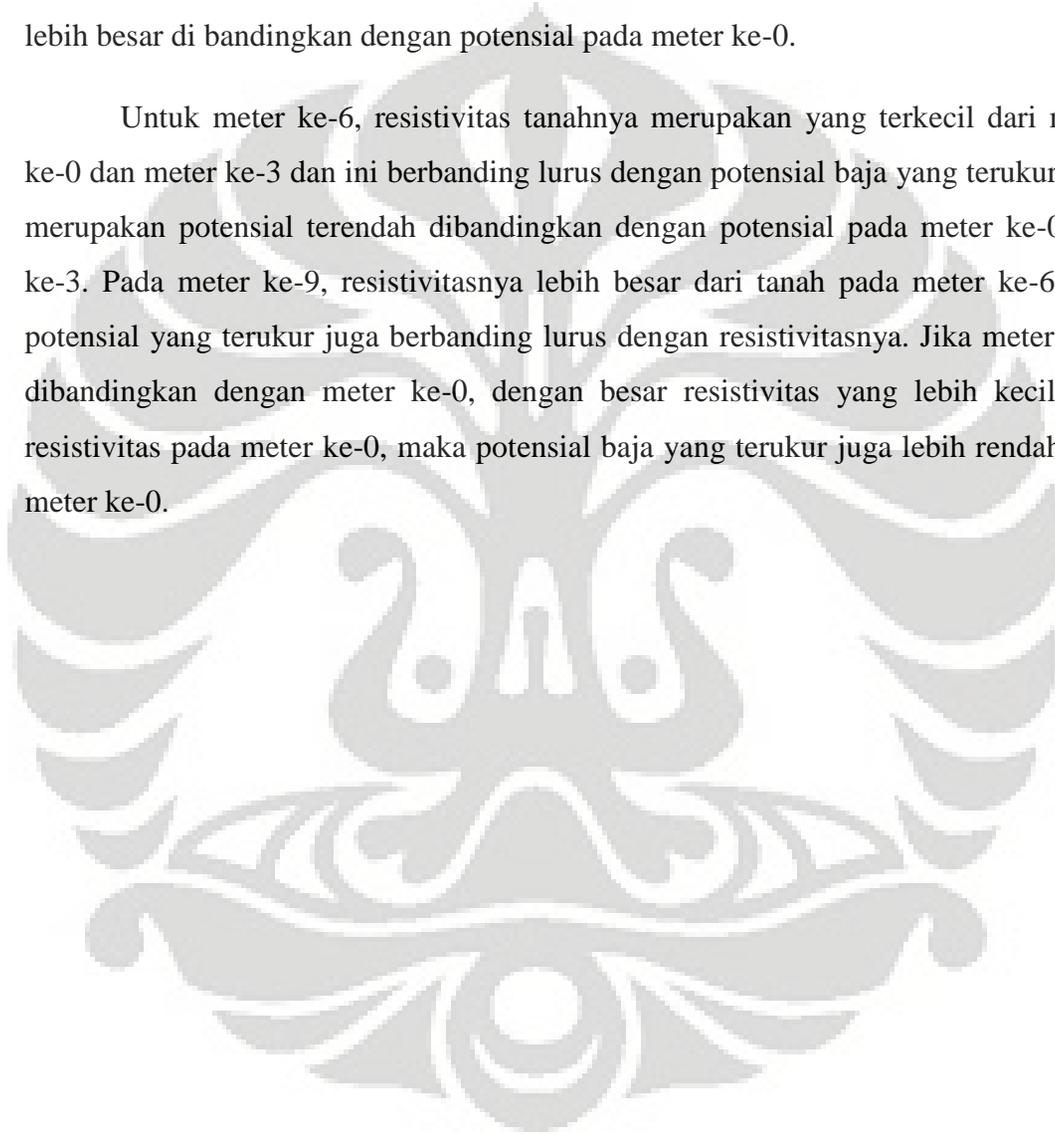


**Gambar 5.5** Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi B

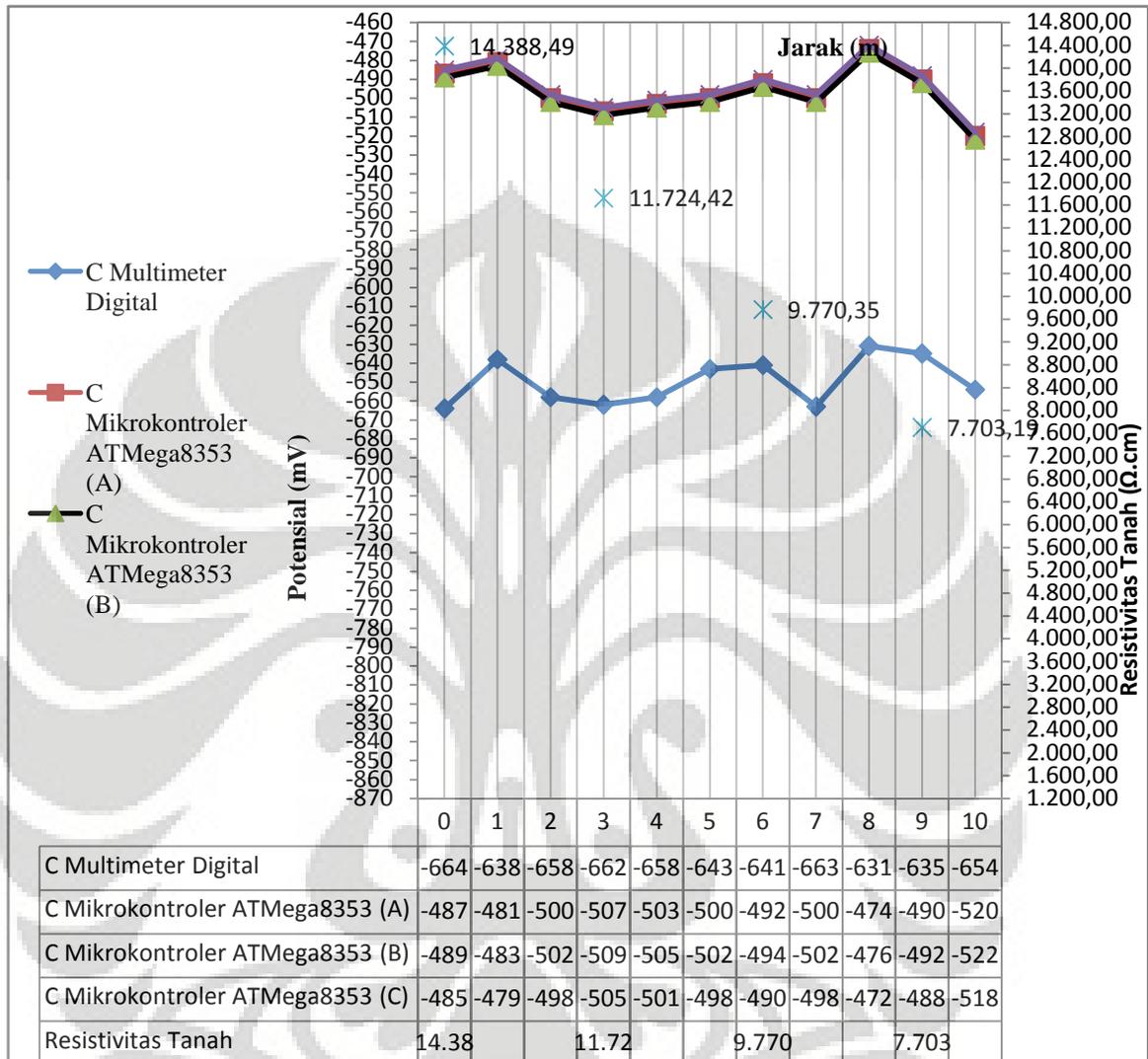
Lokasi B merupakan lokasi dimana tanahnya memiliki resistivitas paling kecil dari lokasi lainnya, sehingga dengan begitu daerah ini merupakan daerah yang paling korosif dibandingkan dengan lokasi lainnya. Pada lokasi ini, besar potensial baja yang terukur merupakan potensial terkecil dibandingkan dengan lokasi lainnya. Hal ini sesuai dengan konsep hukum Ohm yang telah dijelaskan sebelumnya dimana ketika arus konstan maka dengan hambatan yang kecil potensial yang terukur juga akan semakin kecil.

Pada meter ke-0, potensial mulai naik hingga meter ke-2 dan pada meter ke-3 potensial baja yang terukur mengalami penurunan hingga meter ke-6. Dan selanjutnya potensial mengalami kenaikan hingga meter ke-9. Pada meter ke-3, besar resistivitas tanahnya lebih besar dari meter ke-0, walaupun mulai dari meter ke-2 potensial baja mulai mengalami penurunan, namun potensial pada meter ke-3 tetap lebih besar di bandingkan dengan potensial pada meter ke-0.

Untuk meter ke-6, resistivitas tanahnya merupakan yang terkecil dari meter ke-0 dan meter ke-3 dan ini berbanding lurus dengan potensial baja yang terukur juga merupakan potensial terendah dibandingkan dengan potensial pada meter ke-0 dan ke-3. Pada meter ke-9, resistivitasnya lebih besar dari tanah pada meter ke-6, dan potensial yang terukur juga berbanding lurus dengan resistivitasnya. Jika meter ke-9 dibandingkan dengan meter ke-0, dengan besar resistivitas yang lebih kecil dari resistivitas pada meter ke-0, maka potensial baja yang terukur juga lebih rendah dari meter ke-0.



### 5.2.3 Lokasi C



**Gambar 5.6** Nilai Potensial dan Resistivitas Tanah Lokasi C

Lokasi C merupakan lokasi dimana tanah memiliki resistivitas paling besar. Tanah dengan besar resistivitas yang tinggi bersifat tidak korosif di bandingkan dengan tanah yang memiliki resistivitas paling kecil. Dengan resistivitas yang paling besar, sesuai dengan prinsip Hukum Ohm maka potensial baja pada lokasi ini pun seharusnya lebih besar dari lokasi lainnya. Namun, potensial baja yang terukur pada lokasi ini lebih kecil dibandingkan dengan potensial baja pada lokasi A2.

Seharusnya berdasarkan Hukum Ohm yang berlaku, dengan besar resistivitas yang paling besar lokasi C memiliki potensial yang paling positif dibandingkan dengan lokasi lainnya termasuk pada lokasi A2. Hal ini bisa saja terjadi karena kondisi permukaan tanah saat melakukan pengukuran banyak mengandung sisa pelapukan organik yang akan membuat pengukuran potensial tidak sesuai sebab pada pengukuran potensial, kedalaman logam baja yang tertanam tidak sedalam pin pengukur resistivitas. Pada permukaan tanah yang banyak mengandung sisa-sisa pelapukan organik resistivitas menjadi lebih kecil dari tanah yang berada di bawah permukaan, sehingga ketika logam ditancapkan ke permukaan tanah yang memiliki resistivitas yang kecil, potensialnya juga akan menjadi lebih kecil.

Resistivitas pada lokasi C juga cenderung menurun sedangkan pada potensial baja yang terukur cenderung berada pada potensial yang sama dengan kenaikan dan penurunan terhadap potensial tidak terlalu besar. Tanah merupakan elektrolit yang bersifat dinamis dimana setiap lokasi tanah, penyusunnya berbeda dan juga setiap waktu selalu berubah-ubah. Dengan begitu, kecenderungan menurunnya resistivitas tanah bisa saja diakibatkan karena variabel-variabel tanah seperti kelembaban pada masing-masing lokasi yang berbeda dan kandungan organik yang berbeda juga mengakibatkan resistivitas yang terukur menurun.

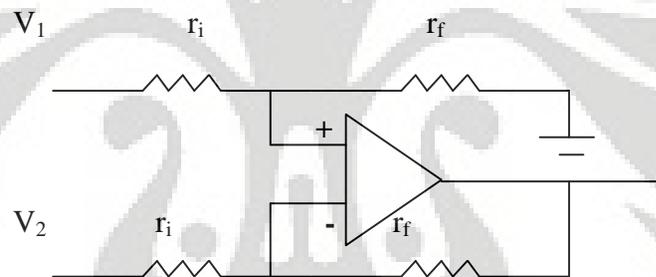
### **5.3 PENGUKURAN POTENSIAL DENGAN MIKROKONTROLER ATMEGA8353**

Pada penelitian ini, pengukuran potensial dilakukan dengan menggunakan multimeter digital dan menggunakan instrumen pengukur potensial dengan mikrokontroler ATMEGA8353. Dari hasil pengukuran potensial yang didapat, terdapat perbedaan potensial antara potensial baja yang diukur dengan multimeter digital dengan potensial baja yang diukur dengan mikrokontroler.

Pada mikrokontroler ATmega8353, masukan program dibuat dengan menggunakan persamaan :

$$ADC\_value = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 1023 \quad (5.2)$$

Pada alat ini,  $V_{ref}$  yang digunakan adalah 4V yang merupakan potensial tertinggi yang masih dapat diukur oleh mikrokontroler ATmega8353. Dengan mendapatkan hasil  $ADC\_value$ ,  $V_{in}$  akan didapatkan. Besar  $V_{in}$  inilah yang merupakan besar potensial yang akan muncul di layar LCD mikrokontroler ATmega8353 sebagai potensial baja yang terukur setelah dibagi dengan jumlah penguatan *diferensial amplifier* yang digunakan. Untuk  $ADC\_value$  sendiri merupakan  $V_{out}$  yang didapatkan dari besar potensial antara *ground* dengan rangkaian.



Gambar 5.7 Operating amplifier

Potensial yang ditampilkan oleh mikrokontroler ATmega8353 merupakan nilai dari  $ADC\_value$  yang dikalikan dengan pembagian antara  $V_{out}$  dengan  $V_{in}$  (beda potensial antara  $V_1$  dan  $V_2$ ) di *operating amplifier*. Nilai yang didapat dari  $V_{out}/V_{in}$  nantinya akan berfungsi sebagai masukan program untuk mengukur potensial. Pada saat mengukur potensial, mikrokontroler ATmega8353 yang digunakan menggunakan konstanta  $V_{out}/V_{in}$  sebesar 2,1 yang masukkan dengan asumsi bahwa penguatan yang dilakukan adalah sebesar 2 kali.

Perbedaan potensial antara multimeter digital dan mikrokontroler ATmega8353 mungkin lebih disebabkan karena masukan nilai  $V_{out}/V_{in}$  yang kurang

tepat sehingga terjadi perbedaan potensial. Dan juga perbedaan ini bisa disebabkan karena pada multimeter digital, teknologi yang dipakai dalam rangkaiannya adalah 16 bit sedangkan pada mikrokontroler ATmega8353 masih menggunakan 10 bit. Dengan begitu, tingkat kesensitifan pengukuran potensial pada mikrokontroler berbeda dengan multimeter digital.

Pada lokasi A1 dan A2, perbedaan antara potensial baja yang terukur tidak terlalu besar, demikian juga dengan potensial baja pada lokasi B. Namun pada lokasi C, potensial yang terukur dengan multimeter digital memiliki perbedaan yang besar dengan potensial yang terukur dengan mikrokontroler ATmega8353. Terjadinya perbedaan yang terlalu besar ini mungkin disebabkan karena potensial baterai yang digunakan telah menurun sebab pada rangkaian mikrokontroler ATmega8353, LCD membutuhkan daya yang besar untuk menampilkan hasil. Jadi karena pada lokasi C merupakan pengukuran yang terakhir dilakukan sehingga baterai yang digunakan potensialnya telah menurun sehingga menyebabkan perbedaan yang besar.

Untuk pengukuran dengan mikrokontroler ATmega8353 sendiri, masing-masing titik pengukur memiliki perbedaan yang tidak begitu besar. Perbedaan potensial yang terukur pada mikrokontroler ini lebih disebabkan oleh adanya perbedaan resistor yang digunakan sebagai penguat untuk mengurangi hambatan (*noise*) yang ada saat pengiriman data hasil pengiriman. Penggunaan resistor yang tidak simetris menyebabkan hambatan (*noise*) yang dikurangi oleh masing-masing titik pengukur berbeda namun perbedaan yang ada tidak terlalu besar.

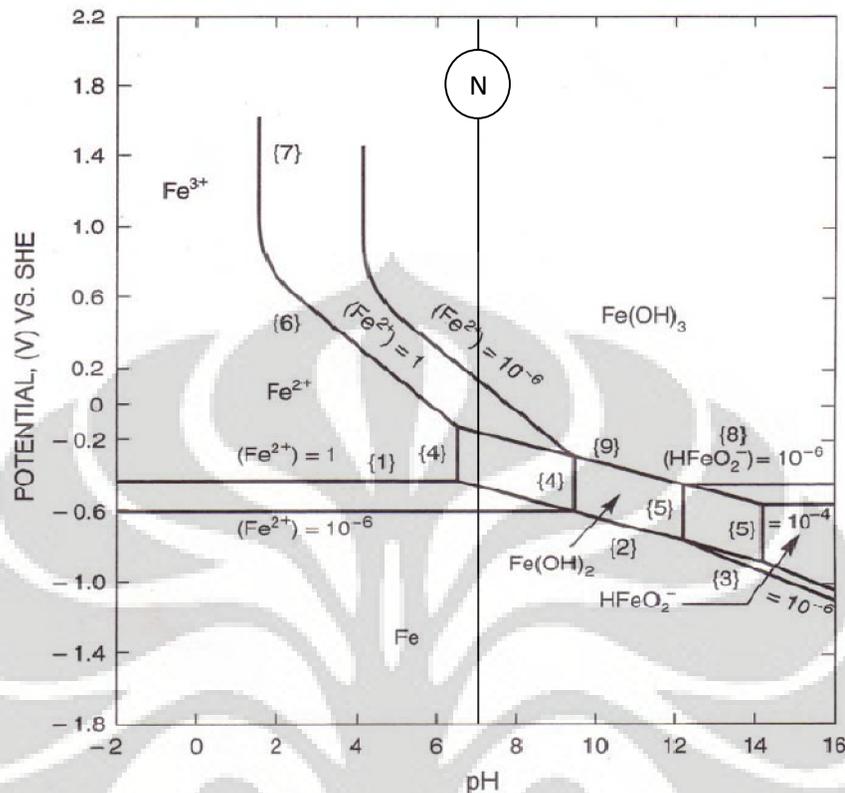
#### **5.4 HUBUNGAN pH DAN POTENSIAL LOGAM**

Pada penelitian ini, kondisi tanah netral yaitu dengan pH 7 pada lokasi A1 dan A2. Sedangkan pada lokasi B dan lokasi C, tanah memiliki pH yang mendekati netral yaitu 6,8. Secara teori, pada elektrolit yang bersifat netral/basa proses korosi akan berlangsung sangat lambat pada logam baja. Hal ini dikarenakan pada pH yang netral/basa, logam baja akan cenderung membentuk lapisan pasif yang akan melindungi logam baja dari serangan korosi sehingga walaupun terjadi korosi namun laju korosinya akan semakin lambat dengan adanya lapisan pasif.

Kesetimbangan elektrokimia antara logam dengan air murni pada seluruh daerah pH menghasilkan penggambaran secara umum dalam bentuk diagram potensial elektroda dengan pH atau dikenal dengan diagram pourbaix. Diagram pourbaix memperlihatkan kondisi kesetimbangan secara termodinamis dan tidak dapat digunakan untuk mengetahui atau meramalkan laju korosi. Sehingga reaksi yang diramalkan akan terjadi mungkin saja tidak terjadi pada pH tertentu.

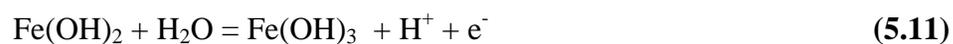
Dari data pada subbab 4.1, potensial baja hasil pengukuran dengan menggunakan dengan elektroda standar Cu/CuSO<sub>4</sub> dikonversikan kedalam standar SHE. Dengan menjumlahkan potensial baja yang didapat dengan konstanta konversi SHE sebesar +0,318 V maka dapat diambil analisa hubungan antara potensial baja yang terukur dengan pH tanah.

Dengan melihat gambar diagram pourbaix, maka dapat diketahui dimana posisi potensial baja yang telah diubah kedalam standar SHE. Baik pada pH yang mendekati netral yaitu pada pH 6,8 maupun pada pH tanah yang netral 7 maka potensial yang telah dikonversikan ke dalam SHE menandakan bahwa bajah telah mengalami korosi namun masih berada dalam keadaan yang tidak stabil yaitu berada pada daerah Fe<sup>2+</sup> diantara daerah immunt Fe dengan daerah stabil Fe<sup>2+</sup>. Pada daerah ini, Fe<sup>2+</sup> yang terbentuk tidak stabil dan masih akan berubah hingga mencapai daerah stabil yaitu terbentuknya lapisan pasif Fe(OH)<sub>3</sub>.



Gambar 5.8 Diagram pourbaix untuk Fe-H<sub>2</sub>O pada 25<sup>0</sup>C <sup>[19]</sup>

Keterangan :



Dari potensial baja pada lokasi A1 dan A2 yang telah dikonversi ke dalam SHE, maka berdasarkan diagram tersebut baja tersebut berada pada daerah yang mengalami reaksi no 4. Pada lokasi ini,  $\text{Fe}^{2+}$  yang terbentuk belum stabil dan akan bereaksi lagi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan akan membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  (reaksi 5.4).  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang terbentuk juga merupakan lapisan oksida yang tidak stabil dan masih akan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk  $\text{HFeO}_2^-$  (reaksi 5.7) yang juga belum berada pada keadaan yang stabil.  $\text{HFeO}_2^-$  selanjutnya akan bereaksi lagi membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (reaksi 5.10). Perubahan oksida Fe menjadi bentuk yang lebih stabil diikuti dengan meningkatnya potensial baja menjadi lebih positif. Setelah terbentuknya lapisan pasif  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang stabil, laju korosi pada baja akan menjadi sangat lambat sebab logam baja akan terlindungi oleh lapisan oksida yang berada di atasnya.

Untuk lokasi B, potensial baja yang telah dikonversi ke dalam SHE berada dalam daerah  $\text{Fe}^{2+}$  yang tidak stabil. Daerah ini berada di perbatasan antara daerah Fe yang immunt dengan daerah  $\text{Fe}^{2+}$  yang stabil. Pada lokasi ini, logam baja mulai bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan membentuk  $\text{Fe}^{2+}$ . Selanjutnya  $\text{Fe}^{2+}$  akan mengalami tahapan perubahan oksida yang sama dengan lokasi A1 dan A2, yaitu  $\text{Fe}^{2+}$  yang tidak stabil akan bereaksi lagi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  kemudian bereaksi lagi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk  $\text{HFeO}_2^-$  dan terakhir akan terbentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang merupakan lapisan pasif yang melindungi baja.

Jadi dengan melihat hubungan antara pH dan potensial baja, dapat diketahui bahwa baja telah mengalami korosi namun produk korosi yang terbentuk masih belum mencapai keadaan yang stabil yang masih dapat bereaksi kembali dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Berdasarkan sifat lingkungan tanahnya diketahui bahwa lokasi ini merupakan lokasi yang paling korosif, tapi dengan melihat hubungan pH dan potensial baja maka dapat diprediksi bahwa laju korosi yang cepat pada lingkungan yang korosif akan menjadi lambat dengan dengan terbentuknya lapisan pasif pada baja.

Pada lokasi C, yang merupakan lingkungan tanah yang memiliki resistivitas paling besar, potensial baja yang telah dikonversikan ke dalam SHE berada pada

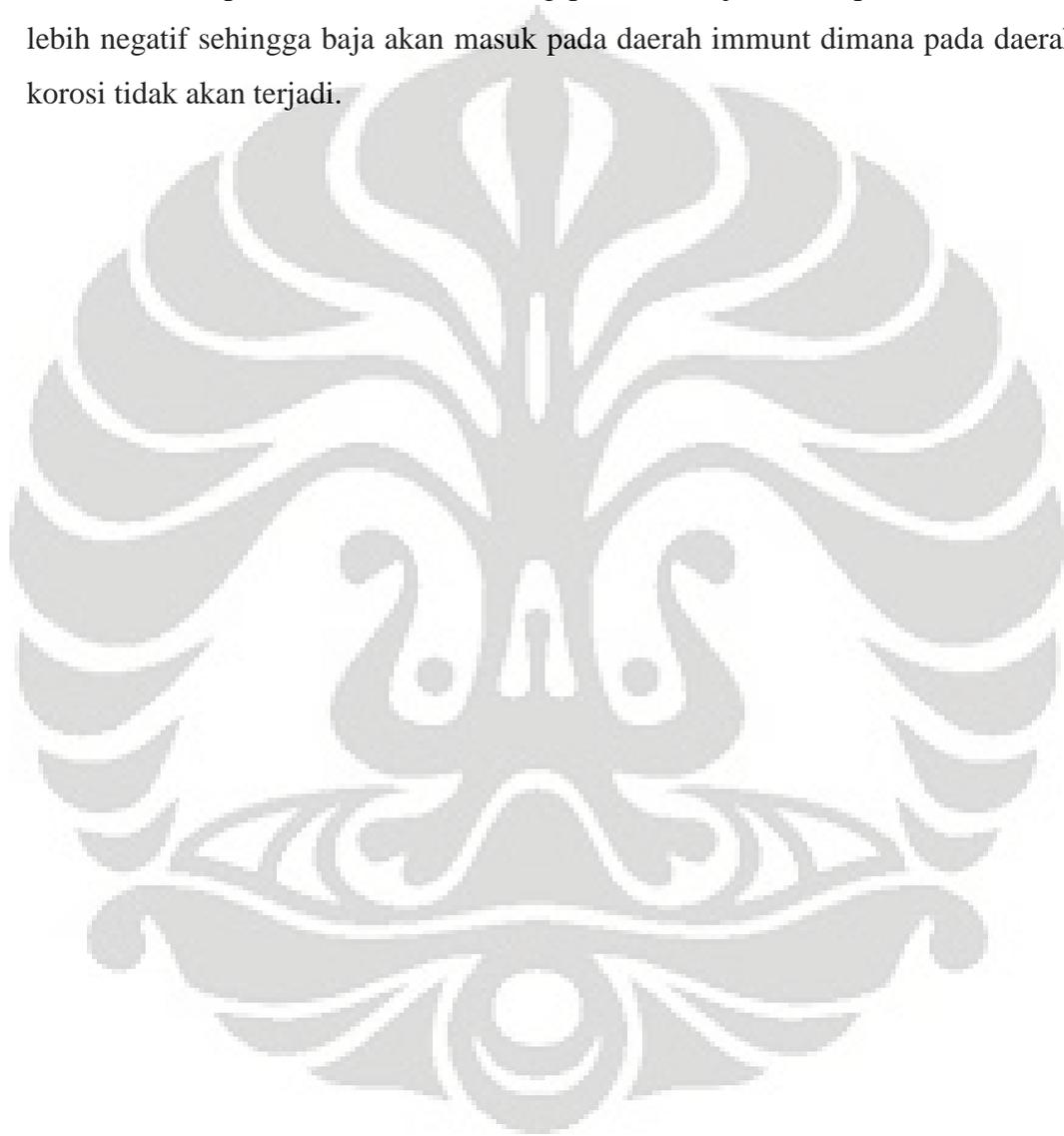
daerah yang mulai terbentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  akibat reaksi antara  $\text{Fe}^{2+}$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Produk korosi yang terbentuk akan bereaksi lagi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  hingga mencapai keadaan stabil yaitu saat lapisan pasif  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  terbentuk yang akan mengurangi laju korosi pada baja. Pada lokasi ini, baja mengalami reaksi korosi yang sama seperti pada lokasi A1 dan A2.

Dengan lingkungan yang netral dari semua lokasi, dapat dilihat dari diagram pourbaix bahwa dengan potensial yang telah dikonversikan kedalam SHE menandakan bahwa baja telah mengalami proses korosi. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya,  $\text{Fe}^{2+}$  yang dihasilkan oleh proses oksidasi belum mencapai keadaan yang stabil.  $\text{Fe}^{2+}$  yang terbentuk akan terus bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  selanjutnya karena masih belum mencapai keadaan yang stabil oksida ini akan bereaksi kembali dengan  $\text{H}_2\text{O}$  hingga menghasilkan  $\text{HFeO}_2^-$  dan oksida ini pun akan bereaksi kembali dengan  $\text{H}_2\text{O}$  hingga terbentuk oksida  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang paling stabil.

Berdasarkan teori dikatakan bahwa tanah merupakan media elektrolit yang dinamis. Artinya, setiap waktu komposisi tanah akan selalu berubah sehingga pH tanah pun tidak selalu akan berada dalam pH yang netral maupun basa, sehingga dalam aplikasi sebenarnya perlu dilakukan inspeksi yang rutin sehingga bila terjadi perubahan pada tanah sebagai media elektrolit teknisi dapat mengambil keputusan agar struktur baja dapat terlindungi dari korosi.

Untuk aplikasi pada lingkungan ini, baja yang akan digunakan sebaiknya diberi lapisan pelindung (*coating*) untuk mencegah terjadinya reaksi di permukaan baja sehingga reaksi korosi dapat terhambat. Dengan begitu walaupun dengan lingkungan yang sangat korosif, baja dapat terlindungi dari reaksi korosi dengan lingkungan. Namun walaupun telah diberikan lapisan pelindung, serangan korosi juga masih bisa terjadi sebab lapisan pelindung (*coating*) yang diberikan dapat rusak akibat interaksinya dengan lingkungan sehingga diperlukan perlindungan lainnya untuk mencegah terjadinya korosi.

Proteksi katodik merupakan metode perlindungan lain untuk mencegah terjadinya korosi pada baja. Prinsip pencegahan korosi pada proteksi katodik adalah dengan memberikan tambahan arus pada logam baja sehingga struktur baja tidak akan kekurangan elektron akibatnya proses reduksi oksidasi. Dengan memberikan tambahan arus pada metode arus tanding potensial baja akan dipaksa untuk menjadi lebih negatif sehingga baja akan masuk pada daerah immunt dimana pada daerah ini korosi tidak akan terjadi.



## BAB 6

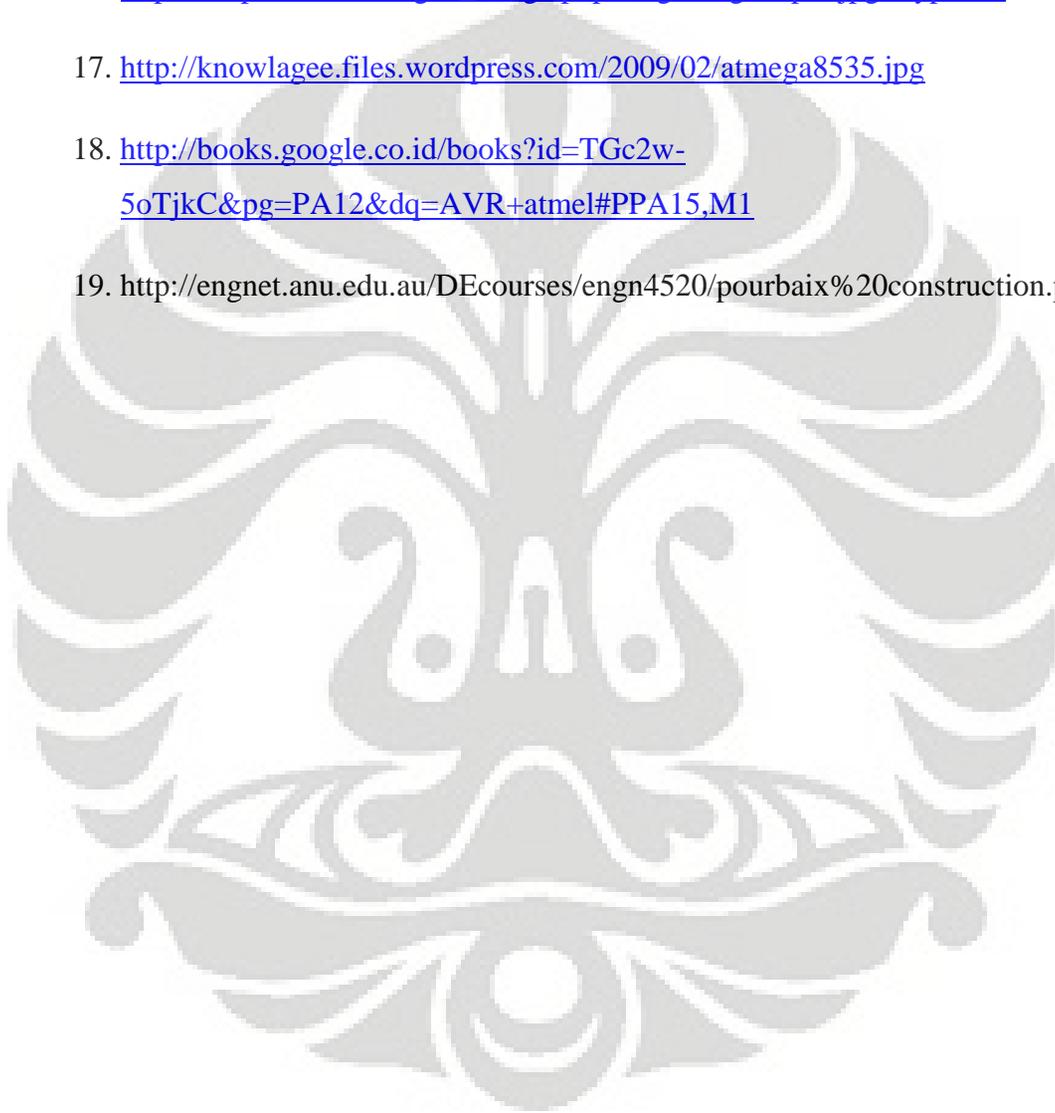
### KESIMPULAN

1. Tanah pada lokasi B yang berada di sekitar danau Universitas Indonesia merupakan lokasi yang memiliki resistivitas tanah paling kecil sedangkan tanah pada lokasi C yang berada di sekitar Departemen Metalurgi Material FTUI memiliki resistivitas tanah paling kecil.
2. Dengan arus yang konstan pada saat pengukuran potensial, hubungan resistivitas tanah berbanding lurus dengan potensial baja. Pada lokasi B yang resistivitas paling kecil potensial baja yang terukur paling negatif.
3. Perbedaan potensial antara multimeter digital dan mikrokontroler ATmega8353 disebabkan karena resolusi ADC yang berbeda.
4. Perbedaan potensial antara mikrokontroler A, B dan C disebabkan karena resistor yang digunakan tidak simetris.

## DAFTAR PUSTAKA

1. <http://id.wikipedia.org/wiki/Atmel AVR>
2. Fontana, Mars G., *Corrosion Engineering, International Student Edition, 3<sup>th</sup> Edition*, Mc. Graw Hill International, Singapore, 1987
3. <http://id.wikipedia.org/wiki/Korosi>
4. Chamberlain, J., and K.R. Trethewey, *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991
5. <http://kimia.upi.edu/utama/bahanajar/kimia%20dasar/elektrokimia/Potensial%20Elektroda%20standar.htm>
6. Jones, D.A., *Principle and Prevention of Corrosion*, Macmillian Publishing Company, Singapore, 1997
7. [www.anchorguard.com/Specifications.pdf](http://www.anchorguard.com/Specifications.pdf)
8. Revie, R.W., *Uhlig's Corrosion Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition*, John Wiley & Sons Inc., Canada, 1944
9. [www.euro-inox.org/pdf/map/CorrResist SoilsConcrete EN.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/CorrResist_SoilsConcrete_EN.pdf)
10. Roberge, P.R., *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1999
11. Shreir, L.L. *Corrosion Volume 1 Metal/Environment Reaction*. 3rd edition. Butterworth Heinemann
12. Shreir, L.L. *Corrosion Volume 2 Corrosion Control*. 3rd edition. Butterworth Heinemann
13. Cramer S.D. and Jr. Covino B.S., *ASM Handbook Volume 13A Corrosion : Fundamentals, Testing, and Protection*, ASM International, 2003

14. ASTM, *Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity using the Wenner Four Electrode Method*, Standard ASTM G 57-95a, United States, 2001
15. <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-Kinetics/Ohmic-drop-soil.htm>
16. [http://shop.embedit.de/gen\\_image.php?img=mega32pi2.jpg&type=fv](http://shop.embedit.de/gen_image.php?img=mega32pi2.jpg&type=fv)
17. <http://knowlagee.files.wordpress.com/2009/02/atmega8535.jpg>
18. <http://books.google.co.id/books?id=TGc2w-5oTjkC&pg=PA12&dq=AVR+atmel#PPA15,M1>
19. <http://engnet.anu.edu.au/DEcourses/engn4520/pourbaix%20construction.pdf>



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN I

PROGRAM MIKROKONTROLER ATMEGA8353

```
$regfile = "M8535.DAT"
```

```
$crystal = 8000000
```

```
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.2 , Db5 = Portc.3 , Db6 = Portc.4 , Db7 = Portc.5 ,  
E = Portc.1 , Rs = Portc.0 ' konfigurasi pin LCD
```

```
Config Lcd = 16 * 2
```

```
Config Adc = Single , Prescaler = Auto
```

```
Cursor Off
```

```
Cls
```

```
Dim Adc_value As Word
```

```
Dim A_single As Single
```

```
Dim Va As Word
```

```
Dim B_single As Single
```

```
Dim Vb As Word
```

```
Dim C_single As Single
```

```
Dim Vc As Word
```

Lcd "VOLTMETER ATMEGA"

Wait 1

Start Adc

Do

Adc\_value = Getadc(0)

A\_single = Adc\_value \* 3.9

A\_single = A\_single / 2.1

Va = Round(a\_single)

Adc\_value = Getadc(1)

B\_single = Adc\_value \* 3.9

B\_single = B\_single / 2.1

Vb = Round(b\_single)

Adc\_value = Getadc(2)

C\_single = Adc\_value \* 3.9

C\_single = C\_single / 2.1

Vc = Round(c\_single)

Locate 1 , 1

Lcd "A=" ; Va

Locate 2 , 1

Lcd "B=" ; Vb

Locate 1 , 9

Lcd "C=" ; Vc

Waitms 200

Cls

Loop

