



TUGAS AKHIR - MN 184802

**STUDI LAJU KOROSI KAPAL ALUMINIUM AKIBAT
PROSES GALVANIK DENGAN KAPAL BAJA DI
LINGKUNGAN AIR LAUT DENGAN PENDEKATAN
PERMODELAN EKSPERIMEN**

**Hazmi Farkhan Haedar Rahman
NRP 0411144000083**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
Imam Baihaqi, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**STUDI LAJU KOROSI KAPAL ALUMINIUM AKIBAT PROSES
GALVANIK DENGAN KAPAL BAJA DI LINGKUNGAN AIR LAUT
DENGAN PENDEKATAN PERMODELAN EKSPERIMEN**

**Hazmi Farkhan Haedar Rahman
NRP 0411144000083**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
Imam Baihaqi, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 184802

**ALUMINUM VESSEL CORROSION RATE STUDY DUE TO GALVANIC
PROCESS WITH STEEL VESSEL IN SEAWATER ENVIRONMENT WITH
EXPERIMENTAL MODELLING APPROACH**

**Hazmi Farkhan Haedar Rahman
NRP 0411144000083**

**Supervisor
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
Imam Baihaqi, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING
ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI LAJU KOROSI KAPAL ALUMINIUM AKIBAT PROSES GALVANIK DENGAN KAPAL BAJA DI LINGKUNGAN AIR LAUT DENGAN PENDEKATAN PERMODELAN EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

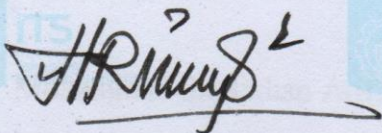
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAZMI FARKHAN HAEDAR RAHMAN
NRP 0411144000083

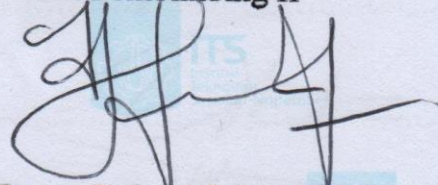
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
NIP 196404161989031003

Dosen Pembimbing II



Imam Baihaqi S.T., M.T.
NIP 198901282015041003

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JULI 2019

LEMBAR REVISI

STUDI LAJU KOROSI KAPAL ALUMINIUM AKIBAT PROSES GALVANIK DENGAN KAPAL BAJA DI LINGKUNGAN AIR LAUT DENGAN PENDEKATAN PERMODELAN EKSPERIMEN

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 3 Juli 2019

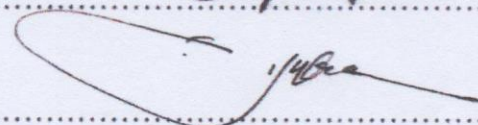
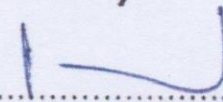
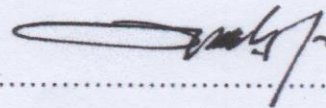
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAZMI FARKHAN HAEDAR RAHMAN
NRP 04111440000083

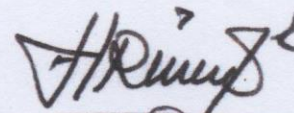
Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.
2. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.
3. Mohammad Sholikhhan Arif, S.T., M. T.
4. Sufian Imam Wahidi, S.T., M. Sc.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.
2. Imam Baihaqi, S.T., M.T.



SURABAYA, 3 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Laju Korosi Kapal Aluminium Akibat Proses Galvanik dengan Kapal Baja dengan Pendekatan Permodelan Eksperimen”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc. dan Imam Baihaqi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T., M. Sholikhhan Arif, S.T., M.T., dan Sufian Imam Wahidi, S.T., M. Sc. selaku dosen bidang Industri Perkapalan yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini;
3. Segenap jajaran staf Disharkap Komando Armada 2 Surabaya dan PT. Infinity Global Mandiri yang telah membantu dan mengizinkan dalam pengambilan data untuk Tugas Akhir ini;
4. Pak Pardi, Pak Denny, Mas Agil, dan Mas Joko yang turut membantu dan memberikan motivasi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
5. Kedua orang tua tercinta Bapak Abdul Rahman dan Ibu Nuniek Sutari, Nenek Ibu Sutarti, serta Adik Naura Rafifa Aulia Rahman yang selalu mendoakan, dan memberi dukungan materiil serta moril selama menjalankan kuliah di Kampus ITS;
6. Teman-teman P-54 Deadrise angkatan 2014 khususnya rumpun mata kuliah industri yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menjalani perkuliahan;
7. Nelva Kirana Nurafindraningrum, yang telah memberikan dukungan moril dan materiil dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2019

Hazmi Farkhan Haedar Rahman

STUDI LAJU KOROSI KAPAL ALUMINIUM AKIBAT PROSES GALVANIK DENGAN KAPAL BAJA DI LINGKUNGAN AIR LAUT DENGAN PENDEKATAN PERMODELAN EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Hazmi Farkhan Haedar Rahman
NRP : 0411144000083
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
2. Imam Baihaqi S.T., M.T..

ABSTRAK

Jenis logam baja dan aluminium banyak digunakan pada industri pembangunan kapal, khususnya untuk bagian lambung kapal. Kedua jenis logam ini memiliki muatan yang berbeda sehingga mengakibatkan aliran listrik dan elektron. Pada kapal baja dan kapal aluminium, fenomena tersebut berpotensi mengakibatkan korosi galvanik. Untuk menentukan jarak optimal agar tidak ada laju korosi yang terjadi, dilakukan pengujian laboratorium. Pengujian ini dilakukan menggunakan spesimen aluminium dengan rasio luasan 1, 4 dan 6 yang dihadapkan pada baja dengan rasio luasan 21, 12 dan 5. Dari variasi luasan tersebut didapatkan sembilan kombinasi spesimen yang diuji pada variasi jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm. Pengukuran laju korosi dilakukan menggunakan *digital ammeter* dengan media hantar listrik berupa air laut. Dari pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa semakin besar *exposure area*, semakin besar arus galvanik yang dihasilkan, namun karena laju korosi adalah fungsi perbandingan dari arus galvanik terhadap *exposure area*, laju korosi cenderung menurun ketika *exposure area* semakin besar. Pengaruh paling besar terhadap laju korosi, terdapat pada variasi jarak antar spesimen, semakin jauh jarak yang dimiliki, semakin rendah pula laju korosi yang dihasilkan. Tingkat penurunan tertinggi terjadi pada pengujian dengan rasio luasan aluminium terhadap baja sebesar 1:21. Pada pengujian tersebut terjadi penurunan sebesar 51% terhadap perubahan jarak sebesar 10 cm. Sedangkan, tingkat penurunan terendah terjadi pada pengujian dengan variasi 3-B yang memiliki rasio luasan sebesar 4:5. Penurunan laju korosi yang terjadi pada pengujian tersebut sebesar 9% dengan perubahan jarak sebesar 10 cm. Pada variasi luasan lainnya, perubahan laju korosi memiliki *range* sebesar 15%-40% setiap perubahan jarak antar spesimen sebesar 10 cm. Jarak optimal ditentukan dengan cara mencari *slope* dari grafik yang dihasilkan dari data laju korosi hasil pengujian, sehingga dapat diketahui nilai jarak (X) ketika laju korosi (Y) sama dengan 0 dari persamaan garisnya. Dari pengujian dengan spesimen 1:21 didapatkan persamaan garis $Y = -0.06064(X)+2.287$, sehingga diketahui pada jarak 38 cm laju korosi yang dihasilkan sebesar 0 mmpy. Dengan cara yang sama dapat diketahui pula jarak optimal pada variasi luasan yang lainnya.

Kata kunci: Laju korosi, Proses galvanik, Kapal aluminium, Kapal Baja.

ALUMINUM VESSEL CORROSION RATE STUDY DUE TO GALVANIC PROCESS WITH STEEL VESSEL IN SEAWATER ENVIRONMENT WITH EXPERIMENTAL MODELLING APPROACH

Author : Hazmi Farkhan Haedar Rahman
NRP : 04111440000083
Departement / Faculty : Naval architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc
2. Imam Baihaqi S.T., M.T.

ABSTRACT

Types of steel and aluminum are widely used in the shipbuilding industry, especially for the hull of the ship. Both types of metal have different charges that result in electricity and electrons. In steel vessels and aluminum vessels, this phenomenon has the potential to result in galvanic corrosion. To determine the optimal distance so that no corrosion rate occurs, laboratory testing is carried out. This test was carried out using aluminum specimens with an area ratio of 1, 4 and 6 which were exposed to steel with an area ratio of 21, 12 and 5. From the variation of the area, nine specimen combinations were tested which were tested at variations in distances of 10 cm, 20 cm, and 30 cm. Corrosion rate measurement was carried out using digital ammeter with electrical conductive media in the form of seawater. From the tests conducted, it can be seen that the greater the exposure area, the greater the galvanic current is produced, but because the corrosion rate is a function of the ratio of galvanic currents to the exposure area, the corrosion rate tends to decrease when the exposure area increases. The biggest influence on the corrosion rate, there is a variation in the distance between specimens, the farther the distance is, the lower the corrosion rate produced. The highest reduction rate occurred in testing with aluminum to steel area ratio of 1:21. In the test, a 51% decrease in the change in distance of 10 cm occurred. Meanwhile, the lowest level of the decline occurred in testing with variation 3-B which has an area ratio of 4: 5. The decrease in the corrosion rate that occurred in the test was 9% with a change in distance of 10 cm. In other variations in area, the change in corrosion rate has a range of 15% -40% per change in distance between specimens by 10 cm. The optimal distance is determined by finding the slope of the graph generated from the corrosion rate data from the test results so that the distance value (X) can be known when the corrosion rate (Y) is equal to 0 from the equation of the line. From testing with 1:21 specimens obtained the equation of line $Y = -0.06064 (X) + 2,287$, so that it is known that at a distance of 38 cm the corrosion rate produced is 0 mmpy. In the same way, it can also be seen the optimal distance in the other variations of area.

Keywords: Corrosion rate, galvanic process, aluminum vessel, steel ship.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Hipotesis.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Aluminium	5
2.2. Baja.....	6
2.3. Deret Volta	7
2.4. Korosi.....	8
2.4.1. Reaksi Elektrokimia	9
2.4.2. Proses Anodik.....	12
2.4.3. Proses Katodik.....	12
2.4.4. Hukum Faraday	16
2.4.5. Mekanisme Terjadinya Korosi	18
2.4.6. Pengaruh Lingkungan Terhadap Laju Korosi	20
2.4.7. Jenis-Jenis Korosi.....	22
2.5. Luasan Permukaan Basah Kapal	27
2.6. Laju Korosi.....	28
2.7. <i>Slope</i>	29
2.8. Standar Pengujian.....	30
BAB 3 METODOLOGI	33
3.1. Bagan Alir	33
3.2. Pendahuluan	34
3.3. Metode.....	35
3.3.1. Metode Observasi	35
3.3.2. Metode Penelitian Laboratorium.....	36
3.4. Lokasi Pengerjaan	36
3.5. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	36
3.6. Studi Pustaka	36
3.7. Proses Pengujian Laju Korosi	37
3.7.1. <i>Survey</i> lapangan.....	37

3.7.2.	Peralatan dan Bahan	38
3.7.3.	Pembuatan Spesimen.....	43
3.7.4.	Pembuatan Media Pengujian	45
3.7.5.	Kalibrasi Alat Ukur	46
3.7.6.	Pengukuran Arus Korosi	46
3.7.7.	Proses Pengujian.....	48
3.7.8.	Hasil Pengujian.....	49
3.8.	Tahap Pengolahan Data.....	49
3.9.	Analisa dan Pengolahan Data.....	50
3.10.	Kesimpulan dan Saran.....	50
BAB 4	HASIL PENGUJIAN	51
4.1.	Pendahuluan	51
4.2.	Hasil Pengujian	51
4.2.1.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm ² dan Luasan Baja 3019 cm ² (1-A).....	51
4.2.2.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm ² dan Luasan Baja 3019 cm ² (1-B)	52
4.2.3.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm ² dan Luasan Baja 3019 cm ² (1-C).....	53
4.2.4.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm ² dan Luasan Baja 1698,41 cm ² (2-A).....	54
4.2.5.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm ² dan Luasan Baja 1698,41 cm ² (2-B)	55
4.2.6.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm ² dan Luasan Baja 1698,41 cm ² (2-C).....	56
4.2.7.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm ² dan Luasan Baja 754,85 cm ² (3-A).....	58
4.2.8.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm ² dan Luasan Baja 754,85 cm ² (3-B)	59
4.2.9.	Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm ² dan Luasan Baja 754,85 cm ² (3-C).....	60
BAB 5	ANALISA HASIL PENGUJIAN.....	61
5.1.	Umum.....	61
5.2.	Konversi Laju Korosi berdasarkan Arus yang Dihasilkan.....	61
5.3.	Analisa Pengaruh Perubahan Jarak terhadap Laju Korosi	63
5.3.1.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm ²)	63
5.3.2.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm ²)	65
5.3.3.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm ²)	66
5.3.4.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (3019,4 cm ²)	67
5.3.5.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (1698,41 cm ²)	69
5.3.6.	Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (754,85 cm ²)	71
5.4.	Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Jarak	72
5.5.	Analisa Pengaruh Perubahan Rasio Luasan terhadap Laju Korosi	74
5.5.1.	Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm ²).....	74
5.5.2.	Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm ²).....	76
5.5.3.	Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm ²).....	77

5.5.4.	Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (3019,4 cm ²).....	79
5.5.5.	Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (1698,41 cm ²).....	80
5.5.6.	Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (754,85 cm ²).....	82
5.6.	Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Rasio Luasan ...	83
5.7.	Analisa Jarak Optimal	84
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	89
6.1.	Kesimpulan.....	89
6.2.	Saran.....	90
	DAFTAR PUSTAKA.....	91
	LAMPIRAN	93
	LAMPIRAN A DATA TEKNIS DAN HASIL SURVEY KAPAL LPD DAN FPB	
	LAMPIRAN B PERSIAPAN PENGUJIAN	
	LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh rangkaian <i>Galvani cell</i>	9
Gambar 2.2 Contoh rangkaian sel volta	10
Gambar 2.3 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi <i>zinc</i> pada larutan <i>aerated hydrochlorid acid</i>	11
Gambar 2.4 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada magnesium	13
Gambar 2.5 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi <i>zinc</i> di asam hidroklorid	15
Gambar 2.6 Formasi ion pada area anodik dan pelepasan hidrogen pada area katodik	16
Gambar 2.7 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi <i>zinc</i> di larutan asam hidroklorid tanpa udara.....	19
Gambar 2.8 Pengaruh oksigen terlarut terhadap laju korosi	20
Gambar 2.9 Hubungan antara oksigen terlarut terhadap suhu.....	21
Gambar 2.10 Reaksi elektrokimia yang terjadi antara <i>zinc</i> dan <i>platinum</i>	22
Gambar 2.11 Korosi seragam yang terjadi pada monumen logam.....	23
Gambar 2.12 Korosi celah yang terjadi pada panel atap sebuah rumah.....	24
Gambar 2.13 Deret galvanis dari material	26
Gambar 2.14 Contoh perbandingan kapal sebagai persegi.....	28
Gambar 2.15 Rangkaian pengujian menggunakan ammeter	31
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengerjaan tugas akhir	34
Gambar 3.2 Pengukuran jarak antar kapal di dermaga.....	37
Gambar 3.3 Posisi sandar antara kapal baja dan kapal aluminium	37
Gambar 3.4 Spesimen Pelat Baja	38
Gambar 3.5 Spesimen Pelat Aluminium	38
Gambar 3.6 Salinometer	39
Gambar 3.7 pH meter	39
Gambar 3.8 Akuarium yang digunakan untuk proses pengujian.....	40
Gambar 3.9 Gantungan yang dipakai untuk pengujian	40
Gambar 3.10 <i>Sling</i> bungkus.....	41
Gambar 3.11 Span Sekrup atau jarum keras.....	41
Gambar 3.12 Pengambilan air laut	42
Gambar 3.13 Multimeter	42
Gambar 3.14 Stopwatch	43
Gambar 3.15 Material yang perlu dihaluskan (A), Proses penghalusan bagian tepi material (B)	45
Gambar 3.16 Salinitas air laut terukur 25 ppm.....	45
Gambar 3.17 Akuarium	46
Gambar 3.18 Kalibrasi amperemeter menunjukkan angka nol	46
Gambar 3.19 Penggantungan spesimen menggunakan <i>sling</i> bungkus	48
Gambar 3.20 Rangkaian pengujian menggunakan <i>ammeter</i>	48
Gambar 3.21 Pengambilan data yang dilakukan	49
Gambar 5.1 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm ²	64
Gambar 5.2 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm ²	66

Gambar 5.3 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm ²	67
Gambar 5.4 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm ²	69
Gambar 5.5 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 1689,41 cm ²	70
Gambar 5.6 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm ²	72
Gambar 5.7 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm ²	75
Gambar 5.8 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm ²	77
Gambar 5.9 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm ²	78
Gambar 5.10 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm ²	80
Gambar 5.11 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 1698,41 cm ²	81
Gambar 5.12 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm ²	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Seri paduan aluminium.....	6
Tabel 2.2 Komposisi Baja A36.....	7
Tabel 2.3 Standard potensial pada elektrode pada suhu 25 °C.....	7
Tabel 2.4 Tabel konversi satuan laju korosi.....	18
Tabel 2.5 <i>Levelling</i> laju korosi berdasarkan tingkat keparahannya.....	29
Tabel 3.1 Tabel ukuran spesimen aluminium.....	44
Tabel 3.2 Tabel ukuran spesimen baja.....	44
Tabel 3.3 Tabel kombinasi ukuran spesimen yang akan diuji.....	47
Tabel 4.1 Variasi 1-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:21.....	52
Tabel 4.2 Variasi 1-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:21.....	53
Tabel 4.3 Variasi 1-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:21.....	54
Tabel 4.4 Variasi 2- A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:12.....	55
Tabel 4.5 Variasi 2-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:12.....	56
Tabel 4.6 Variasi 2-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:12.....	57
Tabel 4.7 Variasi 3-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:5.....	58
Tabel 4.8 Variasi 3-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:5.....	59
Tabel 4.9 Variasi 3-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:5.....	60
Tabel 5.1 Hasil Konversi Laju Korosi.....	62
Tabel 5.2 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm ²	63
Tabel 5.3 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm ²	65
Tabel 5.4 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium 901,69 cm ²	66
Tabel 5.5 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm ²	68
Tabel 5.6 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 1689,41 cm ²	69
Tabel 5.7 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm ²	71
Tabel 5.8 Perubahan laju korosi terhadap perubahan jarak.....	73
Tabel 5.9 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm ²	74
Tabel 5.10 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm ²	76
Tabel 5.11 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm ²	77
Tabel 5.12 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm ²	79
Tabel 5.13 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 1698,41 cm ²	80
Tabel 5.14 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm ²	82

Tabel 5.15 Data perubahan laju korosi terhadap perubahan luasan baja.....	83
Tabel 5.16 Data perubahan laju korosi terhadap perubahan luasan aluminium	84
Tabel 5.17 Data laju korosi pada variasi luasan 1-A.....	85
Tabel 5.18 Perhitungan Jarak Optimal	86

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kapal-kapal yang banyak beredar di dunia ini terbuat dari bahan yang bervariasi. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai pada bidang industri pembangunan kapal adalah baja dan aluminium. Baja banyak dipakai sebagai bahan baku konstruksi kapal karena harganya yang relatif murah dibandingkan pelat-pelat lainnya. Namun, penggunaan pelat baja ini dibatasi pada pembangunan kapal yang mempunyai panjang di atas 20 meter saja. Pada kapal yang memiliki panjang 20 meter ke bawah, penggunaan pelat baja sebagai bahan baku konstruksi kapal dianggap kurang efisien karena perbandingan dari berat dan dimensi kapal tersebut akan tidak seimbang dibandingkan dengan kapal yang terbuat dari material lainnya. Biasanya kapal-kapal yang mempunyai dimensi tidak terlalu besar menggunakan pelat aluminium sebagai alternatif bahan baku utamanya. Aluminium banyak digunakan sebagai material alternatif karena sifatnya yang ringan, dan mempunyai ketahanan korosi yang cukup tinggi hampir di segala kondisi (Davis, 1999).

Material baja dan material aluminium memiliki muatan elektron yang berbeda, hal ini dapat dilihat pada deret volta dan deret galvanis unsur-unsur kimia. Perbedaan tersebut yang menyebabkan adanya beda potensial antara baja dan aluminium sehingga nantinya akan menimbulkan aliran arus listrik di antara kedua logam tersebut. Apabila ada arus yang mengalir, artinya ada elektron yang berpindah dari satu titik ke titik lainnya. Perpindahan elektron inilah yang nantinya akan menjadi penyebab korosi pada salah satu logam tersebut. Korosi yang disebabkan oleh peristiwa seperti ini disebut sebagai korosi galvanik.

Secara spesifik korosi didefinisikan sebagai kumpulan dari keseluruhan proses dimana metal atau *alloy* yang digunakan untuk material struktur berubah bentuk dari bersifat metal menjadi beberapa kombinasi dari kondisi yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungannya. Dengan demikian korosi diartikan juga sebagai kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan yang didukung oleh faktor-faktor tertentu (Supomo, 1999). Aluminium adalah salah satu unsur logam yang memiliki ketahanan korosi yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena aluminium memiliki lapisan tipis oksida yang kuat, lapisan tipis inilah yang dapat melindungi logam aluminium tersebut terhadap udara,

dengan kata lain, lapisan tipis oksida ini cukup kuat untuk menahan oksigen sehingga tidak terbentuk oksidasi lebih lanjut (peristiwa korosi). Selain tidak dapat bereaksi dengan udara, logam aluminium juga tidak dapat bereaksi dengan air karena adanya lapisan tipis oksida ini.

Salah satu kapal yang banyak menggunakan aluminium sebagai bahan utamanya adalah kapal patroli karena ketahanan korosi yang relatif tinggi dan sifatnya yang lebih ringan dibandingkan baja. Namun, pada beberapa kasus jika aluminium diletakkan menempel dengan logam lain yang muatannya lebih rendah maka aluminium tersebut akan lebih cepat terkorosi. Hal ini disebabkan karena adanya proses galvanik yang terjadi antara aluminium dan baja yang berada dalam satu lingkungan air laut (Roberge, 2008). Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari bagaimana proses tersebut dapat terjadi.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana konsep laju korosi galvanik pada kapal beda material?
2. Bagaimana pengaruh variasi luasan terhadap laju korosi?
3. Bagaimana jarak antara dua spesimen berpengaruh pada laju korosi?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui konsep laju korosi galvanik pada kapal beda material
2. Mengetahui pengaruh variasi luasan terhadap laju korosi
3. Mengetahui pengaruh jarak antar dua spesimen terhadap laju korosi

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah Aluminium 5083 dan baja ASTM A36
2. Luas permukaan spesimen sebanding dengan WSA dari kedua kapal
3. Tanpa Perlindungan korosi
4. Media korosi adalah NaCl
5. Pengukuran laju korosi menggunakan ammeter digital

1.5. Manfaat

Manfaat akademis yang diberikan dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Memberikan informasi tentang bagaimana korosi galvanik terjadi antara kapal baja dan kapal aluminium yang sandar berdekatan di satu lingkungan air laut yang sama.
2. Mengetahui bagaimana perbandingan luasan dan jarak antara kapal aluminium dan kapal baja mempengaruhi laju korosi galvanik

Manfaat praktis yang diberikan dari penelitian tugas akhir ini adalah memberi referensi kepada pihak pelabuhan untuk memperhatikan posisi sandar kapal aluminium dan kapal baja.

1.6. Hipotesis

Laju korosi pada permukaan aluminium yang besar akan menyebabkan arus galvanik yang dihasilkan semakin besar, sehingga laju korosi yang dihasilkan semakin besar. Jarak antara pelat aluminium dan baja memiliki pengaruh yang besar terhadap perubahan laju korosi. Semakin dekat jarak yang dimiliki, laju korosi yang dihasilkan akan semakin besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1. Aluminium

Aluminium adalah unsur yang memiliki kelebihan dibanding dengan unsur logam lainnya seperti ringan, ketahanan korosi yang cukup tinggi, banyaknya variasi paduan dari aluminium, dan mudah untuk dibentuk. Kelebihan-kelebihan itulah yang menyebabkan aluminium dijadikan material alternatif di bidang pembangunan kapal. Aluminium dianggap sebagai logam yang ringan karena paduan aluminium memiliki massa jenis yang berkisar antara 2600 sampai 2800 kg/m³. Beberapa percobaan telah membuktikan bahwa struktur yang terbuat dari paduan aluminium atau *aluminium alloy* bisa sampai 50% lebih ringan dibandingkan struktur yang sama yang terbuat dari *mild steel* atau *stainless steel*. Selain itu, *aluminium alloy* juga sangat mudah untuk diolah. Hal ini dikarenakan tidak butuh metode khusus untuk mengolah aluminium, karena satuan proses konvensional seperti *shaping*, *bending*, *fabrication*, dan *machining* masih dapat diterapkan dalam pengolahan *aluminium alloy*.

Aluminium juga merupakan salah satu unsur logam yang dapat dibuat menjadi banyak paduan. Biasanya pembuatan paduan aluminium ini didasarkan pada enam jenis campuran:

- Aluminium – *copper*
- Aluminium – *manganese*
- Aluminium – *silicone* (dengan atau tanpa magnesium)
- Aluminium – *magnesium*
- Aluminium – *magnesium* – *silicone*
- Aluminium – *zinc*

Paduan – paduan aluminium di atas dibedakan berdasarkan *series*-nya. Seri atau angka yang tertera pada aluminium selain menandakan unsur paduannya, juga menandakan apakah aluminium tersebut merupakan *casting alloys* atau *wrought alloys*. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pada tabel tersebut, *series* dari aluminium juga menjelaskan bagaimana *mechanical properties* yang dimiliki paduan aluminium tersebut. Aluminium yang digunakan pada pengujian ini adalah *aluminium alloy* 5083, yang menurut Tabel 2.1 merupakan paduan aluminium dengan magnesium dan juga termasuk dalam *wrought alloy* atau yang dibuat dengan cara tempaan.

Tabel 2.1 Seri paduan aluminium

<i>Element</i>	<i>Influence</i>	<i>Main Alloy</i>	
		<i>Casting alloys</i>	<i>Wrought alloy</i>
<i>Manganese</i>	<i>Strain-hardenable alloy</i>		3003
	<i>Improves mechanical properties</i>		3004
<i>Magnesium</i>	<i>Strain – hardenable alloy</i>	5100 (A-G3T)	5052
	<i>Improves resistance to corrosion</i>		5754
	<i>Weldable alloy</i>		5083
	<i>Good sustainability for surface treatments</i>		5086

(sumber: Vargel, 2004)

2.2. Baja

Baja adalah logam paduan yang mengandung besi (*Fe*) dan karbon (*C*) sebagai unsur paduannya. Unsur besi pada dipakai sebagai unsur dasar dan unsur karbon dipakai sebagai unsur paduan utamanya. Baja karbon pada umumnya mempunyai unsur karbon sebanyak 1% dan unsur-unsur paduan lain sebanyak 2% pada setiap satuan beratnya. Meskipun baja memiliki keterbatasan dalam ketahanan korosi, banyak industri yang menggunakan baja karbon sebagai bahan baku utamanya, seperti industri perkapalan, pembangkit nuklir dan tenaga fosil, pengeboran, industri konstruksi, dll. Di setiap pengaplikasian baja karbon ini memiliki masalah-masalah tersendiri yang berhubungan dengan korosi.

Sebagai acuan, baja karbon rendah atau *mild steel* memiliki unsur karbon sebanyak 0,08 sampai 0,28%. Baja karbon rendah ini dianggap lebih tahan terhadap serangan korosi dibandingkan dengan baja karbon menengah yang memiliki unsur paduan karbon sebesar 0,28 sampai 0,55%. Sedangkan, baja karbon menengah dianggap lebih tahan korosi dibanding dengan baja dengan kandungan karbon sebesar 0,5 sampai 1,0%, atau yang bisa disebut *high-carbon steel* (Davis, 2013).

Pada pengujian ini material yang dipakai adalah material baja ASTM A36 yang banyak digunakan pada industri maritim. Baja A36 ini termasuk baja karbon dengan tingkat rendah atau *mild steel*. Baja ini termasuk ke kategori *mild steel* karena karbon yang terkandung pada paduan ini berkisar antara 0,1% – 0,3%. Baja ASTM A36 memiliki sifat las atau *weldable* yang baik dan biasanya digunakan untuk konstruksi kapal dan bagian lambung kapal. Adapun komposisi dari baja A36 adalah sebagai berikut (ASTM, 2001):

Tabel 2.2 Komposisi Baja A36

<i>Element</i>	<i>Composition</i>
<i>Iron</i>	99%
<i>Carbon</i>	0.26%
<i>Copper</i>	0.2%
<i>Manganese</i>	0.75%
<i>Phosphorous</i>	0.04%
<i>Sulfur</i>	0.05%

(Sumber: ASTM, 2001)

2.3. Deret Volta

Deret elektrokimia atau yang sering disebut deret volta adalah urutan logam dengan hidrogennya yang berdasarkan dari kenaikan potensial (V) elektrode standarnya. Umumnya, deret volta yang sering dipakai adalah (Bard, Parson, & Jordan, 1985):

Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au

Pada deret volta, urutan logam yang memiliki potensial elektrode negatif ditempatkan di bagian kiri deret, sedangkan unsur logam yang memiliki potensial elektrode positif ditempatkan di bagian kanan deret. Hal itu menjelaskan bahwa semakin kiri kedudukan logam tersebut maka semakin reaktif atau semakin mudah dalam melepaskan elektron sehingga, logam tersebut merupakan reduktor yang semakin kuat. Sedangkan, semakin kanan kedudukan logam maka, sifat logam tersebut semakin tidak reaktif, sehingga menyebabkan logam tersebut bersifat oksidator (Pitzer, 2014). Untuk lebih jelasnya, contoh deret volta dapat diperhatikan pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Standard potensial pada elektrode pada suhu 25 °C

<i>Reaction</i>	<i>E⁰ (V)</i>
$\text{Li}^+ + e^- = \text{Li}$	-3,045
$\text{Ca}^{2+} + 2 e^- = \text{Ca}$	-2,866
$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$	-2,714
$\text{Al}^{3+} + 3 e^- = \text{Al}$	-1,662
$\text{Zn}^{2+} + 2 e^- = \text{Zn}$	-1,245
$\text{Fe}^{2+} + 2 e^- = \text{Fe}$	-0,441
$\text{Cd}^{2+} + 2 e^- = \text{Cd}$	-0,403

(Sumber: BAGOTSKY & Maxwell, 2005)

Dalam pengujian ini digunakan material baja yang berbahan dasar *Fe* dan *aluminium alloy* yang berbahan dasar Al sebagai spesimen. Menurut Tabel 2.3 tegangan yang dimiliki Fe

sebesar -0,441 V sedangkan, tegangan yang dimiliki Al sebesar -1,662 V. Berarti, tegangan yang dimiliki baja lebih tinggi daripada tegangan yang dimiliki *aluminium alloy*. Sedangkan, arus listrik mengalir dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Namun, aliran elektron berbanding terbalik dengan aliran listrik, yang artinya elektron mengalir dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi. Sehingga, dalam pengujian ini baja berperan sebagai katoda (+) dan aluminium berperan sebagai anoda (-).

2.4. Korosi

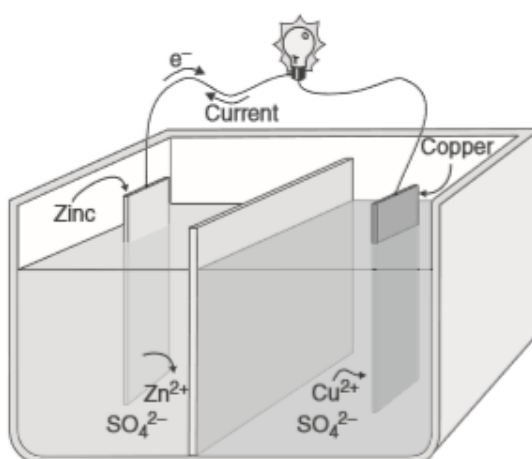
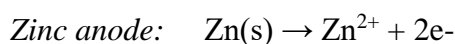
Korosi adalah proses kerusakan logam akibat adanya reaksi kimia antara suatu logam dengan zat-zat yang ada di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Senyawa-senyawa yang dihasilkan akibat reaksi tersebut yang menyebabkan proses kerusakan pada logam tersebut. Dalam istilah sehari-hari proses korosi ini biasa disebut perkaratan. Ada dua reaksi yang terjadi pada proses korosi ini, reaksi tersebut adalah reaksi oksidasi dan reaksi redoks. Komponen logam dalam proses ini mengalami reaksi oksidasi sedangkan oksigen yang ada di lingkungan logam tersebut mengalami reaksi reduksi atau redoks. Karat yang terbentuk pada logam pada umumnya berupa oksida atau karbonat. Sebagai contoh, pada proses korosi besi akan terbentuk besi oksida ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) yang berwarna coklat-merah di sekitar area yang terpengaruh korosi.

Korosi juga sangat bersifat destruktif, hal ini sangat merugikan baik bagi kekuatan pada sistem konstruksi maupun bagi bidang ekonominya. Kegagalan konstruksi dapat disebabkan apabila sistem konstruksi yang terbuat dari logam sudah mulai termakan oleh korosi, sehingga kekuatan pada sistem konstruksi pun akan berkurang. Apabila suatu komponen konstruksi sudah mulai termakan oleh korosi dibutuhkan biaya yang tidak sedikit, jadi apabila komponen konstruksi tidak diberi perlindungan korosi yang cukup akan mengakibatkan kerugian yang cukup besar

Proses korosi ini tidak dapat dapat dihentikan, namun dapat dikendalikan lajunya sehingga laju korosinya dapat ditekan sehingga dapat memperlambat perusakannya. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan cara pelapisan pada permukaan logam, anoda tumbal, penambahan *inhibitor* korosi dan lain-lain. Termasuk penambahan arus listrik pada logam yang dilindungi atau *ICCP* agar muatan elektron yang dimiliki logam tersebut seimbang dan lebih tahan terhadap korosi. Sejauh ini penggunaan *inhibitor* merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk perlindungan korosi, karena biaya yang relatif murah dan prosesnya yang cukup sederhana.

2.4.1. Reaksi Elektrokimia

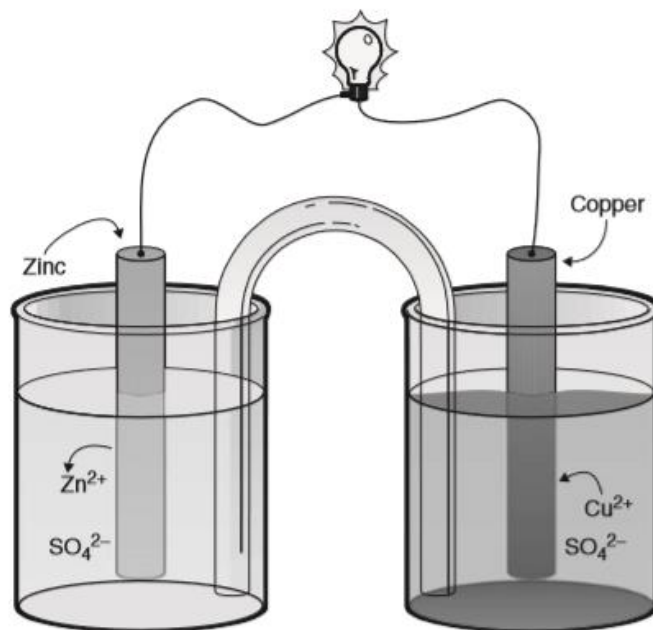
Reaksi elektrokimia atau yang biasa disebut elektrolisis adalah suatu reaksi kimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi serta perpindahan elektron di dalam reaksinya. Hampir semua proses terjadinya korosi pada logam disebabkan karena adanya elektrolisis. Pemanfaatan proses elektrolisis yang mempunyai pengaruh paling besar pada dunia industri modern saat ini adalah pemanfaatan sel elektrolisis sebagai sumber daya atau baterai yang ditemukan oleh Alessandro Volta. Pemanfaatan elektrolisis sebagai sumber daya listrik yang pertama menggunakan suatu rangkaian yang disebut "The Daniel Cell". Prinsip kerja dari *daniel cell* ini adalah pencelupan tembaga dan *zinc* dalam satu larutan asam yang sama. Dalam reaksi tersebut, elektron akan berpindah dari *zinc* yang terkorosi ke tembaga melalui jalur konduksi listrik yang nantinya akan menjadi arus listrik. *Zinc* akan lebih mudah kehilangan elektron daripada tembaga, sehingga menempatkan *zinc* dan tembaga pada larutan garam yang sama akan menyebabkan elektron mengalir. Perbedaan muatan antara dua material ini menyebabkan korosi atau lebih tepatnya disebut korosi galvanik, dinamai sesuai penemunya yaitu Luigi Galvani.



Gambar 2.1 Contoh rangkaian *Galvani cell*
(Sumber: Roberge, 2008)

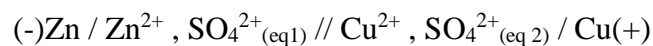
Penghalang atau pemisah di tengah larutan tersebut bertujuan agar interaksi antara logam dan larutan sulfatnya tetap terjaga, sehingga tegangan yang dihasilkan oleh *Daniel cell*

ini relatif konstan. Untuk mendapatkan hal yang sama, dapat dilakukan dengan penambahan jembatan garam yang menghubungkan dua gelas yang berisi larutan dan logam yang berbeda untuk menggantikan fungsi dari penghalang di rangkaian sebelumnya. Jembatan garam pada rangkaian ini akan menjadi jalur elektrolit untuk melengkapi rangkaian *cell* elektrokimia ini. Keadaan seperti ini dapat terjadi secara alamiah ketika lingkungan di sekitar berfungsi sebagai elektrolit yang dapat menyebabkan korosi. Konduktivitas di lingkungan yang basah seperti tanah, atau air relatif sering menyebabkan korosi.



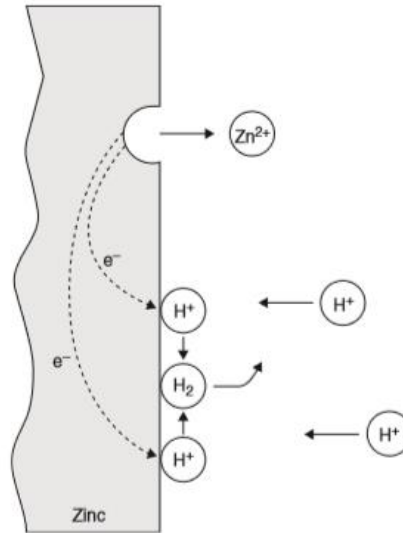
Gambar 2.2 Contoh rangkaian sel volta
(Sumber: Roberge, 2008)

Reaksi yang terjadi pada kedua rangkaian pada gambar Gambar 2.2 Contoh rangkaian sel volta dapat dituliskan melalui persamaan sebagai berikut:



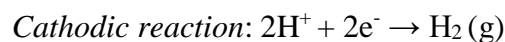
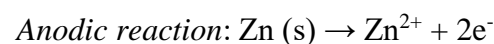
Eq₁ dan Eq₂ pada persamaan di atas menandakan konsentrasi antara *zinc sulfate* dan tembaga sulfat yang dipisahkan menjadi dua *half-cells*, sementara garis miring dua (//) menandakan pemisah antara dua sel tersebut. Sedangkan, tanda negatif (-) menunjukkan bahwa *zinc electrode* berfungsi sebagai anoda dalam reaksi tersebut sedangkan, tembaga berperan sebagai katoda yang ditunjukkan dengan tanda positif (+).

Meskipun korosi terjadi karena adanya masing-masing reaksi oksidasi dan reaksi reduksi, tetapi tidak selalu terlihat jelas seperti apa yang terjadi di baterai dan sel elektrokimia. Terkadang, gabungan antara kedua reaksi tersebut terjadi dalam satu bagian logam saja.

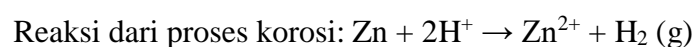


Gambar 2.3 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi *zinc* pada larutan *aerated hydrochlorid acid* (Sumber: Roberge, 2008)

Pada Gambar 2.3 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi *zinc*, diilustrasikan sebuah logam *zinc* dicelupkan pada larutan asam hidroklorit dan terjadi pengikisan akibat proses korosi. Pada satu bagian permukaan logam tersebut *zinc* bertransformasi menjadi *zinc ion*. Reaksi ini menghasilkan elektron yang mengalir melalui bagian konduktif dari logam tersebut menuju permukaan dimana ion hidrogen akan berkurang dan berubah menjadi gas hidrogen. Reaksi tersebut dapat dituliskan melalui persamaan:



Persamaan tersebut menunjukkan bagaimana terjadinya reaksi elektrokimia yang terjadi pada *zinc*. Pada reaksi tersebut elektron berpindah, sedangkan reaksi oksidasi terjadi bersamaan dengan terjadinya reaksi reduksi. Kedua persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi reaksi korosi di bawah ini

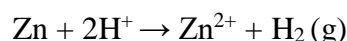


Singkatnya untuk terjadi korosi, harus ada formasi ion dan pelepasan elektron pada permukaan anoda yang dimana terjadi oksidasi dan pengikisan logam. Secara bersamaan,

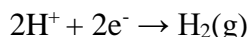
dibutuhkan juga reaksi pada permukaan katoda untuk mengonsumsi elektron yang telah dihasilkan oleh reaksi pada permukaan anoda. Elektron yang telah dihasilkan tadi dapat menetralkan ion positif seperti ion hidrogen (H^+), atau untuk membentuk ion negatif. Reaksi katoda dan reaksi anoda harus berjalan secara bersamaan pada laju reaksi yang sama. Meskipun begitu, biasanya yang disebut dengan korosi hanyalah reaksi yang terjadi pada permukaan anoda saja, karena pada bagian tersebutlah yang terjadi pengikisan logam. (Lower, 2012)

2.4.2. Proses Anodik

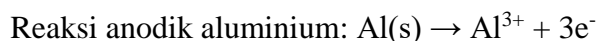
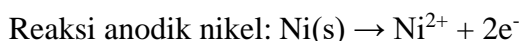
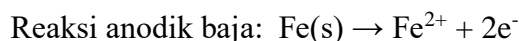
Proses terjadinya korosi tidak bisa terlepas dari reaksi anoda dan katoda. Sebagai contoh, reaksi reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen pada persamaan di bawah ini:



Pada persamaan reaksi tersebut, melibatkan evolusi ion hidrogen menjadi gas hidrogen yang dapat dituliskan dengan persamaan:



Reaksi dari evolusi hidrogen terjadi dalam banyak variasi logam dan larutan asam, termasuk hidroklorid, *sulfuric*, *perchloric*, dan asam-asam kuat lainnya. Reaksi anodik individual untuk baja, nikel, dan aluminium dapat dituliskan dalam bentuk berikut:



Dengan persamaan reaksi tersebut, proses korosi pada logam dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

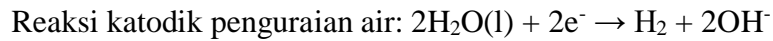


Dimana, “M” pada hasil persamaan tersebut menandakan logam yang teroksidasi dan memuat ion sebanyak “n+”. Sedangkan, “n” menunjukkan jumlah elektron yang dilepaskan pada reaksi tersebut. Nilai “n” pastinya akan bergantung pada jenis logamnya masing-masing. (Roberge, 2008)

2.4.3. Proses Katodik

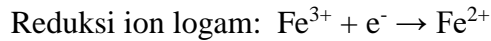
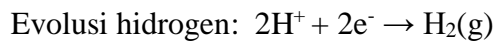
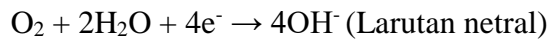
Proses katodik ini adalah proses ketika ion hidrogen tereduksi dan berevolusi menjadi gas hidrogen akibat reaksi yang terjadi di daerah permukaan katodik. Proses reduksi ion

hidrogen pada permukaan katodik ini akan mengganggu keseimbangan antara ion H^+ dan ion OH^- dan akan menyebabkan larutan menjadi kurang asam atau lebih basa pada bagian yang mengalami korosi. Pada air yang bersifat netral, beberapa logam seperti aluminium, *zinc*, atau *magnesium* mempunyai cukup energi untuk menguraikan air secara langsung, yang dapat ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

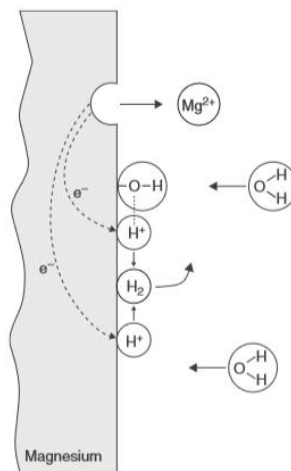


Perubahan konsentrasi ion hidrogen atau peningkatan ion *hydroxyl* dapat diketahui menggunakan indikator pH, sehingga dengan cara itu dapat diketahui bagian mana dari logam yang mengalami reaksi katodik pada saat proses korosi terjadi. Ada beberapa reaksi katodik yang terjadi pada saat korosi pada logam terjadi.

Reduksi oksigen pada:



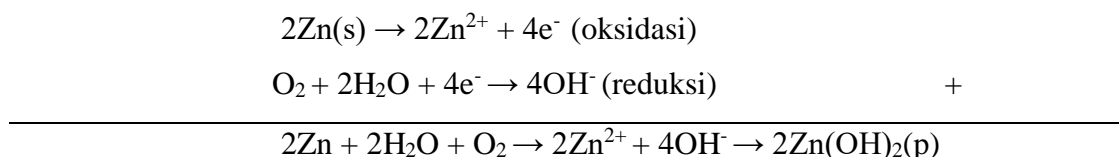
Reaksi katodik yang terjadi pada saat proses korosi di larutan asam dapat diilustrasikan dengan Gambar 2.4 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada magnesium berikut:



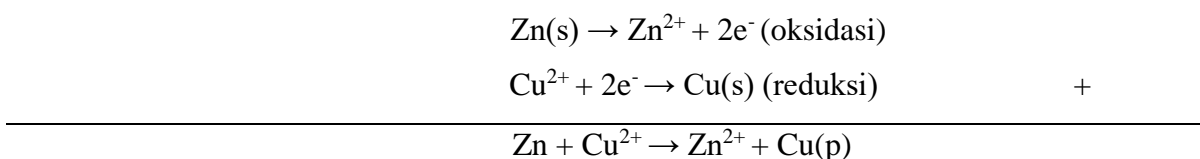
Gambar 2.4 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada magnesium (Sumber: Roberge, 2008)

Reduksi oksigen adalah reaksi katodik yang paling umum terjadi, ini disebabkan karena oksigen tersedia secara alamiah di atmosfer dan larutan biasanya terpapar di atmosfer secara langsung. Namun, reduksi ion logam dan deposisi logam bisa saja terjadi dan dapat menyebabkan kerusakan yang lumayan pada beberapa kasus.

Perlu diingat bahwa reaksi yang terjadi di atas memiliki satu kesamaan, yaitu mengonsumsi elektron. Semua reaksi korosi terjadi akibat kombinasi dari satu atau lebih reaksi katodik tersebut. Oleh karena itu, hampir setiap kasus korosi yang terjadi karena air dapat direduksi menjadi persamaan tunggal maupun persamaan kombinasi. Misal, korosi *zinc* oleh air atau udara lembap. Dengan mengalikan reaksi oksidasi *zinc* menjadi dua kali dan menambahkannya dengan reaksi reduksi oksigen, berikut persamaannya.



Hasil dari reaksi ini adalah Zn^{2+} dan OH^- yang dimana akan langsung bereaksi dan membentuk zat Zn(OH)_2 yang tidak dapat diuraikan. Sama seperti korosi yang terjadi pada *zinc* yang disebabkan oleh larutan yang mengandung ion tembaga, sehingga penjumlahan dari reaksi oksidasi *zinc* dan reaksi deposisi metal melibatkan ion *cupric* dapat dituliskan seperti persamaan di bawah ini.

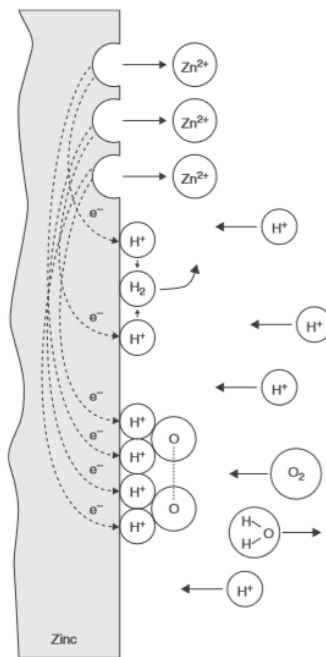


Selama proses korosi terjadi, mungkin saja terjadi lebih dari satu reaksi oksidasi dan reduksi. Contohnya, korosi yang terjadi pada logam paduan, atom dari komponen logam tersebut akan larut di larutan dan menjadi ion. Jadi, korosi pada logam paduan baja-*chromium*, masing-masing baja dan *chromium* akan teroksidasi, dan juga lebih dari satu reaksi katodik yang dapat terjadi di permukaan logam tersebut.

Dengan anggapan korosi *zinc* pada larutan asam hidroklorid mengandung oksigen terlarut. Ada dua reaksi katodik yang mungkin terjadi yaitu evolusi hidrogen dan reaksi reduksi

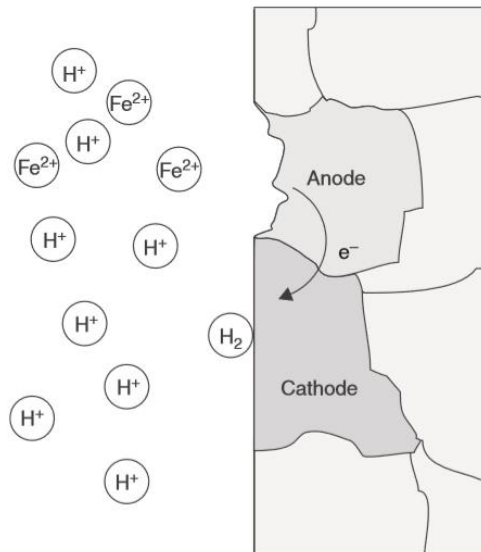
oksigen. Karena ada dua reaksi katodik atau proses yang mengonsumsi yang terjadi, menyebabkan laju korosi pada *zinc* akan meningkat. Larutan asam yang mengandung oksigen terlarut atau yang terekspos udara akan bersifat lebih korosif dibandingkan larutan asam yang tertutup. Oleh karena itu, menghilangkan oksigen dari larutan asam dapat mengurangi sifat korosif dari larutan asam tersebut.

Apabila suatu potongan logam *mild steel* dicelupkan pada larutan asam hidroklorid, akan ada banyak formasi gelembung-gelembung oksigen yang terbentuk. Pada kondisi seperti ini proses pengikisan karena korosi akan terjadi sangat cepat. Pelarutan bagian logam akan terjadi pada sisi anoda dari logam tersebut. Gelembung hidrogen hanya akan terbentuk pada permukaan katodik dari logam tersebut. Meskipun begitu, ada kemungkinan gelembung tersebut akan muncul pada seluruh permukaan pada logam, tidak hanya pada posisi spesifik yang disebut sebagai area katodik. Posisi dari permukaan katodik dan anodik ini bisa saja bergantian seiring berjalannya waktu, hal ini yang nantinya akan menyebabkan korosi *uniform*.



Gambar 2.5 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi *zinc* di asam hidroklorid (Sumber: Roberge, 2008)

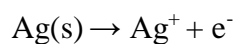
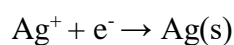
Ketika fenomena tersebut terjadi, hal itu dapat diamati menggunakan mikroskop yang sesuai, dan dapat dilihat bahwa banyak bagian bagian anodik dan katodik yang bergantian di seluruh permukaan logamnya. Area tersebut, sangatlah kecil untuk dapat dilihat dan juga sangat banyak sehingga hampir tidak bisa dipisahkan (Roberge, 2008).



Gambar 2.6 Formasi ion pada area anodik dan pelepasan hidrogen pada area katodik
(Sumber: Roberge, 2008)

2.4.4. Hukum Faraday

Apabila arus yang dihasilkan oleh satu reaksi anodik diketahui, memungkinkan untuk mengonversi arus menjadi *mass loss* atau laju korosi dengan hubungan yang ditemukan oleh Michael Faraday, salah satu *pioneer* bidang elektrokimia di abad ke-19. Hukum empiris Faraday tentang elektrolisis, menghubungkan antara arus dari reaksi elektrokimia dengan jumlah mol dari elemen yang sedang bereaksi dan jumlah mol dari elektron yang terlibat pada reaksi tersebut. Dengan anggapan bahwa muatan yang dibutuhkan untuk suatu reaksi adalah satu elektron per molekul, seperti pada contoh peristiwa korosi pada perak (Ag) dapat dituliskan dengan persamaan berikut (Roberge, 2008):



Menurut hukum faraday, reaksi dari 1 mol perak akan membutuhkan 1 mol elektron, dimana 1 mol elektron mempunyai nilai sebesar satu bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$). Muatan yang dibawa oleh 1 mol elektron dapat disebut dengan 1 farad (F), dimana suatu elektron memiliki muatan sebesar $1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb (C)}$. Dengan kata lain 1 farad adalah hasil dari perkalian antara bilangan Avogadro dengan muatan yang dimiliki oleh suatu elektron, yang dapat diperhatikan pada rumus di bawah ini:

$$F = e N_A$$

Dimana: $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} F &= 1,6 \times 10^{-19} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ (C/mol)} \\ &= 96.485 \text{ C/mol} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai 1 F memiliki nilai yang sama dengan 96.485 Coulomb/mol. Sedangkan, kombinasi antara hukum faraday dengan reaksi elektrokimia tertentu akan menghasilkan muatan dari reaksi tersebut. Dapat diperhatikan pada rumus di bawah ini:

$$Q = F \cdot \Delta N \cdot n$$

Dimana: Q = Besar muatan

N = Jumlah mol dan ΔN adalah perubahan jumlah mol

n = Jumlah elektron per molekul dari zat yang sedang bereaksi

Selain itu, muatan Q juga dapat didefinisikan sebagai besaran arus listrik, seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini (Perez, 2004):

$$Q = \int_0^t I \cdot dt$$

$$Q = It$$

Dimana: I = total arus dalam ampere (A)

t = durasi dari proses elektrokimia dalam detik (s)

Perhitungan arus korosi dapat diperkirakan dengan metode elektrokimia khusus atau dengan menggunakan data *weight-loss* dan tabel konversi Gambar 2.4 yang didasari oleh prinsip Faraday (Roberge, 2008).

Tabel 2.4 Tabel konversi satuan laju korosi

	mA cm ⁻²	(mm y ⁻¹)	mm y ⁻¹	g m ⁻² day ⁻¹
mA cm ⁻²	1	3.28 M/nd	129 M/nd	8.95 M/n
mm y ⁻¹	0.306 nd/M	1	39.4	2.74 d
mpy	0.00777 nd/M	0.0254	1	0.0694 d
g m ⁻² day ⁻¹	0.112 n/M	0.365 / d	14.4 / d	1

(Sumber: Roberge, 2008)

Dimana: mpy = mili-inch per year

n = jumlah elektron yang terbebas akibat reaksi korosi

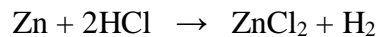
M = massa atom

d = massa jenis

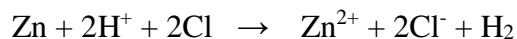
*Note: Pembacaan tabel dari kiri ke kanan.

2.4.5. Mekanisme Terjadinya Korosi

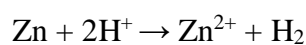
Proses terjadinya korosi pada logam secara umum biasanya diakibatkan oleh reaksi elektrokimia. Pada reaksi ini terjadi perpindahan elektron *charge* dari logam ke suatu larutan. Sebagai contoh, peristiwa korosi antara Zinc dan HCl yang dapat ditunjukkan melalui persamaan reaksi sebagai berikut:



Zinc yang bereaksi dengan larutan asam nantinya akan membentuk larutan *zinc chloride* dan menghasilkan gelembung-gelembung gas hidrogen di permukaannya. Reaksi ini dapat dituliskan dalam bentuk ionik seperti:



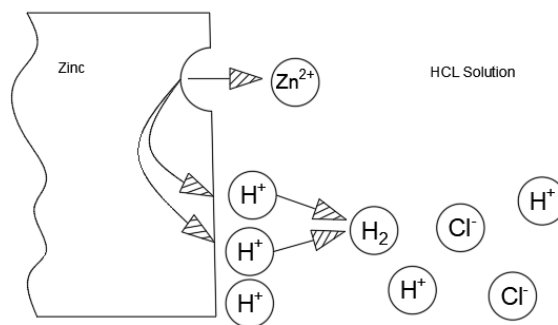
Reaksi di atas dapat disederhanakan lagi dengan cara menghilangkan Cl⁻ pada kedua sisi reaksi, sehingga menjadi:



Reaksi korosi juga terjadi pada larutan asam klorida itu sendiri, kemudian reaksi tersebut dapat dipisahkan menjadi:



Reaksi Anodik ini merupakan reaksi oksidasi dimana bilangan valensi naik dari 0 \rightarrow +2 dan menghasilkan elektron, sedangkan reaksi katodik merupakan reaksi redoks dimana bilangan oksidasi hidrogen berkurang dari +1 \rightarrow 0 dan mengonsumsi elektron. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi *zinc* di larutan asam hidroklorid tanpa udara.

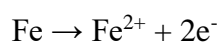
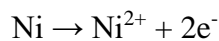


Gambar 2.7 Reaksi elektrokimia yang terjadi pada korosi *zinc* di larutan asam hidroklorid tanpa udara (Sumber: Fontana, 1987)

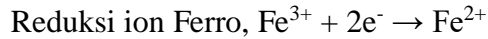
Pada proses korosi logam akan melepaskan elektron menuju bagian permukaan dimana elektron tersebut akan bereaksi dengan H⁺ di dalam larutan yang membentuk H₂. Air akan diperlukan untuk membawa ion hasil dari reaksi tersebut, sehingga air tersebut dapat disebut sebagai elektrolit. Dalam korosi logam, reaksinya akan bervariasi sesuai dengan bentuk:



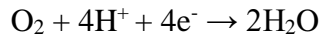
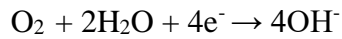
Sebagai contoh beberapa reaksi dari logam yang terkorosi:



Reaksi reduksi Katodik yang umum adalah reduksi ion hidrogen yang ada di dalam larutan asam. Selain itu juga terdapat reaksi redoks, yaitu reaksi reduksi yang berperan sebagai oksidasi ion di dalam larutan. Sebagai contoh:



Reaksi reduksi oksigen terlarut biasanya diamati menggunakan larutan netral dan larutan asam. Contohnya:



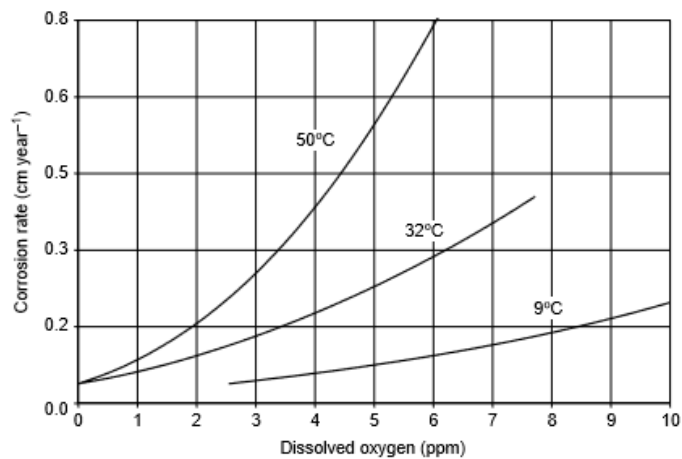
2.4.6. Pengaruh Lingkungan Terhadap Laju Korosi

Laju korosi sangat dipengaruhi oleh unsur unsur yang ada di lingkungannya.

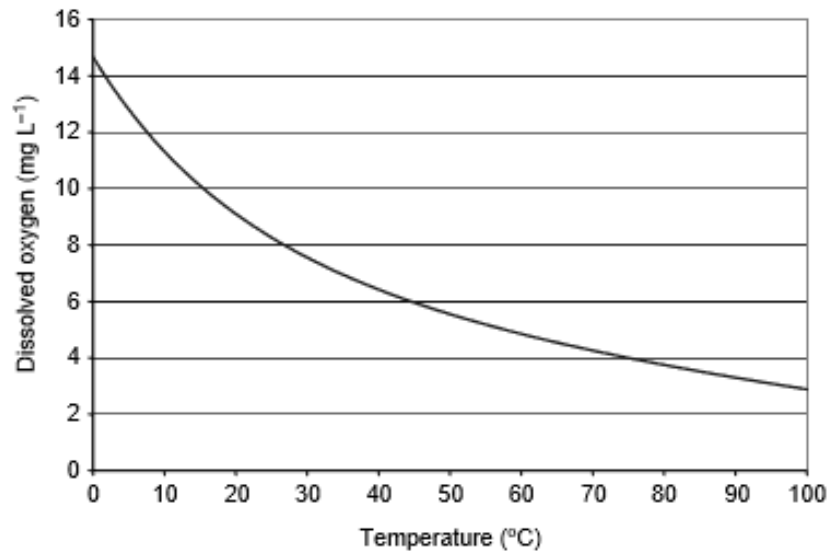
Beberapa ini adalah unsur unsur yang dapat mempengaruhi reaksi

1. Oksigen

Oksigen adalah unsur yang memiliki sifat sebagai oksidator kuat, yang dapat menyebabkan potensial korosi pada logam di lingkungan air (fluida) yang mengandung oksigen terlarut. Laju korosi akan berbanding lurus dengan kenaikan kelarutan unsur oksigen di suatu lingkungan. Kelarutan oksigen ini dipengaruhi oleh karakteristik dari pelarut ataupun suhu dari air. Kelarutan oksigen akan semakin rendah apabila suhu pada air atau pelarut tersebut semakin tinggi, dapat dikatakan kelarutan oksigen berbanding terbalik dengan suhu dan pelarut. Selain itu kandungan oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh kadar garam yang terlarut pada air yang mengandung garam. Pada air yang mengandung NaCl, kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada air dengan kadar NaCl 3,5%. Oleh karena itu air laut bersifat sangat korosif, karena kombinasi kadar oksigen yang tinggi terlarut dengan kadar garam NaCl (Roberge, 2007).



Gambar 2.8 Pengaruh oksigen terlarut terhadap laju korosi (Sumber: Roberge, 2007)



Gambar 2.9 Hubungan antara oksigen terlarut terhadap suhu
(Sumber: Roberge, 2007)

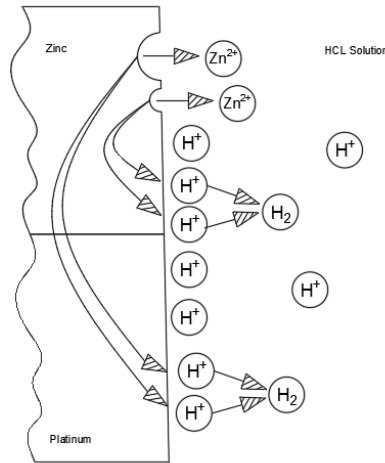
2. Temperatur

Temperatur memiliki banyak pengaruh pada proses terjadinya korosi. Salah satunya adalah *high temperature corrosion*, dimana proses pembentukan lapisan korosi tidak membutuhkan cairan elektrolit, oleh karena itu korosi jenis ini sering disebut sebagai *dry corrosion* atau korosi kering.

Pada lingkungan yang mengandung air (*aqueous*), temperatur dapat memengaruhi laju reaksi, temperatur permukaan, *heat flux*, dan konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia. Pada kebanyakan reaksi kimia, laju reaksi akan meningkat apabila temperatur meningkat. Acuan yang biasanya digunakan (*rule-of-thumb*) menyatakan bahwa setiap kenaikan suhu 10°C, laju reaksi akan meningkat sebesar dua kali lipat. Meskipun begitu, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan untuk acuan tersebut. Penting untuk mempertimbangkan bagaimana temperatur dapat menyebabkan kegagalan material dalam merancang pencegahan korosi (Roberge, 2007).

3. Galvanic Coupling

Pada praktek nyatanya, interaksi antara material yang berbeda tidak dapat dihindarkan. Di dalam rangkaian perpipaan dan sistem konstruksi, berbagai jenis logam dan paduan sering kali berinteraksi dan dapat menimbulkan sifat yang korosif. Visualisasi dari efek galvanik dapat dilihat pada gambar Gambar 2.10 Reaksi elektrokimia yang terjadi antara *zinc* dan *platinum*.



Gambar 2.10 Reaksi elektrokimia yang terjadi antara *zinc* dan *platinum*
(Sumber: Fontana, 1987)

Pada Gambar 2.10 Reaksi elektrokimia yang terjadi antara *zinc* dan *platinum* dianggap bahwa logam *zinc* (Zn) dicelupkan ke dalam suatu larutan asam hidroklorid (HCl) dan berinteraksi dengan logam platina (Pt). Dalam rangkaian tersebut, platina berperan sebagai unsur yang tidak mudah bereaksi dengan lingkungan sekitar (*inert*), sehingga menyebabkan kecenderungan peningkatan permukaan dimana akan terjadi evolusi ion hidrogen. Yang nantinya akan menyebabkan evolusi ion-ion hidrogen akan lebih banyak terjadi pada permukaan platina daripada pada permukaan *zinc*. Kedua faktor tersebut akan menyebabkan peningkatan pada laju reaksi katodik yang mengakibatkan peningkatan pada laju korosi *zinc*. Dapat diperhatikan bahwa pengaruh dari *galvanic coupling* ini hampir sama seperti pengaruh pada penambahan *oxidizer* ke dalam larutan yang korosif. Pada kedua peristiwa tersebut di atas tingkat konsumsi elektron meningkat sehingga tingkat pengikisan logam akan ikut meningkat pula. Ada beberapa fenomena dimana penambahan *galvanic coupling* tidak hanya meningkatkan laju korosi pada logam, namun ada juga yang menyebabkan penurunan laju korosi pada logam (Fontana, 1987).

2.4.7. Jenis-Jenis Korosi

Korosi mempunyai beberapa jenis berdasarkan penyebab, lingkungan tempat terjadinya, dan bentuk kerusakan yang dihasilkan. Berikut ini adalah beberapa jenis korosi yang umumnya terjadi:

1. Korosi Seragam (*uniform corrosion*)

Korosi seragam adalah jenis korosi yang paling sering terjadi, dan pada korosi ini, reaksi kimia terjadi merata di seluruh bagian permukaan. Korosi seragam pada umumnya mempunyai tingkat kerusakan rendah, karena korosi ini sangat mudah untuk dideteksi secara visual. Adapun untuk memperkirakan umur dari korosi ini, dapat dilakukan pengujian menggunakan sampel sederhana, contohnya pengujian *weight loss coupon* atau pengujian celup. Contoh terjadinya korosi ini dapat dilihat pada logam yang menunjukkan sebuah monumen logam yang sudah mengalami korosi.



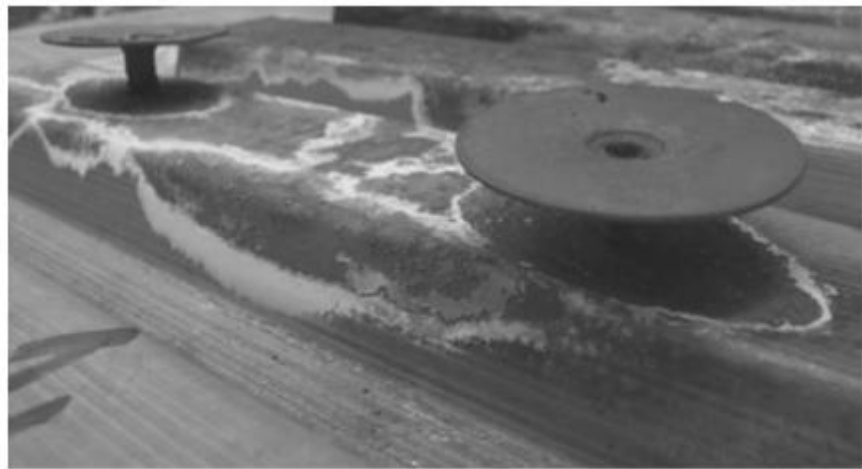
Gambar 2.11 Korosi seragam yang terjadi pada monumen logam
(Sumber: Roberge, 2008)

Terjadinya korosi seragam ini dapat disebabkan oleh komposisi kimia dan sifat metalurgi pada logam yang cenderung merata, maupun lingkungan korosi yang mempunyai akses yang sama pada permukaan logam. Pada umumnya korosi seragam ini dituliskan menggunakan satuan laju korosi mm/year ataupun mils per year (mpy), dimana 1 mill = 0,001 inch. Adapun beberapa upaya untuk meminimalisir terjadinya korosi seragam. Yang di antaranya:

- Menggunakan *coating* yang sesuai
- Menggunakan material yang sesuai ketika merancang
- Menggunakan perlindungan katodik
- Menggunakan inhibitor korosi.

2. Korosi Celah (*Crevice corrosion*)

Korosi celah atau *crevice corrosion* merupakan reaksi yang terjadi pada celah antara dua material seperti sambungan baut, paku keling, dll. Jika celah tersebut terisi oleh air ataupun elektrolit lainnya, maka pada bagian celah akan cenderung mengalami korosi lebih banyak dibanding dengan permukaan lainnya yang langsung berhubungan dengan udara luar. Pada Gambar 2.12 Korosi celah yang terjadi pada panel atap sebuah rumah ditunjukkan bagaimana korosi celah ini dapat terjadi pada panel atap yang telah berusia lima tahun.



Gambar 2.12 Korosi celah yang terjadi pada panel atap sebuah rumah
(Sumber: Roberge, 2008)

Mekanisme terjadinya korosi ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Mula-mula elektrolit mempunyai komposisi seragam dan korosi terjadi perlahan-lahan di seluruh permukaan logam baik di luar maupun di dalam celah.
- Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen dari permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan luar celah lebih mudah dikonsumsi dibandingkan di dalam celah. Akibatnya proses katodik di dalam celah terhambat sehingga pembangkitan ion hidroksil berkurang.
- Produksi ion-ion positif dalam celah menyebabkan ion-ion negatif dari elektrolit terdifusi ke dalam celah. Ion-ion negatif seperti Cl^- menyebabkan penurunan pH sehingga mempercepat dan merusak selaput pasif bahan.
- Peningkatan ion hidrogen mempercepat proses pelarutan logam sehingga serangan korosi lebih hebat.

3. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran atau *pitting corrosion* ini terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam sehingga membentuk cekungan pada permukaan logam. Umumnya reaksi pada korosi ini bersifat *autocatalytic* yang artinya reaksi ini dapat menjadi mempercepat reaksinya sendiri dengan bantuan gaya gravitasi. Korosi sumuran yang terjadi pada baja tahan karat biasanya terjadi akibat adanya kerusakan pada lapisan pelindung atau *passive film*.

Korosi sumuran pada umumnya terjadi pada permukaan logam akibat rusaknya selaput pelindung pada material akibat adanya perlakuan mekanik, adanya tonjolan akibat dislokasi atau slip yang disebabkan oleh tegangan tarik yang dialami, ataupun adanya komposisi heterogen karena adanya inklusi, segregasi, atau presipitasi. Adapun mekanisme terjadinya korosi sumuran meliputi:

- Terjadi korosi di seluruh permukaan logam yang menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam elektrolit di dekatnya.
- Lintasan oksigen menuju bagian tengah lebih panjang sehingga bagian ini berperan sebagai anoda, sedangkan lintasan yang lebih pendek berperan sebagai katoda. Akibatnya pelarutan logam terjadi di bagian tengah dan reaksi ion logam dengan hidroksil menyebabkan penumpukan produk korosi di seputar lubang sumuran dan membentuk cincin karat.

Untuk meminimalisir terjadinya peristiwa korosi celah ini dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini:

- Menutup celah yang sudah terbentuk menggunakan las, solder, ataupun dempul
- Mengurangi agresivitas lingkungan dengan menurunkan kandungan klorida, keasaman, dan temperatur.
- Menghilangkan padatan tersuspensi sehingga menghindari endapan yang menyebabkan korosi celah
- Penambahan inhibitor korosi pada material.

4. Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi apabila terdapat kontak dari dua jenis logam yang berbeda pada suatu elektrolit yang sama. Salah satu dari logam tersebut akan lebih cepat terserang korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindung dari korosi. Hal

ini dapat terjadi karena salah satu dari logam tersebut akan menjadi anoda yang pada hal ini nantinya akan terkorosi, sedangkan logam lainnya akan menjadi katoda yang artinya akan lebih tahan terhadap korosi. Sebuah logam akan terkorosi atau bersifat anoda apabila bertemu dengan logam yang lebih katodik dari logam itu sendiri. Untuk mengetahui sifat galvanis suatu material, dapat dilihat deret galvanik pada Gambar 2.13.

Noble or Cathodic	Platinum
	Gold
Active or Anodic	Graphite
	Titanium
	Silver
	(Chlorimet 3
	(Hastelloy C
	(18-8 Mo Stainless Steel (Passive)
	(18-8 Stainless Steel (Passive)
	(Chromium Steel >11% Cr (Passive)
	(Inconel (Passive)
	(Nickel (Passive)
	(Silver Solder
	Monel
	Bronzes
	Copper
	(Brasses
	(Chlorimet 2
	(Hastelloy B
	(Inconel (Active)
	(Nickel (Active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin Solders
	(18-8 Mo Stainless Steel (Active)
	(18-8 Stainless Steel (Active)
	Ni-resist
	Chromium Steel >11% Cr (Active)
	(Cast Iron
	(Steel or Iron
2024 Aluminum	
Cadmium	
Commercially Pure Aluminium	
Zinc	
Magnesium and Its Alloys	

Gambar 2.13 Deret galvanis dari material
(Roberge, 2008)

Adapun mekanisme terjadinya korosi galvanik ini yaitu ketika logam yang mempunyai beda potensial berada pada satu lingkungan atau media yang korosif seperti larutan elektrolit, maka akan terbentuk beda potensial. Ketika ada beda potensial di antara kedua logam tersebut, artinya ada elektron dan arus yang mengalir pada rangkaian tersebut. Material yang memiliki potensial lebih tinggi

akan berperan menjadi katoda, sedangkan yang lainnya akan menjadi anoda. Arus listrik akan mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah, sedangkan elektron akan mengalir dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi. Material yang kehilangan elektron akan cenderung lebih mudah terkikis oleh korosi. Sehingga, dalam hal ini material yang bersifat anodik akan lebih mudah terkorosi. Pada umumnya, prinsip dari korosi ini digunakan sebagai perlindungan korosi, contohnya penggunaan anoda tumbal atau *sacrificial anode* untuk memperlambat laju korosi sebuah material.

5. Korosi Intergranular

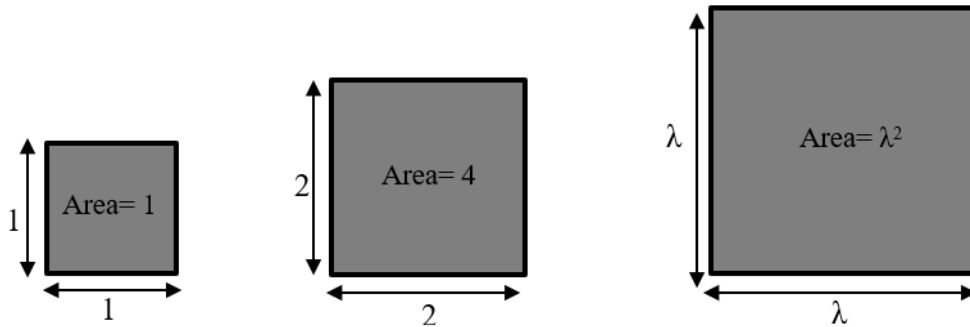
Korosi ini terjadi apabila daerah batas butir terserang karena terbentuknya endapan di dalamnya. Batas butir merupakan tempat yang rentan dengan terbentuknya pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*). Contoh korosi *intergranular* dapat dilihat pada baja tahan karat 304 yang didinginkan secara lambat dari suhu di atas 1000 °C, hingga interval suhu 600-850 °C akan terbentuk karbida krom pada batas butir. Adanya pengendapan karbida krom ini menyebabkan daerah di sekitar batas butir akan kekurangan unsur krom sehingga ketahanan terhadap korosinya pun ikut berkurang.

2.5. Luasan Permukaan Basah Kapal

Luasan permukaan basah atau *Wetted Surface Area* (WSA) adalah bagian permukaan lambung kapal yang tercelup air. WSA pada sebuah kapal dapat berubah tergantung pada jenis kapal. Jenis-jenis kapal yang dibedakan berdasarkan perubahan WSA antara lain adalah kapal *full displacement*, kapal *semi-displacement*, dan kapal *planning*, namun perubahan WSA tersebut hanya terjadi pada saat kapal beroperasi. Ada dua koefisien penting yang harus diperhatikan dalam perhitungan WSA, yaitu *reynolds number* dan *froude number*. Untuk perhitungan skala spesimen dengan luasan permukaan basah asli, dibutuhkan tiga parameter yang harus dipenuhi, antara lain (Molland, Turnock, & Hudson, 2001):

- 1) Parameter bentuk dari masing-masing kapal asli dan model harus sama. Sehingga dapat dianggap bahwa bentuk model dan bentuk kapal mempunyai persamaan geometris.
- 2) *Reynolds number* antara model dan kapal harus sama
- 3) *Froude number* antara model dan kapal harus sama

Perbandingan bentuk antara model dan kapal asli juga dapat dihitung menggunakan pendekatan kesebandingan, dengan anggapan bahwa kapal dan modelnya mempunyai kesamaan geometris. Metode ini dapat digunakan apabila nilai dari *Reynold number* dan *Froude number* tidak diketahui. Cara perhitungan ini dilakukan dengan cara mengumpamakan kapal dan model berbentuk persegi seperti pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Contoh perbandingan kapal sebagai persegi

Dari Gambar 2.14, diumpamakan bahwa kapal dan model memiliki persamaan bentuk yaitu persegi. Sehingga, dapat diterapkan teori kesebandingan dalam perhitungan skala model. Dari Gambar 2.14 dapat diketahui bahwa luasan merupakan fungsi kuadrat dari lengan sehingga, luasan model dan luasan kapal dapat dibandingkan luasannya dari fungsi panjang yang diketahui, dalam hal ini panjang kapal dianggap sebagai panjang lengan persegi. Dari teori tersebut dapat ditulis dalam bentuk rumus (Patterson & Ridley, 2014):

$$\frac{S_{ship}}{S_{Model}} = \lambda^2 = \left(\frac{L_{ship}}{L_{model}} \right)^2$$

2.6. Laju Korosi

Laju korosi merupakan peristiwa merambatnya proses korosi pada suatu material. Pengujian korosi secara umum dilakukan untuk mengetahui berapa laju korosi yang dapat terjadi oleh suatu penyebab khusus. Hal ini menjadi pertimbangan yang cukup penting mengingat kerugian yang ditimbulkan oleh korosi dapat mempengaruhi aspek ekonomis dan teknis pada suatu bangunan. Laju korosi biasanya digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan ketahanan suatu struktur. Sehingga, dengan diketahuinya laju korosi, umur atau waktu perbaikan dari suatu bangunan tersebut dapat diperkirakan. Satuan yang lazim dipakai untuk mengukur laju korosi adalah mm/year dan mpy (*mils per year*). Pada

Tabel 2.5 *Levelling* laju korosi berdasarkan tingkat keparahannya ditunjukkan tingkatan atau *levelling* laju korosi berdasarkan tingkat keparahan yang dihasilkannya. Pada penelitian

ini satuan laju korosi yang digunakan adalah mA/cm² yang nantinya akan dikonversi menjadi satuan mm/year.

Tabel 2.5 *Levelling* laju korosi berdasarkan tingkat keparahannya

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/year
<i>Outstanding</i>	<1	<0,02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
<i>Good</i>	5-20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
<i>Fair</i>	20-50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 100	20 – 50
<i>Poor</i>	50-200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
<i>Unacceptable</i>	200 +	5+	5000+	500+	200+

(Sumber: Fontana, 1987)

Pengukuran laju korosi tidak dapat dijadikan acuan yang akurat untuk menghitung *total loss* dari suatu struktur atau material. Namun, pengukuran ini dapat dijadikan acuan untuk memprediksi berapa banyak material yang berubah menjadi karat atau *rust* dan berapa banyak logam yang hilang akibat korosi selama waktu pengujian (Broomfield, 2007). Metode pengukuran laju korosi yang biasa digunakan adalah *weight loss*. Namun pada pengujian ini, metode pengukuran yang digunakan adalah metode pengukuran arus korosi galvanik dengan *ampere meter*.

2.7. *Slope*

Slope atau gradien pada matematika, merupakan angka yang menunjukkan arah dan kecuraman dari sebuah garis. *Slope* biasanya dinotasikan dengan huruf *m*, tidak ada alasan yang pasti bagaimana penotasian tersebut dilakukan, namun pada awal penggunaan nilai ini, dituliskan persamaan garis linear dalam bentuk $y = mx + c$, dimana *m* pada persamaan tersebut merupakan nilai *slope* atau gradien. Nilai dari *slope* ini sendiri diketahui dengan cara menemukan rasio dari perubahan vertikal dan perubahan horizontal dari titik-titik pertemuan pada sebuah garis. Nilai *slope* ini juga yang menentukan arah garis yang dihasilkan akan naik atau turun, apabila nilai dari *slope* ini negatif (-) maka garis yang dihasilkan akan menurun, namun apabila *slope* memiliki nilai positif (+) maka garis yang dihasilkan akan naik, dan ketika *slope* memiliki nilai nol (0) maka garis yang dihasilkan akan konstan ke arah horizontal. Perhitungan nilai *slope* ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai *Y* terhadap nilai *X* atau dapat dituliskan dalam bentuk:

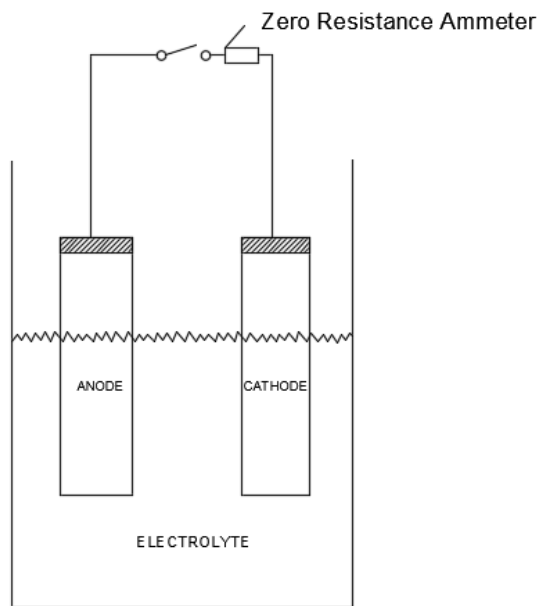
$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Konsep dari *slope* ini dapat digunakan pada berbagai cabang keilmuan yang membutuhkan perhitungan tren data. Pada trigonometri, *slope* merupakan fungsi dari tangen, sehingga dapat dituliskan dalam bentuk $m = \tan(\theta)$. Dari konsep tersebut dapat diketahui apabila suatu garis menanjak dengan sudut 45° , *slope* dari garis tersebut sebesar 1, dan jika garis tersebut menurun sebesar 45° , maka dapat diketahui *slope* dari garis tersebut sebesar -1 (O'Brien, 1844).

2.8. Standar Pengujian

Standard pengujian yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada ASTM G71-81 yang membahas tentang pengukuran laju korosi galvanik menggunakan ampere meter, atau lebih tepatnya *Zero Resistance Ammeter* (ZRA). Standard ini mengatur beberapa variabel yang diperlukan dan bagaimana pengujian dilaksanakan. Salah satunya adalah perbandingan antara luasan tercelup dan volume larutan yang diperlukan. Volume larutan yang dipakai sangat bergantung pada luasan material yang akan diuji. Tetapi perbandingan yang sering dipakai adalah 40 cm^3 larutan untuk setiap 1 cm^2 luasan yang diuji (ASTM, 1998).

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyelupkan spesimen aluminium dan spesimen baja ke dalam akuarium yang telah diisi oleh air laut sebelumnya. Spesimen baja dan aluminium digantungkan menggunakan gantungan yang telah dibuat dari pipa *hollow*. Selanjutnya, ammeter dihubungkan pada kedua spesimen tersebut, dimana kutub positif dari *ammeter* dihubungkan pada baja dan kutub negatif dihubungkan pada aluminium.



Gambar 2.15 Rangkaian pengujian menggunakan ammeter
(Sumber: ASTM, 1998)

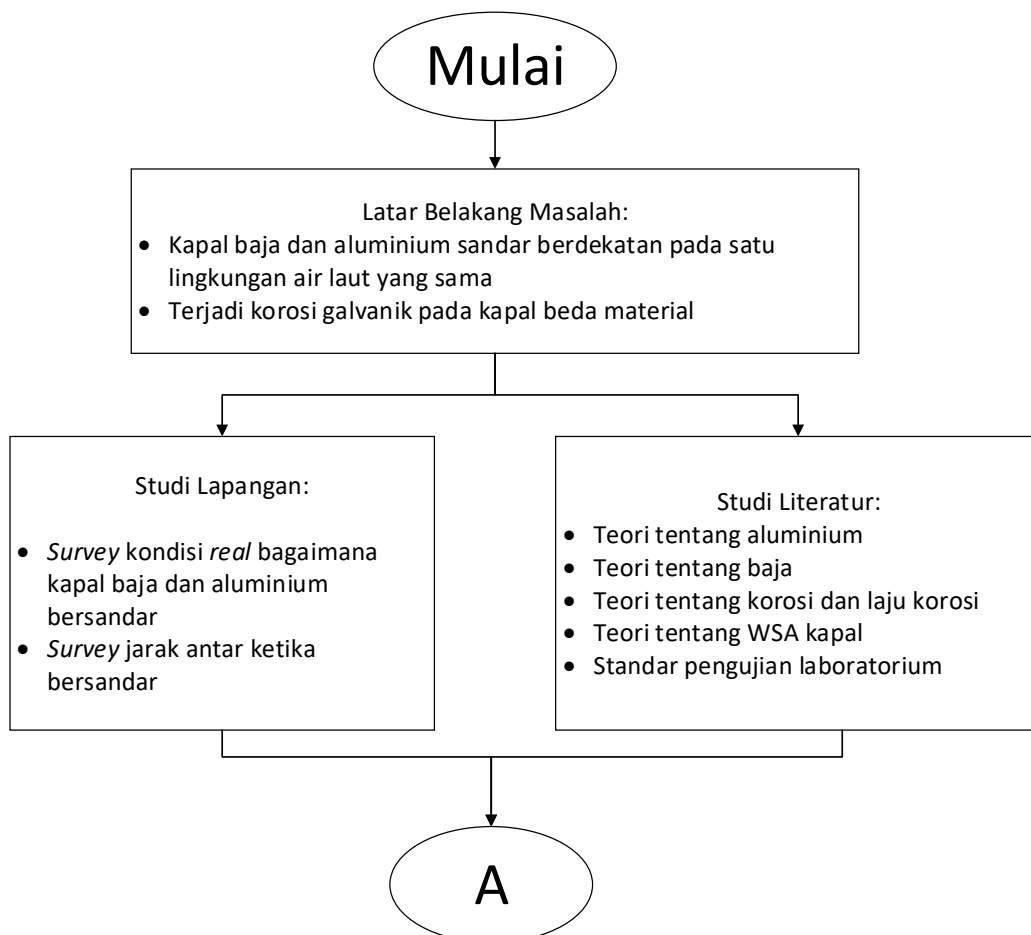
Durasi dari pengujian sendiri juga harus sangat diperhatikan pada saat melakukan pengujian. Durasi pengujian yang sering dipakai untuk metode ini biasanya lima kali pengujian yang dilakukan selama 48 jam, dan harus menggunakan larutan baru di setiap periode pengujian. Namun, hal itu tidak menjadi patokan pasti untuk lamanya pengujian. Laju korosi dapat meningkat, menurun, ataupun konstan dengan waktu pengujian. Oleh karena itu, Waktu pengujian harus disertakan di dalam data laporan, khususnya jika waktu yang digunakan singkat. (Fontana, 1987)

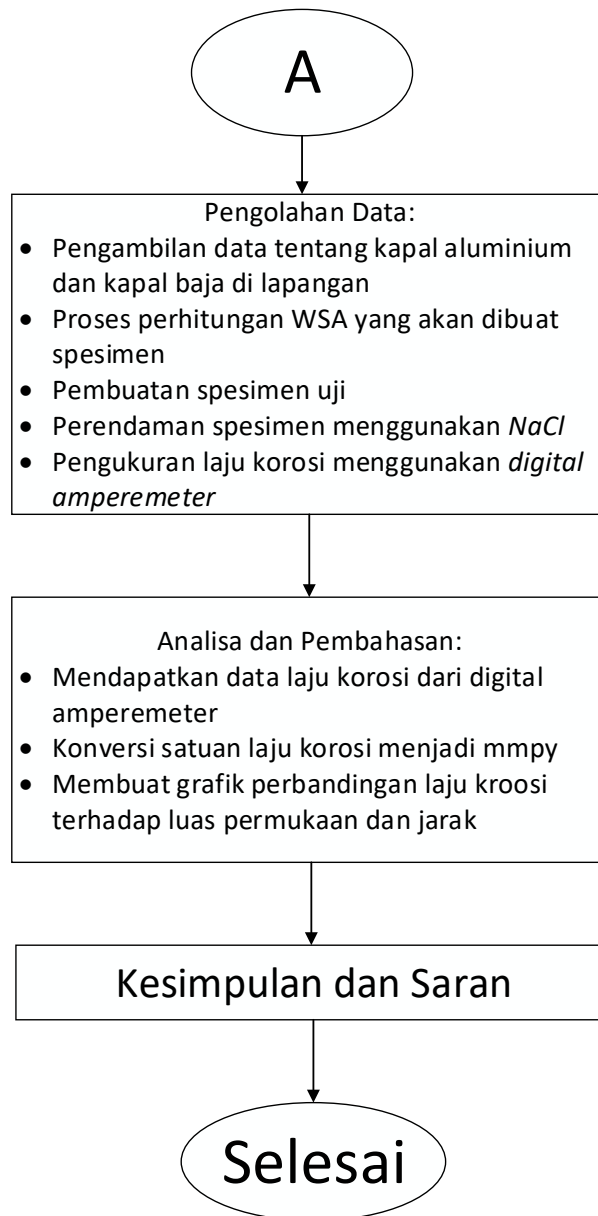
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Sebuah penelitian membutuhkan metodologi yang jelas agar proses penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini digambarkan dalam gambar Gambar 3.1. Pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan besar. Tahapan awal yang dilakukan adalah dengan melakukan identifikasi masalah, studi literatur, dan studi lapangan untuk menunjang langkah-langkah selanjutnya. Langkah selanjutnya, dari penelitian ini adalah adalah pengumpulan dan pengolahan dari data yang didapatkan sebelumnya. Selanjutnya, penelitian dilanjutkan dengan melakukan analisa dari data yang telah diolah pada langkah sebelumnya. Lalu, tahapan terakhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan.





Gambar 3.1 *Flowchart* pengerjaan tugas akhir

3.2. Pendahuluan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada dua spesimen material yang berbeda, yaitu aluminium 5083 dan baja A36. Pengujian ini berfokus kepada fenomena korosi galvanik yang terjadi karena adanya beda potensial antara aluminium dan baja yang dicelupkan pada lingkungan air laut yang sama. Penelitian ini mengacu pada *rules* ASTM G71 – 81 tentang “*Standard Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes*”. Pada aturan tersebut, metode pengukuran korosi yang dipakai adalah pengukuran menggunakan *Zero Resistance Ammeter* (ZRA). Yang dimaksud dengan *Zero Resistance Ammeter* adalah ammeter yang memiliki tahanan sangat kecil, sehingga ammeter tersebut dapat membaca arus

galvanik yang sangat kecil. Arus galvanik adalah arus yang ditimbulkan akibat reaksi elektrokimia yang terjadi pada saat aluminium dan baja dicelupkan pada lingkungan air laut yang sama.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua jenis kapal yang berbeda sebagai subjek penelitian. Kapal yang digunakan adalah kapal patroli angkatan laut 28 meter (KAL28) yang terbuat dari aluminium dan kapal *landing platform dock* (LPD) dengan panjang 110 m. Spesimen dibuat berdasarkan luasan tercelup dari kapal tersebut dengan skala tertentu, sehingga luasan spesimen dapat sebanding dengan luasan tercelup dari kapal tersebut.

Setelah spesimen dibuat dengan dimensi yang sebanding dengan dimensi aslinya, spesimen akan dicelupkan pada akuarium yang telah diisi air laut sebelumnya. Akuarium ini sendiri mempunyai dimensi sebesar 50×50×60 cm. Spesimen dicelupkan ke dalam akuarium menggunakan gantungan yang telah dibuat menggunakan pipa *hollow*. Spesimen digantungkan pada gantungan menggunakan *sling* bungkus dan tali rafia yang berperan sebagai isolator, hal ini dimaksudkan agar tidak ada arus yang bocor ke gantungan.

Output atau hasil dari pengujian ini adalah berapa laju korosi yang terjadi akibat reaksi tersebut serta bagaimana jarak dan rasio luasan dapat berpengaruh pada laju korosi. Satuan yang didapatkan dari pengujian menggunakan ammeter adalah mA/cm², sedangkan satuan yang lazim digunakan untuk mengukur laju korosi adalah mm/year. Sehingga dibutuhkan metode untuk mengonversi satuan tersebut, dalam hal ini prinsip Faraday. Menurut prinsip Faraday, 1 mA/cm² sebanding dengan nilai (3,28 M/nd) mm/year.

Selanjutnya, bab ini akan menjelaskan bagaimana hasil yang didapat dari pengujian laju korosi galvanik menggunakan ammeter, dengan beberapa variasi jarak antar spesimen dan perbandingan luasan antara spesimen aluminium dan baja. Serta menjelaskan bagaimana proses konversi satuan dari mA/cm² menjadi mm/year menggunakan tabel konversi yang mengacu pada hukum Faraday.

3.3. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode observasi dan metode penelitian laboratorium. Metode ini dilakukan untuk mendukung berjalannya pengerjaan Tugas Akhir ini.

3.3.1. Metode Observasi

Metode observasi dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk penelitian. Metode ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung terhadap

objek penelitian. Data-data yang didapatkan dari observasi ini, nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam penelitian laboratorium.

3.3.2. Metode Penelitian Laboratorium

Metode penelitian laboratorium adalah proses penelitian yang dilakukan di dalam ruangan khusus dan menjauhkan komponen penelitian dari variabel-variabel yang dapat mengganggu. Tujuan dari penelitian laboratorium ini adalah untuk mendapatkan data melalui pengujian dari rangkaian percobaan, menganalisa data hasil pengujian, dan memberikan kesimpulan dari data yang telah dihasilkan dari penelitian.

3.4. Lokasi Pengerjaan

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknologi dan Manajemen Produksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS dengan objek penelitian kapal aluminium dan kapal baja yang sedang bersandar di dermaga koarmatim, ujung Surabaya. Persiapan spesimen uji dan proses pengujian laju korosi dilakukan di laboratorium Teknologi dan Manajemen Produksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS.

3.5. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap identifikasi dan perumusan masalah ini bertujuan untuk menentukan variabel apa saja yang harus diperhatikan selama pengerjaan penelitian ini. Dalam penelitian ini masalah yang akan diangkat adalah bagaimana kapal aluminium dan kapal baja bersandar dalam jarak yang berdekatan. Hal ini dapat menyebabkan terjadi korosi galvanik yang akan mengikis kapal aluminium yang dalam hal ini berperan sebagai anoda di proses korosi galvanik ini.

3.6. Studi Pustaka

Tahap studi pustaka ini dilakukan untuk menyesuaikan proses pengujian yang dilakukan dengan teori-teori dan standar yang berlaku. Bahan dari studi pustaka ini didapatkan dari berbagai sumber informasi seperti jurnal, *website*, dan buku yang berkaitan dengan permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Adapun studi pustaka yang dibutuhkan dalam penelitian ini berkaitan dengan:

1. Definisi korosi secara umum
2. Teori material baja dan aluminium
3. Teori reaksi kimia
4. Pengujian korosi

3.7. Proses Pengujian Laju Korosi

3.7.1. *Survey lapangan*

Untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk mendukung eksperimen ini, pengambilan data dilakukan pada dermaga Surabaya Komando Armada Timur milik TNI-AL. Data yang didapat pada lokasi tersebut antara lain, kondisi sesungguhnya bagaimana kapal dengan bahan aluminium dan baja disandarkan pada suatu lingkungan air laut yang sama, dan dimensi masing-masing kapal baja dan aluminium beserta luasan tercelupnya.



Gambar 3.2 Pengukuran jarak antar kapal di dermaga



Gambar 3.3 Posisi sandar antara kapal baja dan kapal aluminium

3.7.2. Peralatan dan Bahan

Sebelum proses pembuatan spesimen, terlebih dahulu dilakukan persiapan peralatan dan bahan. Peralatan dan bahan yang diperlukan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

1. Pelat baja

Pelat baja yang digunakan adalah pelat baja A36 dengan tebal 12 mm. pelat ini nantinya akan dipotong menjadi tiga variasi ukuran sebesar 55×55 cm, 41×41 cm, dan 27×27 cm.



Gambar 3.4 Spesimen Pelat Baja

2. Pelat aluminium

Pelat aluminium yang digunakan adalah pelat aluminium 5083 dengan tebal 6 mm. Pelat ini akan dipotong menjadi tiga variasi ukuran sebesar 30×30 cm, 24×24 cm, dan 12×12 cm.



Gambar 3.5 Spesimen Pelat Aluminium

3. Salinometer

Salinometer digunakan untuk mengukur salinitas atau kadar garam dari air laut yang digunakan pada pengujian. Hasil dari salinometer ini nantinya akan dijadikan catatan dalam pengujian.



Gambar 3.6 Salinometer

4. pH meter

pH meter digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dari air laut yang digunakan pada pengujian. Hasil dari salinometer ini nantinya akan dijadikan catatan dalam pengujian.



Gambar 3.7 pH meter

5. Akuarium

Untuk media pengujian yang digunakan adalah air laut, akuarium digunakan sebagai wadah untuk menyimpan air laut selama proses pencelupan spesimen uji. Akuarium yang digunakan mempunyai dimensi sebesar $50 \times 50 \times 60$ cm.



Gambar 3.8 Akuarium yang digunakan untuk proses pengujian

6. Gantungan

Gantungan dibuat menggunakan pipa dan baja *hollow*. Fungsi dari gantungan ini adalah menahan kedua spesimen agar tetap pada posisinya dan tidak menyentuh bagian tepi dari akuarium pada saat pengujian.



Gambar 3.9 Gantungan yang dipakai untuk pengujian

7. *Sling* bungkus

Sling bungkus berguna untuk menahan spesimen pada gantungan. Penggunaan *sling* bungkus ini bertujuan agar arus yang dihasilkan tidak bocor melewati gantungan yang terbuat dari logam. Sehingga, arus hanya dapat mengalir melalui media air laut.



Gambar 3.10 *Sling* bungkus

8. Span sekrup

Span sekrup atau jarum keras digunakan untuk menggantung spesimen dan mengatur ketinggian dari spesimen yang dicelupkan. Span sekrup yang digunakan adalah span sekrup M10



Gambar 3.11 Span Sekrup atau jarum keras

9. Air Laut

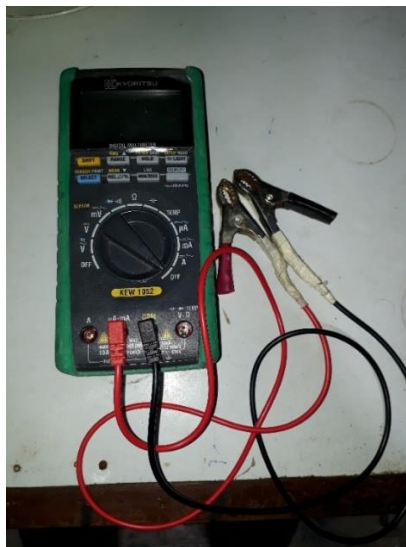
Air laut yang digunakan pada proses pengujian ini diambil dari dermaga koarmatim. Hal ini dimaksudkan agar proses pengujian dapat menghasilkan data yang mendekati lingkungan aslinya.



Gambar 3.12 Pengambilan air laut

10. Amperemeter

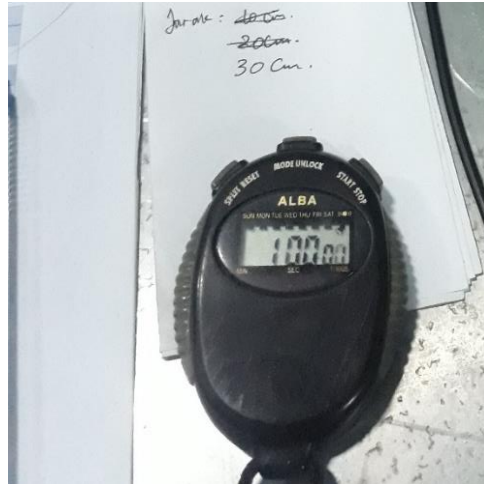
Alat yang digunakan untuk mengukur arus korosi dalam penelitian ini adalah ampere meter. *Amperemeter* yang digunakan pada pengujian ini mempunyai skala pengukuran *miliampere* (mA) hingga *microampere* (μ A). *Probe* yang digunakan pada *amperemeter* ini dimodifikasi sedemikian rupa agar dapat digunakan untuk pengukuran laju korosi.



Gambar 3.13 Multimeter

11. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk memantau waktu pengujian yang dilakukan. Dimana waktu yang dibutuhkan adalah satu jam untuk sekali pengujian, dan pengambilan data diambil setiap sepuluh menit sekali.



Gambar 3.14 Stopwatch

3.7.3. Pembuatan Spesimen

Salah satu variabel penting pada penelitian ini adalah luasan terpapar atau *exposure area*. Luasan terpapar ini dihitung berdasarkan berapa luasan yang tercelup dari kapal yang akan dijadikan objek penelitian. Setelah data luasan tercelup tersebut didapatkan, spesimen harus dibuat dengan skala yang sesuai dengan kondisi aslinya. Data yang didapatkan dari survei menyebutkan bahwa kapal baja memiliki panjang 109,2 m dan luasan tercelupnya sebesar 3019,4 m², sedangkan kapal aluminium memiliki panjang 24,82 m dan luasan tercelupnya sebesar 144,27 m². Sehingga menurut persamaan kesebandingan didapatkan ukuran spesimen sebesar 3019,4 cm² untuk material baja dan 144,27 cm² untuk material aluminium. Untuk perhitungan skala ini, digunakan pendekatan kesebandingan dengan mengibaratkan bentuk kapal adalah persegi, seperti yang telah ditunjukkan oleh Gambar 2.14 Contoh perbandingan kapal sebagai persegi

Selanjutnya, luasan yang digunakan pada pengujian ini mempunyai tiga variasi untuk masing-masing material. Variasi ini didapatkan dengan cara memperbesar dan memperkecil luasan yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk variasi dari luasan spesimen ini dapat diperhatikan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Tabel ukuran spesimen aluminium

No	ALUMINIUM		scaled by	Keterangan	Rasio
1	L (cm)	24.82	(Constant)	Variasi A	1
	AREA (cm ²)	144.27			
2	L (cm)	49.64	200%	Variasi B	4
	AREA (cm ²)	577.08			
3	L (cm)	62.05	250%	Variasi C	6
	AREA (cm ²)	901.69			

Tabel 3.2 Tabel ukuran spesimen baja

No	Steel		scaled by	Keterangan	Rasio
1	L (cm)	109.2	(Constant)	Variasi 1	21
	AREA (cm ²)	3019.4			
2	L (cm)	81.9	75%	Variasi 2	12
	AREA (cm ²)	1698.41			
3	L (cm)	54.6	50%	Variasi 3	5
	AREA (cm ²)	754.85			

Variasi luasan dari spesimen aluminium dan baja dibedakan dengan kode yang telah ditulis pada kolom keterangan. Pada luasan aluminium, kode variasi luasan menggunakan huruf A, B, dan C. dimana variasi A adalah luasan sesungguhnya dari kapal aluminium yang telah disesuaikan dengan skala spesimen, variasi B merupakan luasan spesimen yang telah diperbesar 200% dari variasi A, dan variasi C merupakan luasan spesimen yang diperbesar 250% dari variasi C. Sedangkan, variasi luasan pada spesimen baja menggunakan kode angka 1, 2, dan 3. Dimana variasi 1 merupakan luasan sesungguhnya dari kapal baja yang telah disesuaikan dengan skala spesimen, variasi 2 merupakan luasan spesimen yang telah diperkecil sebanyak 75%, dan variasi 3 merupakan luasan spesimen yang telah diperkecil sebanyak 50%. Variasi luasan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 dihitung berdasarkan skala panjang.

Setelah variasi spesimen yang akan dipakai pada pengujian ditentukan, pelat dipotong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Pelat dibuat masing-masing dua lembar untuk setiap luasannya. Hal ini dimaksudkan untuk menyiapkan cadangan pelat apabila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Setelah pelat dipotong, bagian sisi harus dibersihkan dahulu dari sisa potongan agar tidak melukai baik fisik dari peneliti maupun perlengkapan penelitian lainnya



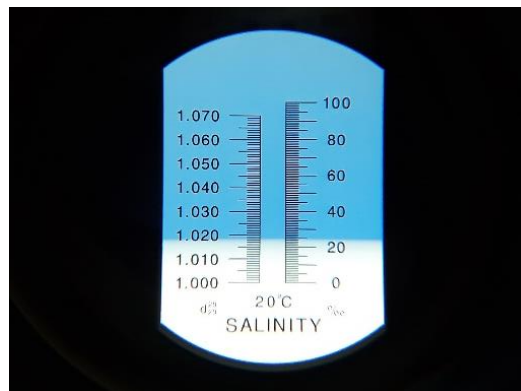
(A)

(B)

Gambar 3.15 Material yang perlu dihaluskan (A), Proses penghalusan bagian tepi material (B)

3.7.4. Pembuatan Media Pengujian

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah air laut. Air laut yang dipakai adalah air laut yang sama dengan air laut dimana kapal tersebut bersandar. Lokasi yang dipilih untuk mengambil air laut ini adalah dermaga ujung koarmatim TNI-AL. Lalu, air ini diukur tingkat salinitasnya menggunakan salinometer dan menunjukkan kadar garam sebanyak 25 ppm. Kadar garam atau salinitas berfungsi sebagai acuan untuk mengetahui berapa tingkat konduktivitas elektrolit.



Gambar 3.16 Salinitas air laut terukur 25 ppm

Selanjutnya, wadah yang digunakan untuk penelitian ini adalah akuarium yang dimana akan diisi dengan air laut yang telah diambil sebelumnya. Dimensi yang digunakan di akuarium ini menyesuaikan dengan spesimen yang paling besar yang akan diuji, dalam hal ini ukuran yang dibutuhkan 50 x 50 x 60 cm. Akuarium dibuat dengan ketebalan kaca 10 mm dan beberapa penguat di bagian sudutnya, hal ini dimaksudkan untuk menambah kekuatan di pada akuarium.



Gambar 3.17 Akuarium

3.7.5. Kalibrasi Alat Ukur

Sebelum melakukan pengukuran arus korosi, ampere meter yang akan digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk memeriksa apakah hasil yang ditunjukkan akurat. Kalibrasi ampere meter ini dilakukan dengan cara menghubungkan *probe* ke satu lembar pelat baja ataupun aluminium yang telah dicelupkan di air laut, dan ampere meter harus menunjukkan nilai 0 Ampere. Apabila ampere meter sudah menunjukkan nilai 0, berarti ampere meter tersebut sudah siap untuk digunakan, sedangkan apabila tidak menunjukkan nilai 0, maka ampere meter tersebut perlu dikalibrasi ulang.



Gambar 3.18 Kalibrasi amperemeter menunjukkan angka nol

3.7.6. Pengukuran Arus Korosi

Pengujian ini mengacu pada *American Standard of Testings and Material (ASTM) G 71-81*, yang menjelaskan tentang “*Standard Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes*”. Standard ini mengatur apa saja yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pengujian korosi pada material. Beberapa poin penting yang dibahas pada

standar tersebut adalah spesimen pengujian, lingkungan pengujian dan prosedur yang harus dilakukan pada saat pengujian dilakukan. *Rules* ini lebih banyak berfokus pada pengujian laju korosi menggunakan *Zero Resistance Ammeter (ZRA)*.

Pengujian dilakukan dengan cara mencelupkan dua buah spesimen uji pada suatu wadah yang telah diisi oleh air laut sebelumnya. Dalam hal ini, akuarium dipakai sebagai wadah pengujian. Setelah spesimen dicelupkan ke dalam akuarium, ammeter dihubungkan pada masing-masing spesimen. Ada beberapa variasi yang dipakai pada pengujian ini, yaitu variasi jarak dan variasi luas. Dimana, variasi luas didapat dengan cara menghitung luasan basah pada kapal, lalu menyesuaikannya dengan ukuran pengujian menggunakan skala yang telah tertera pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Pengujian dilakukan dengan cara menyelupkan spesimen ke dalam akuarium. Spesimen yang dicelupkan pada akuarium merupakan kombinasi dari variasi luasan spesimen baja dan aluminium yang telah ditentukan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Sehingga didapatkan sembilan kombinasi untuk variasi luasan ini yang dapat diperhatikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tabel kombinasi ukuran spesimen yang akan diuji

Var.	Luasan		AREA RATIO (Al to Steel)	
	Aluminium	Baja		
1-A	144.27	3019.4	1	21
1-B	577.08	3019.4	4	21
1-C	901.69	3019.4	6	21
2-A	144.27	1698.41	1	12
2-B	577.08	1698.41	4	12
2-C	901.69	1698.41	4	12
3-A	144.27	754.85	6	5
3-B	577.08	754.85	6	5
3-C	901.69	754.85	6	5

3.7.7. Proses Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyelupkan dua lembar material ke dalam akuarium yang telah diisi dengan air laut sebelumnya. Sebelumnya, material digantung padaudukan atau *stand* yang telah dibuat. Material digantung dengan *sling* yang dibungkus dengan plastik, yang berperan sebagai isolator. Hal ini dimaksudkan agar tidak ada arus yang mengalir dari gantungan yang terbuat dari logam, sehingga arus listrik hanya dapat mengalir melalui air laut yang berperan sebagai media hantar. Selanjutnya, pada ujung dari *sling* dipasang span sekrup atau jarum keras. Span sekrup ini nantinya akan dikaitkan pada kaitan yang telah dipasang pada spesimen. Fungsi dari pemasangan span sekrup atau jarum keras ini adalah untuk mengatur tinggi rendahnya spesimen ketika dilakukan pengujian di dalam akuarium.



Gambar 3.19 Penggantungan spesimen menggunakan *sling* bungkus

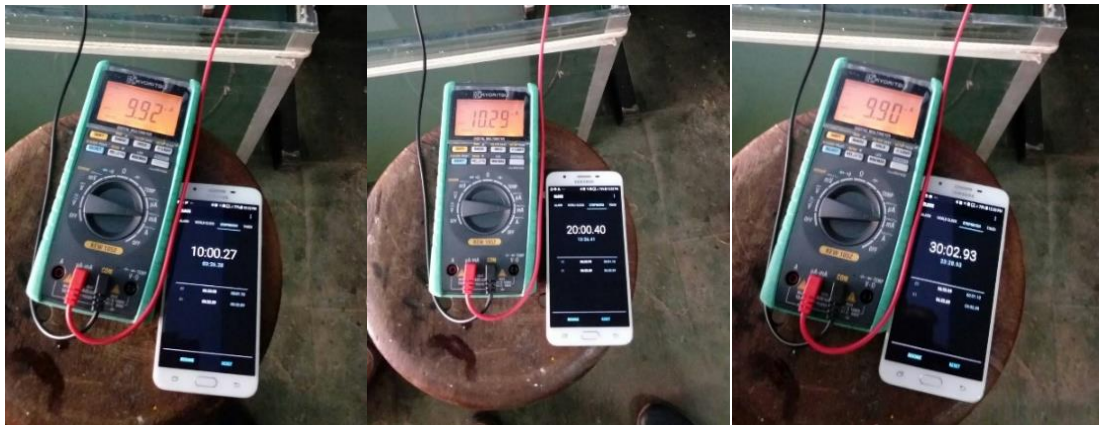
Selanjutnya, gantungan material diletakkan di atas akuarium, sehingga material yang akan diuji dapat tercelup dengan baik. Untuk melakukan proses pengujian, ammeter yang digunakan untuk mengukur arus korosi dihubungkan pada masing-masing material seperti pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Rangkaian pengujian menggunakan *ammeter*

3.7.8. Hasil Pengujian

Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan prinsip elektrokimia, dimana pengukuran laju korosi menggunakan amperemeter sebagai alat ukurnya. Data yang didapat dari amperemeter dicatat setiap sepuluh menit sekali sehingga didapatkan arus yang *valid*. Pengambilan data pada pengujian ini dapat diperhatikan pada Setelah itu, grafik akan dibuat sesuai dengan data yang telah didapatkan sebelumnya. Sehingga, dari grafik tersebut dapat dilihat bagaimana kecenderungan arus yang dihasilkan akibat reaksi elektrokimia atau proses korosi galvanik yang terjadi. Pada grafik yang akan dibuat nantinya, sumbu X akan menunjukkan lamanya proses pencelupan atau *holding time* dalam satuan menit, dan sumbu Y akan menunjukkan arus yang dihasilkan akibat reaksi elektrokimia. Untuk menentukan berapa laju korosi yang dihasilkan akibat reaksi elektrokimia, arus yang telah didapatkan selama satu jam pencelupan ini dicari nilai rata-ratanya sehingga, arus rata-rata inilah yang nantinya dapat dikonversi menjadi satuan laju korosi yang lazim dipakai (mm/year), menggunakan tabel konversi seperti pada Tabel 2.4.



Gambar 3.21 Pengambilan data yang dilakukan

3.8. Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini berupa pengolahan data dari data-data yang sudah dikumpulkan pada tahapan sebelumnya. Data yang didapatkan berupa arus galvanik yang diperoleh dari pengujian. Dari data yang diambil setiap sepuluh menit sekali pada tiga kali percobaan di setiap variasi luasannya, dihitung rata-rata dari arus galvanik untuk nantinya digunakan untuk perhitungan laju korosi. Laju korosi yang dihasilkan adalah dalam satuan arus per satuan luas (mA/cm^2), kemudian, data tersebut dikonversi menggunakan prinsip faraday untuk diketahui laju korosinya dalam bentuk yang lazim digunakan, yaitu mmpy atau millimeter/year.

3.9. Analisa dan Pengolahan Data

Setelah dilaksanakan pengolahan data hasil dari pengujian, kemudian dilakukan analisa dari data yang sudah diolah. Data arus galvanik yang sudah diolah, kemudian dihitung laju korosinya dan dilihat pengaruh perubahan luasan dari baja dan aluminium terhadap perubahan laju korosi yang dihasilkan, serta melihat kecenderungan pengaruh jarak terhadap laju korosi dan menghitung berapa jarak optimal yang dibutuhkan agar tidak terjadi proses korosi.

3.10. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini merupakan hasil dari semua rangkaian pada Tugas Akhir ini. Kesimpulan membahas tentang konsep laju korosi pada kapal dengan material berbeda, pengaruh perubahan luasan terhadap laju korosi yang dihasilkan, serta menjelaskan tentang bagaimana jarak mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam perhitungan laju korosi dan menentukan berapa jarak optimal agar tidak terjadi proses korosi. Dalam tahapan ini juga diberikan saran untuk mengembangkan apa yang sudah di analisa pada Tugas Akhir ini.

BAB 4

HASIL PENGUJIAN

4.1. Pendahuluan

Pengujian ini membahas tentang bagaimana korosi galvanik terjadi secara umum serta bagaimana jarak dan perbandingan luasan atau *exposure area* berpengaruh kepada laju korosi galvanik. Jarak yang digunakan pada pengujian ini mempunyai tiga variasi yaitu, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Sedangkan spesimen yang dipakai mempunyai tiga variasi luasan masing-masing untuk spesimen baja dan aluminium. Selanjutnya, spesimen ini dikombinasikan agar saling bertemu di setiap luasannya, sehingga pada pengujian ini terdapat sembilan variasi luasan, dan tiga variasi jarak. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan data yang valid.

Pada pengujian ini data yang didapat berupa data arus galvanik dengan satuan arus listrik mili ampere (mA). Data ini nantinya dibagi dengan *exposure area*-nya, dalam hal ini luasan anoda yang dianggap sebagai *exposure area*, sehingga didapat satuan laju korosi berupa mA/cm². Selanjutnya, data tersebut akan dikonversi menggunakan tabel konversi laju korosi galvanik yang mengacu pada hukum Faraday.

4.2. Hasil Pengujian

4.2.1. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm² dan Luasan Baja 3019 cm² (1-A)

Pada pengujian pertama ini, spesimen uji yang dipakai adalah pelat baja dengan luasan 3019,4 cm² dan pelat aluminium dengan luasan 144,27 cm². Kombinasi dari kedua spesimen uji memiliki rasio luasan sebesar 1:21, yang artinya spesimen baja yang digunakan pada rangkaian pengujian ini memiliki luasan 21 kali lebih besar dibandingkan dengan luasan spesimen aluminium. Pengujian untuk satu variasi luasan dilakukan sebanyak tiga kali, dengan mengubah jarak pada setiap pengujiannya. Variasi jarak yang digunakan pada pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap rangkaian percobaannya, dengan melakukan pencatatan data setiap sepuluh menit sekali untuk menambah ketelitian dalam pengambilan

data. Hasil pengujian pada spesimen ini, selanjutnya akan dicatat dalam bentuk tabel untuk memudahkan pembacaan data yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Variasi 1-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	26.36	11.12	6.24
20	24.09	11.01	6.30
30	22.42	10.84	6.22
40	22.42	10.69	6.15
50	20.05	10.52	6.11
60	19.18	10.43	6.06
Arus Rata-Rata (mA)	22.19	10.77	6.18

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan antara aluminium dan baja yaitu 1:21 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.1. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 22,19 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 10,77 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 6, 18 mA.

4.2.2. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm² dan Luasan Baja 3019 cm² (1-B)

Variasi selanjutnya yang dilakukan pada pengujian ini dilakukan pada spesimen pelat baja dengan luasan celup sebesar 3019,4 cm² dan spesimen pelat aluminium dengan luasan celup sebesar 577,08 cm². Spesimen yang digunakan pada pengujian ini memiliki rasio luasan aluminium dibanding luasan baja sebesar 4:21. Rangkaian pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi jaraknya. Hal ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana waktu pencelupan memengaruhi arus yang dihasilkan pada proses pengujian. Variasi jarak yang

digunakan pada pengujian adalah 10 cm, 20 cm, 30 cm. Data arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini dicatat setiap sepuluh menit sekali untuk meningkatkan ketelitian data dan diambil rata-rata dari setiap pengujian untuk nantinya dikonversi menjadi laju korosi. Data dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Variasi 1-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	31.66	17.51	12.70
20	28.53	17.30	12.75
30	25.73	16.90	12.74
40	24.37	16.76	12.78
50	23.33	16.61	12.84
60	22.62	16.58	12.86
Arus Rata-Rata (mA)	26.04	16.94	12.78

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan antara aluminium dan baja yaitu 4:21 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.2 . Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 26,04 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 16,94 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 12,78 mA.

4.2.3. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm² dan Luasan Baja 3019 cm² (1-C)

Pengujian selanjutnya dilakukan pada spesimen baja dengan luasan 3019,4 cm² yang dihadapkan dengan spesimen pelat aluminium yang memiliki luasan 901,69 cm². Variasi ini memiliki rasio luasan 6:21. Rasio ini didapatkan dengan cara membandingkan luasan spesimen aluminium dengan luasan yang dimiliki oleh spesimen baja, luasan aluminium pada

variasi ini memiliki perbandingan luasan sebesar 6:21 dibandingkan dengan luasan spesimen baja. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi jarak yang dipakai dalam rangkaian pengujian, hal ini dimaksudkan agar hasil pengujian dapat di analisa kecenderungannya. Jarak yang digunakan pada pengujian memiliki tiga variasi. Adapun, variasi jarak yang digunakan dalam rangkaian pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.

Tabel 4.3 Variasi 1-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	37.49	19.73	12.86
20	34.70	20.06	13.06
30	32.08	20.18	13.15
40	30.73	20.38	13.27
50	29.67	20.67	13.32
60	28.67	20.84	13.29
Arus Rata-Rata (mA)	32.22	20.31	13.16

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan aluminium dan baja yaitu 6:21 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.3. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 32,22 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 20,31 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 13,16 mA.

4.2.4. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm² dan Luasan Baja 1698,41 cm² (2-A)

Pada pengujian ini, spesimen baja yang digunakan memiliki luasan yang lebih kecil dibandingkan dengan luasan spesimen baja yang digunakan pada pengujian rangkaian percobaan sebelumnya. spesimen pelat baja yang digunakan pada pengujian ini memiliki luas

permukaan celup sebesar 1698,41 cm² dan spesimen pelat aluminium yang memiliki luasan sebesar 144,27 cm². *Area ratio* yang dimiliki spesimen pada pengujian ini adalah sebesar 1:12. Maksudnya adalah luas permukaan dari spesimen aluminium ini memiliki perbandingan sebesar 1:12 dibanding dengan luas permukaan dari spesimen baja. Variasi jarak yang digunakan pada pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi dengan pencatatan data arus setiap sepuluh menit sekali untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Tabel 4.4 Variasi 2- A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	12.66	8.57	7.82
20	13.19	8.77	7.44
30	12.94	8.86	7.23
40	12.66	8.92	7.26
50	12.42	8.94	7.22
60	12.12	9.00	7.10
Arus Rata-Rata (mA)	12.66	8.84	7.82

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan antara aluminium dan baja yaitu 1:12 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.4. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 12,66 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 8,84 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 7,82 mA.

4.2.5. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm² dan Luasan Baja 1698,41 cm² (2-B)

Pada pengujian 2-B ini, spesimen uji yang dipakai adalah pelat baja yang sama seperti yang dipakai pada pengujian dengan variasi pengujian sebelumnya yaitu baja dengan luasan

1698,41 cm². Namun, untuk spesimen aluminium, pelat yang dipakai lebih besar yaitu pelat dengan luasan 577,08 cm². Luas permukaan dari spesimen aluminium ini memiliki perbandingan sebesar 4:12 dibanding dengan luas permukaan dari spesimen baja. Pengujian untuk satu variasi luasan dilakukan sebanyak tiga kali, dengan mengubah jarak pada setiap pengujiannya. Variasi jarak yang digunakan pada pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengambilan data dilakukan setiap sepuluh menit sekali selama 60 menit durasi pengujian untuk meningkatkan ketelitian pengambilan data eksperimen.

Tabel 4.5 Variasi 2-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	21.06	12.48	10.19
20	18.00	12.12	10.03
30	18.31	11.85	9.83
40	17.45	11.64	9.78
50	16.57	11.52	9.66
60	16.21	11.30	9.59
Arus Rata-Rata (mA)	17.93	11.82	9.85

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan 4:12 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.5. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 17,93 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 11,82 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 9,85 mA.

4.2.6. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm² dan Luasan Baja 1698,41 cm² (2-C)

Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah menggunakan variasi luasan 2-C. Dimana, spesimen baja yang dipakai tetap sama seperti pada dua pengujian sebelumnya, yaitu pelat

baja dengan luasan 1698,41 cm². Namun, spesimen aluminium yang dipakai pada pengujian ini menggunakan pelat aluminium yang memiliki luas permukaan sebesar 901,69 cm². Kombinasi dari kedua spesimen uji ini mempunyai rasio luasan sebesar 6:12. Maksudnya adalah luas permukaan dari spesimen aluminium ini memiliki perbandingan sebesar 6:12 dibanding dengan luas permukaan dari spesimen baja. Pengujian untuk satu variasi luasan dilakukan sebanyak tiga kali, dengan mengubah jarak pada setiap pengujiannya. Variasi jarak yang digunakan pada pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi dengan pencatatan data arus setiap sepuluh menit sekali untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Tabel 4.6 Variasi 2-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	41.05	24.88	18.49
20	39.29	24.33	17.48
30	36.73	24.41	15.76
40	36.44	23.73	16.63
50	35.37	22.43	16.90
60	34.51	21.94	16.21
Arus Rata-Rata (mA)	37.23	23.62	16.91

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan 6:12 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.6. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 37,23 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 23,62 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 16,91 mA. Dari data tersebut, penurunan arus galvanic dapat dikatakan mengalami perubahan yang signifikan terhadap perubahan jarak antar spesimen ada saat pengujian.

4.2.7. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 144,27 cm² dan Luasan Baja 754,85 cm² (3-A)

Pada pengujian ini, spesimen baja yang dipakai merupakan spesimen dengan luasan permukaan yang paling kecil dibandingkan dengan kedua spesimen yang telah dipakai pada pengujian sebelumnya. Spesimen baja yang dipakai pada pengujian ini memiliki luas permukaan sebesar 754,85 cm². Sedangkan, spesimen aluminium yang dipakai memiliki luas permukaan sebesar 144,27 cm². Luas permukaan dari spesimen aluminium ini memiliki perbandingan sebesar 1:5 dibanding dengan luas permukaan dari spesimen baja.

Tabel 4.7 Variasi 3-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	14.74	12.21	9.55
20	14.08	11.35	8.90
30	13.71	11.07	8.85
40	12.81	10.33	8.87
50	12.40	10.19	8.66
60	11.93	9.64	8.35
Arus Rata-Rata (mA)	13.28	12.21	8.86

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan 1:5 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.3. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 13,28 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 12,21 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 8,86 mA. Penurunan yang terjadi pada pengujian menggunakan spesimen aluminium dan baja dengan rasio luasan sebesar 1:5 ini cenderung landai atau penurunannya tidak terlalu ekstrem apabila dibandingkan dengan pengujian dengan rasio luasan spesimen yang lainnya.

4.2.8. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 577,08 cm² dan Luasan Baja 754,85 cm² (3-B)

Pada pengujian ini, spesimen uji yang dipakai adalah pelat baja dengan luasan 754,85 cm² dan pelat aluminium dengan luasan 577,08 cm². Kombinasi dari kedua spesimen uji ini mempunyai rasio luasan sebesar 4:5. Maksudnya adalah luas permukaan dari spesimen aluminium ini memiliki perbandingan sebesar 4:5 dibanding dengan luas permukaan dari spesimen baja. Pengujian untuk satu variasi luasan dilakukan sebanyak tiga kali, dengan mengubah jarak pada setiap pengujiannya. Variasi jarak yang digunakan pada pengujian ini adalah 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap jaraknya.

Tabel 4.8 Variasi 3-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	25.04	11.24	11.18
20	21.36	11.12	10.20
30	19.27	10.69	9.82
40	18.01	10.63	9.64
50	17.60	10.56	9.31
60	16.61	10.45	9.04
Arus Rata-Rata (mA)	19.65	10.78	11.18

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan 4:5 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.8. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 19,65 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 10,78 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 11,18 mA.

4.2.9. Hasil Pengujian dengan Variasi Luasan Aluminium 901,69 cm² dan Luasan Baja 754,85 cm² (3-C)

Pada pengujian dengan variasi luasan terakhir ini digunakan spesimen baja dengan luasan sebesar 754,85 cm² dan pelat aluminium yang digunakan memiliki luasan 901,69 cm². Kombinasi dari kedua spesimen uji ini mempunyai rasio luasan sebesar 6:5. Pada pengujian ini spesimen aluminium memiliki luasan yang lebih besar dibandingkan dengan luasan yang dimiliki oleh spesimen baja. Pengujian ini dilakukan pada tiga variasi jarak yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Untuk mendapatkan data yang valid setiap rangkaian percobaan diulangi sebanyak tiga kali. Selanjutnya, data arus yang dihasilkan pada setiap percobaan dicatat setiap sepuluh menit sekali agar dapat diketahui bagaimana tren atau kecenderungan arus yang didapatkan pada setiap pengujian.

Tabel 4.9 Variasi 3-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	38.09	31.42	27.03
20	36.25	31.09	25.55
30	36.00	30.21	25.36
40	35.73	29.23	24.98
50	35.26	28.80	24.58
60	34.92	27.72	23.98
Arus Rata-Rata (mA)	36.04	29.74	25.24

Data pengujian untuk spesimen dengan perbandingan luasan 6:5 pada jarak 10 cm, 20 cm dan 30 cm dapat dilihat pada Tabel 4.9. Arus galvanik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun seiring dengan bertambahnya waktu, namun penurunan yang terjadi tidak mengalami perubahan yang signifikan, dan untuk perhitungan laju korosi, diambil nilai rata-rata dari arus yang dihasilkan selama 60 menit durasi pengujian tersebut. Selain itu, arus galvanik juga mengalami penurunan terhadap bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen, arus galvanik yang dihasilkan akan semakin menurun. Arus galvanik yang dihasilkan pada jarak 10 cm, memiliki nilai sebesar 36,04 mA, lalu pada jarak 20 cm, arus galvanik yang dihasilkan sebesar 29,74 mA, dan arus galvanik terkecil pada rangkaian percobaan ini dihasilkan pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen, dimana arus yang dihasilkan sebesar 25,24 mA.

BAB 5

ANALISA HASIL PENGUJIAN

5.1. Umum

Pada penelitian ini hasil yang didapatkan adalah arus laju korosi dengan satuan (mA/cm^2) yang kemudian dikonversi menjadi laju korosi (Cr) dengan satuan (mm/y). Variabel yang digunakan pada pengujian ini adalah jarak dan perbandingan luasan antara spesimen baja dan spesimen aluminium. Berikutnya, dari data yang didapatkan disusun ke dalam bentuk tabel yang nantinya akan diterjemahkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan antara laju korosi (Cr) dengan perbandingan luasan antar spesimen. Analisa yang dilakukan pada pengujian ini adalah bagaimana perbandingan luasan spesimen baja dan aluminium dapat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Berikut adalah analisa dari laju korosi yang dilakukan:

5.2. Konversi Laju Korosi berdasarkan Arus yang Dihasilkan

Laju korosi pada pengujian ini didapatkan dengan metode konversi arus listrik dengan satuan mA (*miliAmpere*) menjadi satuan laju korosi yang paling lazim digunakan, yaitu (mm/year). Perhitungan ini mengacu pada Tabel 2.4. Dimana, pada tabel tersebut menjelaskan tentang perhitungan perhitungan yang harus dilakukan apabila hendak meneliti tentang laju korosi. Adapun, salah satu elemen penting yang harus diperhatikan pada perhitungan ini adalah luas permukaan yang terpapar reaksi elektrokimia. Dalam hal ini, luas permukaan yang dipakai pada perhitungan merupakan luas permukaan minimum dari kedua spesimen yang diuji. Luas minimum yang digunakan pada pengujian ini adalah luasan dari aluminium yang berperan sebagai anoda dalam reaksi. Namun, ada beberapa kasus dalam penelitian ini yang menggunakan luasan spesimen baja sebagai acuan dalam perhitungan laju korosi. Hal ini disebabkan karena pada variasi pengujian tersebut luas permukaan yang dimiliki oleh baja lebih kecil daripada luas permukaan yang dimiliki oleh spesimen aluminium. Variabel berikutnya yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah massa jenis, massa atom, dan elektron valensi yang dimiliki oleh logam yang terkorosi. Pada penelitian ini, logam yang terkorosi adalah aluminium, karena aluminium berperan sebagai anoda dalam rangkaian percobaan laju korosi ini. Menurut Tabel 2.4, perhitungan konversi arus menjadi laju korosi, dapat diformulasikan seperti:

$$(I_{\text{corr}}) \text{ mA/cm}^2 = (3,28 M/nd) \times (I_{\text{corr}}) \text{ mm/year}$$

Dimana M = Massa atom dari logam anoda

n = Elektron valensi dari logam anoda

d = Massa jenis logam anoda

Pada perhitungan tersebut, dibutuhkan arus korosi dalam satuan mA/cm^2 . Jadi, dari data arus yang telah didapatkan sebelumnya harus dibagi sesuai dengan *exposure area* pada masing-masing variasi pengujian. Perhitungan konversi satuan laju korosi pada pengujian ini dapat diperhatikan pada Tabel 5.1. Kombinasi dari spesimen yang digunakan ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 5.1 Hasil Konversi Laju Korosi

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak	I	Exposure Area	I _{corr}	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr}				
		(cm)	(mA)	(cm ²)	(mA cm ⁻²)	M	n	d		(mm year ⁻¹)				
1	1-A (1:21)	10	22.19	144,27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681				
2		20	10.77		0.075					0.815				
3		30	6.18		0.043					0.468				
4	1-B (4:21)	10	26.04	577.08	0.045									0.493
5		20	16.94		0.029					0.321				
6		30	12.78		0.022					0.242				
7	1-C (6:21)	10	32.22	901,69	0.036									0.390
8		20	20.31		0.023					0.246				
9		30	13.16		0.015					0.159				
10	2-A (1:12)	10	12.66	144,27	0.088									0.959
11		20	8.84		0.061					0.670				
12		30	7.34		0.051					0.556				
13	2-B (4:12)	10	17.93	577,08	0.031									0.339
14		20	11.82		0.020					0.224				
15		30	9.85		0.017					0.186				
16	2-C (6:12)	10	37.23	901,69	0.041									0.451
17		20	23.62		0.026					0.286				
18		30	16.91		0.019					0.205				
19	3-A (1:5)	10	13.28	144,27	0.092									1.005
20		20	10.80		0.075					0.818				
21		30	8.86		0.061					0.671				
22	3-B (4:5)	10	19.65	577,08	0.034									0.372
23		20	10.78		0.019					0.204				
24		30	9.86		0.017					0.187				
25	3-C (6:5)	10	36.04	901.69	0.040									0.437
26		20	29.74		0.033					0.360				
27		30	25.24		0.028					0.306				

5.3. Analisa Pengaruh Perubahan Jarak terhadap Laju Korosi

Pengujian laju korosi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan variasi jarak antar spesimen dan variasi luasan spesimen. Analisa dilakukan terhadap kedua macam variabel tersebut untuk mengetahui bagaimana variasi tersebut dapat mempengaruhi laju korosi galvanik yang dihasilkan. Luas permukaan dari spesimen uji ini memiliki tiga variasi untuk masing-masing spesimen. Spesimen baja memiliki variasi luas permukaan sebesar 30,19,4 cm², 1698,41 cm² dan 754 cm². Sedangkan, spesimen aluminium yang digunakan pada pengujian ini memiliki luas permukaan sebesar 144,27 cm², 577,08 cm², dan 901,69 cm². dari semua variasi luas permukaan yang dimiliki kedua spesimen tersebut, selanjutnya dibuat kombinasi dari masing-masing spesimen, sehingga didapatkan sembilan kombinasi dari kedua spesimen tersebut. Jarak yang digunakan pada pengujian ini sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.

5.3.1. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm²)

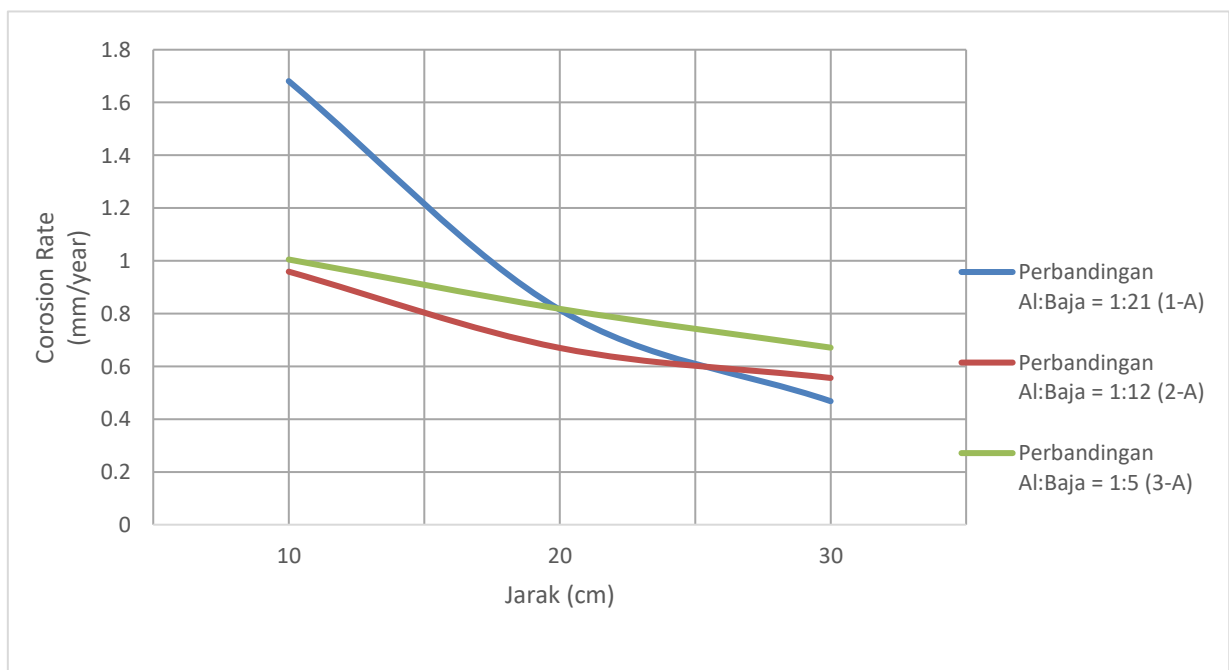
Analisa dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat laju korosi yang dihasilkan dari setiap pengujian yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan tetap 144,27 cm², dengan luasan baja yang bervariasi. Pada pengujian yang dilakukan, tiga jenis kombinasi yang digunakan. Yaitu, variasi 1-A, variasi 2-A dan variasi 3-A. Pada pengujian variasi 1-A spesimen baja yang digunakan memiliki luasan 3019,4 cm² dan spesimen aluminium 144,27 cm². Spesimen yang digunakan pada variasi 2-A adalah spesimen baja dengan luasan 1698,41 cm² dan spesimen aluminium dengan luasan 144,27 cm². Sedangkan, pada variasi 3-A, spesimen yang digunakan adalah spesimen baja dengan luasan 754,85 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Ketiga kombinasi spesimen tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya pada tingkat laju korosi yang dihasilkan. Data yang didapatkan pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-A (1:21)	10	22.19	144,27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681
2		20	10.77		0.075					0.815
3		30	6.18		0.043					0.468

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
4	2-A (1:12)	10	12.66	144,27	0.088	26.98	3	2.7	10.925	0.959
5		20	8.84		0.061					0.670
6		30	7.34		0.051					0.556
7	3-A (1:5)	10	13.28		0.092					1.005
8		20	10.80		0.075					0.818
9		30	8.86		0.061					0.671

Dari data pada Tabel 5.2, dengan kombinasi luasan yang sama, laju korosi tertinggi dihasilkan pada jarak 10 cm, dimana jarak tersebut merupakan jarak terdekat apabila dibandingkan dengan dua variasi jarak lainnya. Namun, data pada Tabel 5.2 menunjukkan bahwa perubahan luas permukaan dari baja tidak mempunyai pola yang konsisten terhadap laju korosi yang dihasilkan, sedangkan jarak antara spesimen baja dan aluminium memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan laju korosi yang dihasilkan, dan tren data yang dihasilkan pun cenderung konsisten. Semakin jauh jarak antara spesimen baja dan aluminium maka laju korosi yang dihasilkan cenderung menurun, atau arus galvanik yang dihasilkan berbanding terbalik terhadap jarak antar spesimen. Data dari Tabel 5.2 dapat diterjemahkan menjadi grafik pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm²

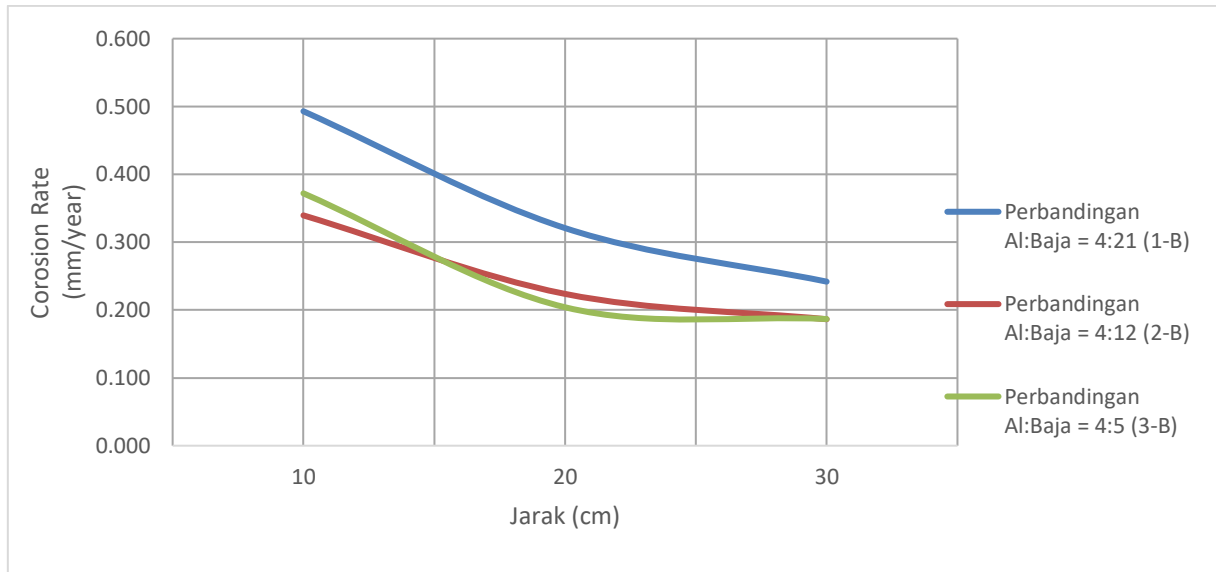
5.3.2. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)

Analisa laju korosi berikutnya dilakukan pada pengujian yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan 577,08 cm². Pada penelitian ini ada tiga macam kombinasi yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan ini, antara lain kombinasi 1-B yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan ini, antara lain kombinasi 1-B yang menggunakan spesimen baja dengan luasan 3019,4 cm² dan spesimen aluminium 577,08 cm², lalu kombinasi 2-B yang menggunakan spesimen baja dengan luasan 1698,41 cm² dan spesimen aluminium dengan luasan 577,08 cm², dan kombinasi yang terakhir adalah 3-B yang menggunakan spesimen baja 754,85 cm² dan spesimen aluminium 577,08 cm². Analisa yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh jarak antar spesimen terhadap laju korosi yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada tiga jarak yang berbeda yaitu, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, lalu di analisa bagaimana kecenderungan laju korosi yang dihasilkan. Data yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-B (4:21)	10	26.04	577.08	0.045	26.98	3	2.7	10.925	0.493
2		20	16.94		0.029					0.321
3		30	12.78		0.022					0.242
4	2-B (4:12)	10	17.93		0.031					0.339
5		20	11.82		0.020					0.224
6		30	9.85		0.017					0.186
7	3-B (4:5)	10	19.65		0.034					0.372
8		20	10.78		0.019					0.204
9		30	9.86		0.017					0.187

Dari data pada Tabel 5.3, dengan kombinasi luasan yang sama, laju korosi tertinggi dihasilkan pada jarak 10 cm, dimana jarak tersebut merupakan jarak terdekat apabila dibandingkan dengan dua variasi jarak lainnya. Namun, data pada Tabel 5.3 menunjukkan bahwa perubahan luas permukaan dari baja tidak mempunyai pola yang konsisten terhadap laju korosi yang dihasilkan, sedangkan jarak antara spesimen baja dan aluminium memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan laju korosi yang dihasilkan, dan tren data yang dihasilkan pun cenderung konsisten. Semakin jauh jarak antara spesimen baja dan aluminium maka laju korosi yang dihasilkan cenderung menurun, atau arus galvanik yang dihasilkan berbanding terbalik terhadap jarak antar spesimen. Data dari Tabel 5.3 dapat diterjemahkan menjadi grafik pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm²

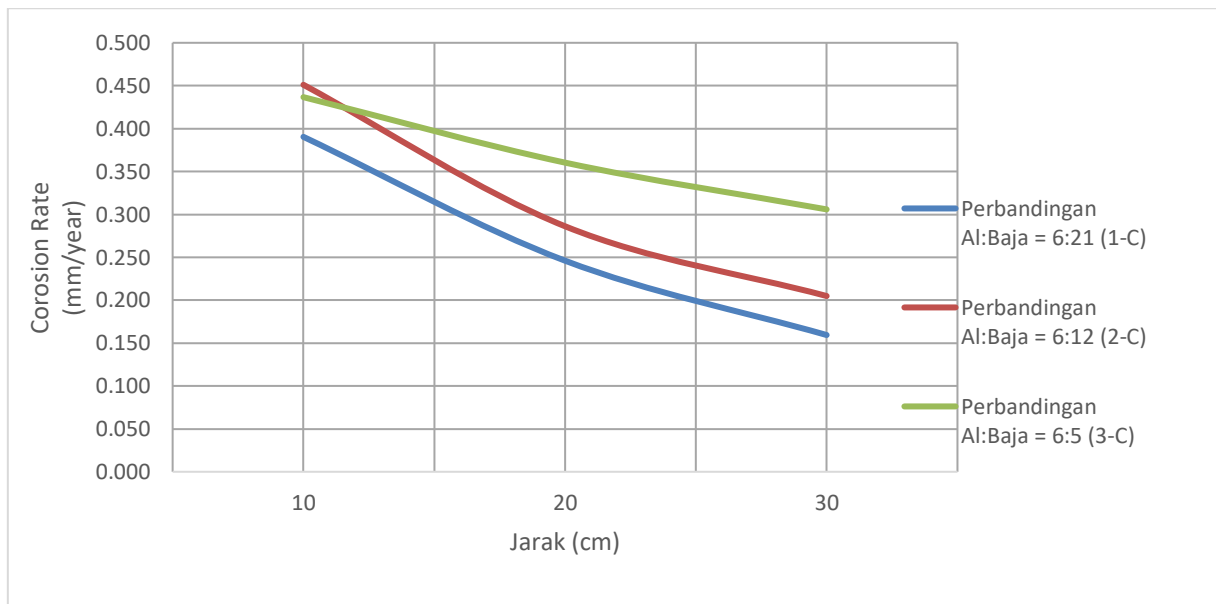
5.3.3. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)

Pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh jarak terhadap laju korosi yang dihasilkan. Selain itu, analisa pengaruh perubahan luasan baja terhadap laju korosi juga dilakukan dalam penelitian ini. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui berapa laju korosi yang dihasilkan dari pengujian yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan 901,69 cm². Ada tiga variasi dari kombinasi spesimen aluminium dengan luasan ini. Variasi yang digunakan pada analisa ini dapat dilihat pada Tabel 5.4. Analisa dilakukan dengan cara melihat laju yang dihasilkan dari masing-masing kombinasi spesimen pada jarak 10 cm, 20 cm, 30 cm, dan diperhatikan bagaimana kecenderungan laju korosi yang dihasilkan. Data laju korosi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium 901,69 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-C (6:21)	10	32.22	901.69	0.036	26.98	3	2.7	10.925	0.390
2		20	20.31		0.023					0.246
3		30	13.16		0.015					0.159
4	2-C (6:12)	10	37.23		0.041					0.451
5		20	23.62		0.026					0.286
6		30	16.91		0.019					0.205
7	3-C (6:5)	10	36.04		0.040					0.437
8		20	29.74		0.033					0.360
9		30	25.24		0.028					0.306

Dari data pada Tabel 5.4, dengan kombinasi luasan yang sama, laju korosi tertinggi dihasilkan pada jarak 10 cm, dimana jarak tersebut merupakan jarak terdekat apabila dibandingkan dengan dua variasi jarak lainnya. Namun, data pada Tabel 5.4 menunjukkan bahwa perubahan luas permukaan dari baja tidak mempunyai pola yang konsisten terhadap laju korosi yang dihasilkan, sedangkan jarak antara spesimen baja dan aluminium memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan laju korosi yang dihasilkan, dan tren data yang dihasilkan pun cenderung konsisten. Pada perhitungan laju korosi, *exposure area* harus sangat diperhatikan karena I_{corr} atau arus korosi merupakan fungsi perbandingan dari arus galvanik dengan *exposure area* atau luasan yang dimiliki anoda, yang dalam hal ini adalah spesimen aluminium. Dari hal tersebut, dapat diketahui bahwa dengan *exposure area* yang kecil, maka arus korosi (I_{corr}) yang dihasilkan menjadi meningkat karena faktor pembagi dari arus galvanik yang dihasilkan pun semakin mengecil. Dari hal ini, dapat diketahui bahwa dalam perhitungan laju korosi, perubahan pada *exposure area* cukup berpengaruh. Namun, pengaruh paling besar dalam perhitungan laju korosi ini, terdapat pada perubahan jarak antara pelat baja dan pelat aluminium. Data dari Tabel 5.4 dapat diterjemahkan menjadi grafik pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm²

5.3.4. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)

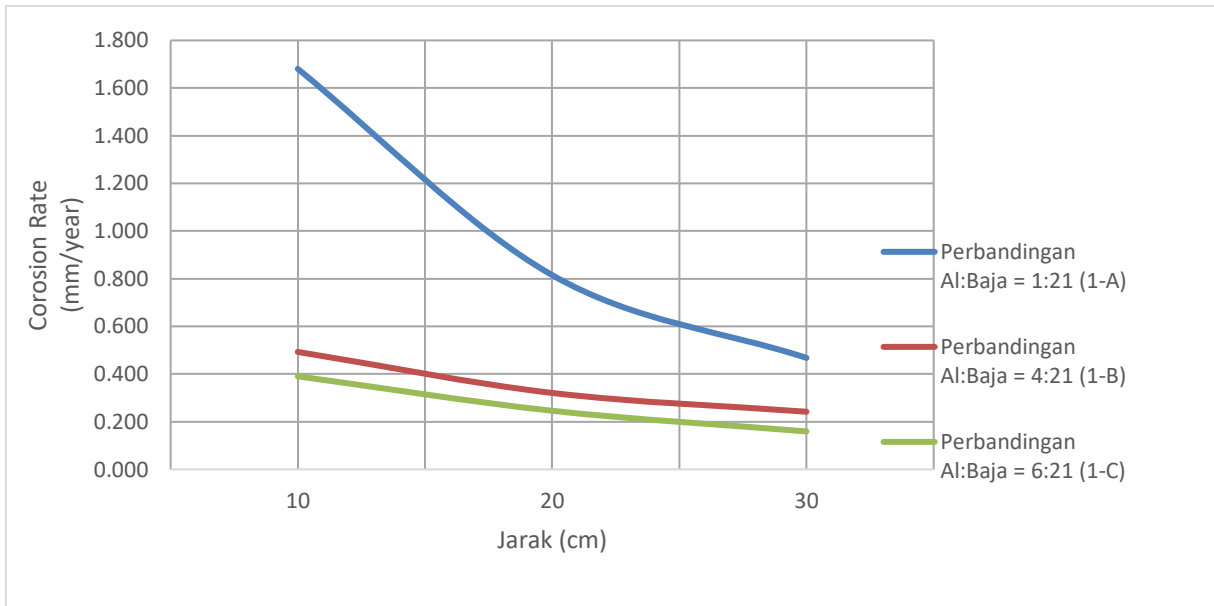
Analisa berikutnya dilakukan pada laju korosi yang dihasilkan dari pengujian pada luasan baja dengan luasan 3019,4 cm². Analisa ini bertujuan untuk melihat kecenderungan laju korosi yang dihasilkan dari perubahan luasan anoda, yang dalam hal ini aluminium. Selain itu,

analisa juga dilakukan pada tiga jarak yang berbeda, untuk melihat pengaruh perubahan jarak terhadap laju korosi. Analisa ini dilakukan pada pengujian variasi 1-A yang menggunakan spesimen baja sebesar 3019,4 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Variasi berikutnya adalah 1-B yang menggunakan spesimen baja sebesar 3019,4 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Kemudian, variasi yang terakhir adalah 1-C yang menggunakan spesimen baja sebesar 3019,4 cm² dan spesimen aluminium sebesar 901,69 cm². Data laju korosi dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak	I	Exposure Area	I _{corr}	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr}								
		(cm)	(mA)	(cm ²)	(mA cm ⁻²)	M	n	d		(mm year ⁻¹)								
1	1-A (1:21)	10	22.19	144.27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681								
2		20	10.77		0.075					0.815								
3		30	6.18		0.043					0.468								
4	1-B (4:21)	10	26.04	577.08	0.045					26.98	3	2.7	10.925	0.493				
5		20	16.94		0.029									0.321				
6		30	12.78		0.022									0.242				
7	1-C (6:21)	10	32.22	901.69	0.036									26.98	3	2.7	10.925	0.390
8		20	20.31		0.023													0.246
9		30	13.16		0.015													0.159

Dari Tabel 5.5, diketahui bahwa semakin besar luasan dari spesimen aluminium yang digunakan, arus galvanik yang dihasilkan pun semakin besar. Namun, karena arus korosi (I_{corr}) merupakan fungsi perbandingan antara arus galvanik dan *exposure area*, perhitungan laju korosi pun juga harus sangat mempertimbangkan *exposure area*, dimana dalam hal ini *exposure area* yang digunakan adalah luas permukaan minimum dari kedua spesimen tersebut. Jika *exposure area* yang dimiliki semakin besar, maka faktor pembagi dari arus galvanik tersebut akan semakin besar, sehingga arus korosi yang dihasilkan ikut mengecil. Namun pada perhitungan laju korosi ini, jarak antara spesimen baja dan aluminium memiliki pengaruh yang paling besar. dapat diperhatikan bahwa variasi luasan yang sama, laju korosi paling besar dihasilkan pada pengujian pada jarak 10 cm. Data pada Tabel 5.5 menunjukkan kecenderungan nilai laju korosi yang tinggi pada jarak 10 cm dan laju korosi terendah pada jarak 30 cm. dari data tersebut, dapat dibuat sebuah grafik yang menggambarkan kecenderungan data pengujian tersebut, grafik dari data pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm²

5.3.5. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)

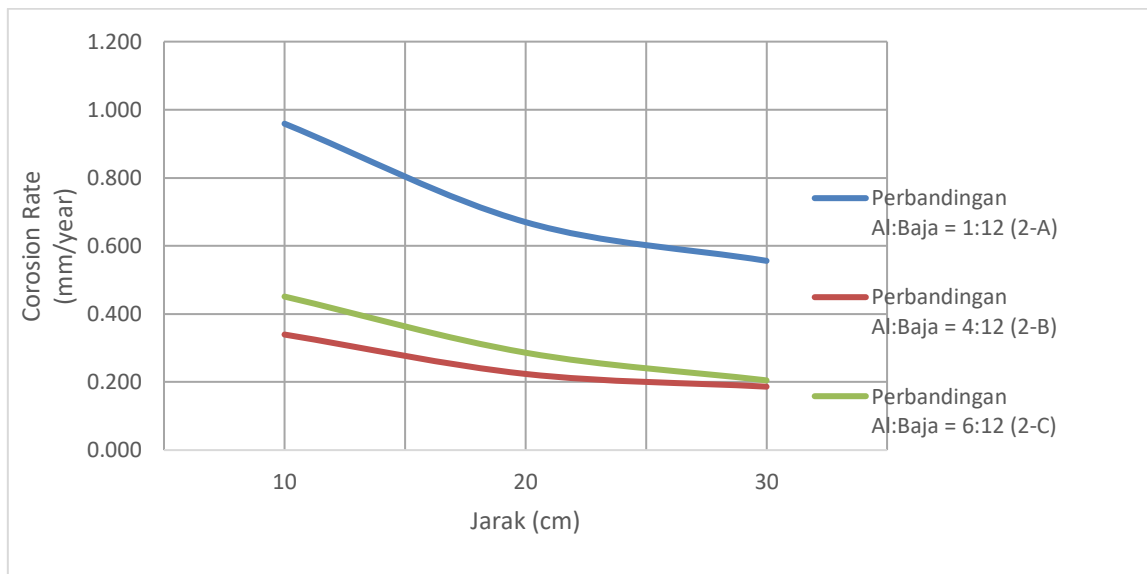
Analisa berikutnya dilakukan pada laju korosi yang dihasilkan dari pengujian pada luasan baja dengan luasan 1698,41 cm². Analisa ini bertujuan untuk melihat kecenderungan laju korosi yang dihasilkan dari luasan aluminium, yang dalam hal ini berperan sebagai anoda. Selain itu, analisa juga dilakukan pada tiga jarak yang berbeda, untuk melihat pengaruh perubahan jarak terhadap laju korosi. Analisa ini dilakukan pada pengujian variasi 2-A yang menggunakan spesimen baja sebesar 1698,41 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Variasi berikutnya adalah 2-B yang menggunakan spesimen baja sebesar 1698,41 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Kemudian, variasi yang terakhir adalah 2-C yang menggunakan spesimen baja sebesar 1698,41 cm² dan spesimen aluminium sebesar 901,69 cm². Data laju korosi dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 1689,41 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak	I	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
		(cm)	(mA)			M	n	d		
1	2-A (1:12)	10	12.66	144.27	0.088	26.98	3	2.7	10.925	0.959
2		20	8.84		0.061					0.670
3		30	7.34		0.051					0.556
4	2-B (4:12)	10	17.93	577.08	0.031					0.339
5		20	11.82		0.020					0.224
6		30	9.85		0.017					0.186

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak	I	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
		(cm)	(mA)			M	n	d		
7	2-C (6:12)	10	37.23	901.69	0.041					0.451
8		20	23.62		0.026					0.286
9		30	16.91		0.019					0.205

Dari Tabel 5.6, diketahui bahwa semakin besar luasan dari spesimen aluminium yang digunakan, arus galvanik yang dihasilkan pun semakin besar. Namun, dari Tabel 5.5 juga dapat diketahui apabila *exposure area* yang dimiliki semakin besar, maka faktor pembagi dari arus galvanik tersebut akan semakin besar, sehingga arus korosi yang dihasilkan ikut mengecil. Pada arus yang dihasilkan pada pengujian dengan luas aluminium 901,69 cm² dan baja 1698,41 cm² memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arus yang dihasilkan pada dua variasi sebelumnya. Sehingga, arus korosi (I_{corr}) yang dihasilkan masih memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan pada spesimen aluminium 577,08 cm² dengan luas permukaan spesimen baja yang sama. Namun kecenderungan atau tren data yang dihasilkan masih sama seperti pada variasi pengujian sebelumnya. Laju korosi yang dihasilkan akan sangat bergantung pada jarak yang ada di antara spesimen baja dan spesimen aluminium, dimana semakin jauh jarak antar spesimen tersebut maka akan semakin kecil pula laju korosi yang dihasilkan. Data yang dihasilkan pada Tabel 5.6 dapat diterjemahkan menjadi sebuah grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 1689,41 cm²

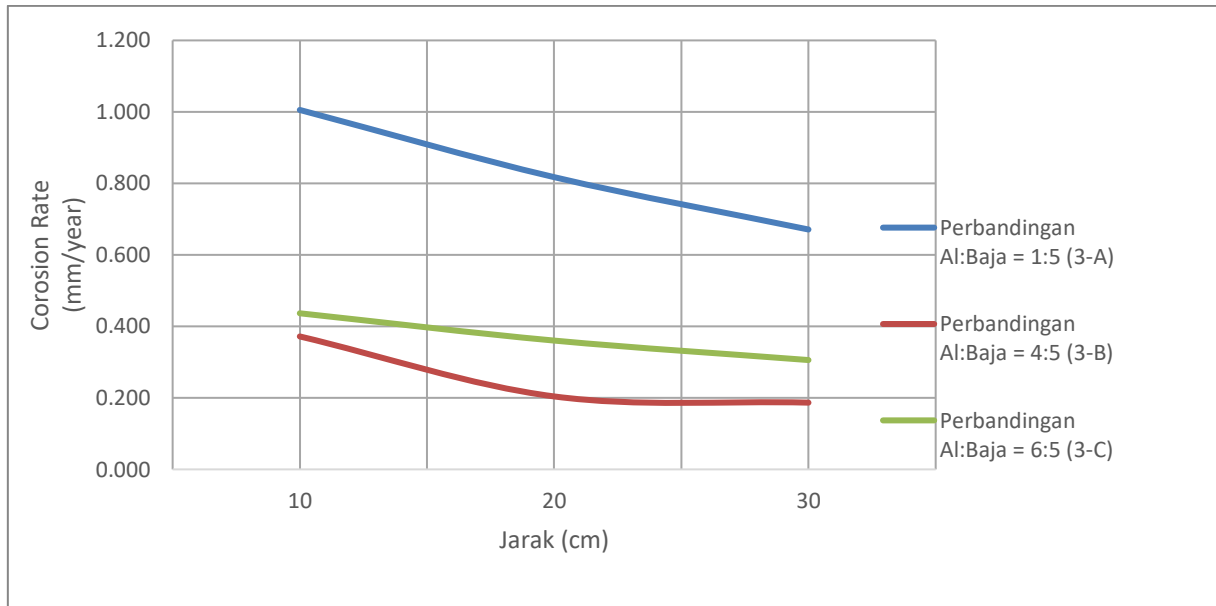
5.3.6. Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (754,85 cm²)

Analisa ini dilakukan untuk melihat bagaimana jarak antar spesimen dapat mempengaruhi laju korosi. Selain itu, pengaruh perubahan luasan aluminium yang berperan sebagai anoda pada pengujian ini juga diperhatikan. Analisa ini dilakukan pada pengujian variasi 3-A yang menggunakan spesimen baja sebesar 754,85 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Variasi berikutnya adalah 3-B yang menggunakan spesimen baja sebesar 754,85 cm² dan spesimen aluminium sebesar 144,27 cm². Kemudian, variasi yang terakhir adalah 3-C yang menggunakan spesimen baja sebesar 754,85 cm² dan spesimen aluminium sebesar 901,69 cm². Data laju korosi dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7

Tabel 5.7 Data perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm²

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)								
						M	n	d										
1	3-A (5:21)	10	13.28	144.27	0.092	26.98	3	2.7	10.925	1.005								
2		20	10.80		0.075					0.818								
3		30	8.86		0.061					0.671								
4	3-B (5:12)	10	19.65	577.08	0.034					26.98	3	2.7	10.925	0.372				
5		20	10.78		0.019									0.204				
6		30	9.86		0.017									0.187				
7	3-C (5:6)	10	36.04	901.69	0.040									26.98	3	2.7	10.925	0.437
8		20	29.74		0.033													0.360
9		30	25.24		0.028													0.306

Dari Tabel 5.5, diketahui bahwa semakin besar luasan dari spesimen aluminium yang digunakan, arus galvanik yang dihasilkan pun semakin besar. Pada perhitungan laju korosi, *exposure area* juga harus dipertimbangkan. Jika *exposure area* yang dimiliki semakin besar, maka faktor pembagi dari arus galvanik tersebut akan semakin besar, sehingga arus korosi yang dihasilkan ikut mengecil. Pada pengujian 3-C, permukaan aluminium yang digunakan memiliki luasan sebesar 901,69 cm², arus yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dengan dua variasi luasan lainnya, dan pada pengujian ini *exposure area* mengikuti luas permukaan dari spesimen baja karena nilainya lebih kecil dibandingkan dengan luas permukaan aluminium. Pada pengujian dengan variasi luasan ini, laju korosi yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan menggunakan variasi 3-B. Namun, kecenderungan laju korosi yang dihasilkan terhadap jarak antar spesimen masih sama seperti pada pengujian sebelumnya. Semakin jauh jarak antar spesimen, maka semakin kecil laju korosi yang dihasilkan. Data pada Tabel 5.7 dapat diterjemahkan dalam bentuk grafik yang dapat diperhatikan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik perubahan laju korosi terhadap jarak pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm²

Perhitungan laju korosi di atas menunjukkan bahwa semakin besar luasan anoda, maka akan semakin rendah nilai laju korosinya. Nilai terendah dari laju korosi yang dihasilkan pada percobaan ini terdapat pada percobaan dengan kode pengujian 3-C, dimana luasan aluminium memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan luasan yang dimiliki oleh luasan baja dengan perbandingan luasan aluminium 1:0,85 luasan baja. Hal tersebut dapat dijadikan acuan, apabila kapal aluminium bersandar pada dermaga yang memiliki komponen-komponen yang terbuat dari baja, kapal tersebut bisa dianggap tidak terpengaruh oleh laju korosi, karena luasan aluminium memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan komponen-komponen baja pada dermaga.

5.4. Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Jarak

Laju korosi yang dihasilkan pada pengujian ini sangat dipengaruhi oleh jarak yang terdapat di antara kedua spesimen uji. Pada pengujian ini, variasi jarak yang digunakan adalah 10 cm, 20 cm dan 30 cm, dan spesimen uji yang digunakan adalah pelat baja dengan luas permukaan 3019,4 cm², 1698,41 cm² dan 754,85 cm² yang dihadapkan dengan pelat aluminium yang memiliki luasan sebesar 144,27 cm², 577,08 cm², dan 901,69 cm². Untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap laju korosi yang dihasilkan, data-data hasil pengujian laju korosi disusun pada tabel dan dilihat seberapa besar tingkat penurunannya terhadap perubahan jarak. Data penurunan laju korosi pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5.8 Perubahan laju korosi terhadap perubahan jarak

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	ΣI_{corr} (mA cm ⁻²)	$3,28 M/nd \times$ ΣI_{corr} (mm y ⁻¹)	Penurunan	
1	1-A (1:21)	10	22.19	144.27	0.154	1.681	51%	43%
2		20	10.77		0.075	0.815		
3		30	6.18		0.043	0.468		
4	1-B (4:21)	10	26.04	577.08	0.045	0.493	35%	25%
5		20	16.94		0.029	0.321		
6		30	12.78		0.022	0.242		
7	1-C (6:21)	10	32.22	901.69	0.036	0.390	37%	35%
8		20	20.31		0.023	0.246		
9		30	13.16		0.015	0.159		
10	2-A (1:12)	10	12.66	144.27	0.088	0.959	30%	17%
11		20	8.84		0.061	0.670		
12		30	7.34		0.051	0.556		
13	2-B (4:12)	10	17.93	577.08	0.031	0.339	34%	17%
14		20	11.82		0.020	0.224		
15		30	9.85		0.017	0.186		
16	2-C (6:12)	10	37.23	901.69	0.041	0.451	37%	28%
17		20	23.62		0.026	0.286		
18		30	16.91		0.019	0.205		
19	3-A (1:5)	10	13.28	144.27	0.092	1.005	19%	18%
20		20	10.80		0.075	0.818		
21		30	8.86		0.061	0.671		
22	3-B (4:5)	10	19.65	577.08	0.034	0.372	45%	9%
23		20	10.78		0.019	0.204		
24		30	9.86		0.017	0.187		
25	3-C (6:5)	10	36.04	901.69	0.040	0.437	17%	15%
26		20	29.74		0.033	0.360		
27		30	25.24		0.028	0.306		

Data pada Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa laju korosi akan menurun seiring dengan bertambahnya jarak antar spesimen, semakin jauh jarak antar spesimen maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada pengujian ini tingkat penurunan tertinggi terjadi pada pengujian dengan rasio luasan aluminium terhadap baja sebesar 1:21. Pada pengujian tersebut terjadi penurunan sebesar 51% terhadap perubahan jarak sebesar 10 cm. Sedangkan, tingkat penurunan terendah terjadi pada pengujian dengan variasi 3-B yang memiliki rasio luasan sebesar 4:5. Penurunan laju korosi yang terjadi pada pengujian tersebut sebesar 9% dengan perubahan jarak sebesar 10 cm. Pada variasi luasan lainnya, perubahan laju korosi memiliki *range* sebesar 15%-40% setiap perubahan jarak antar spesimen sebesar 10 cm.

5.5. Analisa Pengaruh Perubahan Rasio Luasan terhadap Laju Korosi

Laju korosi yang dihasilkan pada pengujian ini dipengaruhi oleh variabel jarak dan luas permukaan dari spesimen uji. Analisa dilakukan untuk mengetahui variabel apa yang memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan dengan variabel lainnya. Pada pengujian ini, spesimen yang digunakan memiliki tiga variasi luasan untuk masing-masing material, dimana material baja memiliki luas permukaan 3019,4 cm², 1698,41 cm² dan 754,85 cm², sedangkan material aluminium yang digunakan pada pengujian ini memiliki luas permukaan sebesar 144,27 cm², 577,08 cm² dan 901,69 cm². Pada Analisa ini, nilai dari luas permukaan tersebut dikonversi menjadi bentuk rasio, dimana rasio dari luas permukaan baja memiliki nilai sebesar 21, 12 dan 5, sedangkan rasio luasan yang dimiliki oleh material aluminium adalah 1, 4 dan 6. Dari beberapa kombinasi luasan pada percobaan, selanjutnya dilakukan Analisa untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan luasan tersebut terhadap laju korosi yang dihasilkan. Analisa dilakukan pada masing-masing luasan di jarak yang sama untuk mengetahui bagaimana perubahan yang terjadi. Jarak yang digunakan untuk semua rangkaian pengujian ini ada 10 cm, 20 cm dan 30 cm.

5.5.1. Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm²)

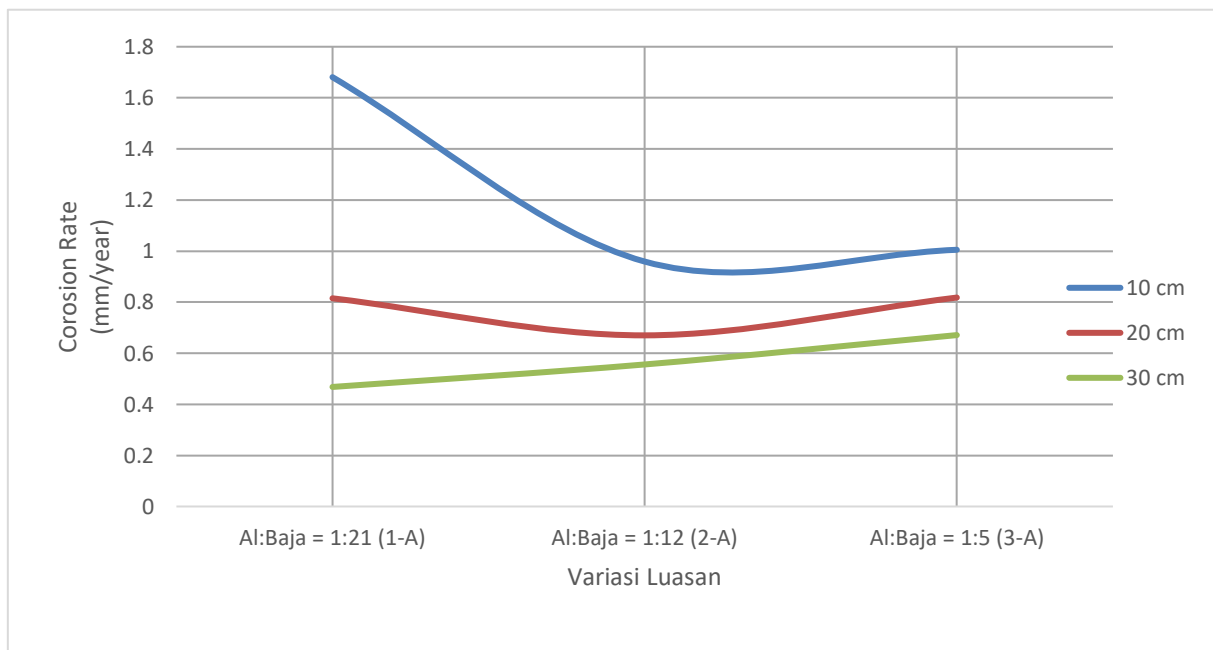
Analisa perubahan laju korosi terhadap variasi luasan yang pertama dilakukan pada data pengujian laju korosi dengan luasan aluminium konstan sebesar 144,27 cm², yang dimana memiliki nilai rasio luasan sebesar 1. Pada data yang disajikan pada Analisa ini, terdapat tiga variasi kombinasi luasan, yaitu 1-A yang memiliki rasio luasan sebesar 1:21, lalu variasi kombinasi luasan 2-A yang memiliki rasio 1:12, dan variasi kombinasi luasan 3-A yang memiliki rasio luasan 1:5. Ketiga kombinasi luasan tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana variabel pengujian memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang akan dihasilkan. Data pengujian dari variasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-A	1:21	144.27	0.154	1.681
2		2-A	1:12		0.088	0.959
3		3-A	1:5		0.092	1.005

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
4	20	1-A	1:21	144,27	0.075	0.815
5		2-A	1:12		0.061	0.67
6		3-A	1:5		0.075	0.818
7	30	1-A	1:21		0.043	0.468
8		2-A	1:12		0.051	0.556
9		3-A	1:5		0.061	0.671

Data pada Tabel 5.9, menunjukkan bahwa laju korosi paling tinggi terjadi pada jarak 10 cm di setiap variasi kombinasi luasan yang ada. Namun, untuk masing-masing variasi kombinasi memiliki nilai awal yang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan rasio luasan dari spesimen yang diuji, namun perubahan laju korosi yang terjadi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk variasi kombinasi luasan yang berbeda di satu jarak yang sama. Hal ini disebabkan karena, dari semua variasi luasan yang dipakai, aluminium yang berperan sebagai anoda memiliki nilai luasan yang konstan dibanding dengan luasan dari spesimen baja yang bervariasi. Dari data pada Tabel 5.9, dapat dibuat sebuah grafik untuk mengetahui kecenderungan tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 144,27 cm²

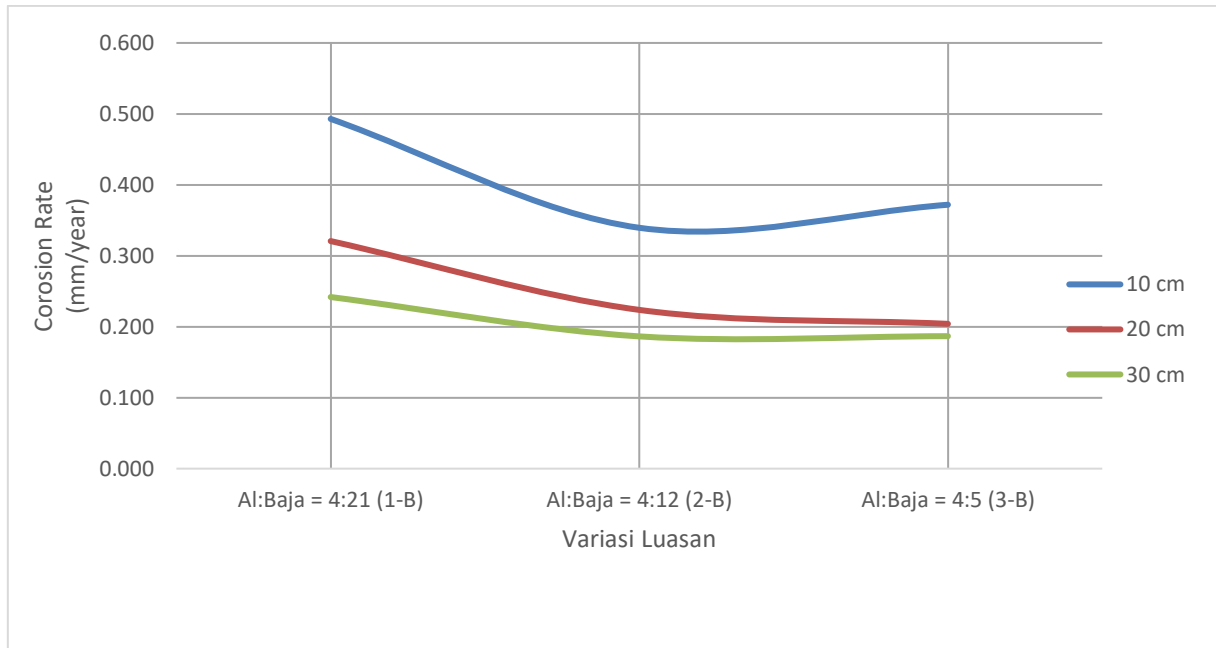
5.5.2. Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)

Analisa berikutnya dilakukan pada pengujian dengan spesimen aluminium yang memiliki luas permukaan sebesar 577,08 cm², dimana nilai rasio luasan dari spesimen ini adalah 4. dari spesimen tersebut, terdapat tiga variasi kombinasi luasan spesimen untuk pengujian, variasi pertama memiliki rasio sebesar 4:21, lalu pada variasi kedua rasio yang dimiliki sebesar 4:12 dan yang terakhir, spesimen yang digunakan memiliki rasio sebesar 4:5. Ketiga kombinasi luasan tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana variabel pengujian memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang akan dihasilkan. Data pengujian dari variasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-B	4:21	577.08	0.045	0.493
2		2-B	4:12		0.031	0.339
3		3-B	4:5		0.034	0.372
4	20	1-B	4:21		0.029	0.321
5		2-B	4:12		0.020	0.224
6		3-B	4:5		0.019	0.204
7	30	1-B	4:21		0.022	0.242
8		2-B	4:12		0.017	0.186
9		3-B	4:5		0.017	0.187

Tabel 5.10. menunjukkan data dari pengujian dengan menggunakan spesimen aluminium yang sama, yang dikombinasikan dengan tiga spesimen baja yang memiliki luasan yang berbeda. Data yang dihasilkan dari pengujian tersebut, menunjukkan bahwa nilai laju korosi terbesar terdapat pada pengujian pada jarak 10 cm. Laju korosi yang dihasilkan, tidak memiliki perubahan yang signifikan terhadap perubahan luasan dari spesimen baja pada jarak yang sama. Hal ini disebabkan karena luasan anoda atau spesimen aluminium yang dipakai memiliki nilai yang konstan. Perubahan laju korosi karena adanya variasi jarak memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan perubahan luasan spesimen baja yang berperan sebagai anoda. Data pada Tabel 5.10, dapat dituliskan dalam bentuk grafik untuk yang dapat diperhatikan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 577,08 cm²

5.5.3. Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)

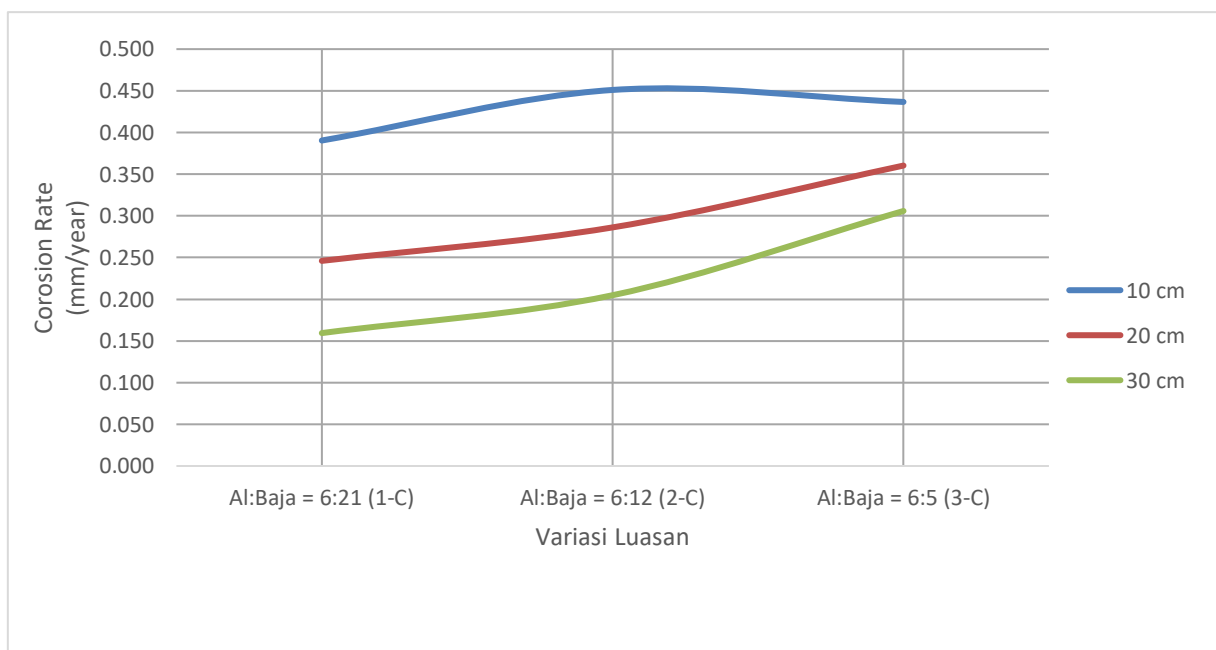
Analisa laju korosi selanjutnya dilakukan pada pengujian yang menggunakan spesimen aluminium dengan luasan 901,69 cm², dimana nilai rasio dari luasan ini adalah 6. Pada data yang disajikan pada Analisa ini, terdapat tiga variasi kombinasi luasan, yaitu 1-C yang memiliki rasio luasan sebesar 6:21, lalu variasi kombinasi luasan 2-C yang memiliki rasio 6:12, dan variasi kombinasi luasan 3-C yang memiliki rasio luasan 6:5. Analisa yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh jarak antar spesimen terhadap laju korosi yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada tiga jarak yang berbeda yaitu, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, lalu di analisa bagaimana kecenderungan laju korosi yang dihasilkan. Data yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-C	6:21	901.69	0.036	0.390
2		2-C	6:12		0.041	0.451
3		3-C	6:5		0.040	0.437
4	20	1-C	6:21		0.023	0.246
5		2-C	6:12		0.026	0.286
6		3-C	6:5		0.033	0.360

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
7	30	1-C	6:21	901.69	0.015	0.159
8		2-C	6:12		0.019	0.205
9		3-C	6:5		0.028	0.306

Dari Tabel 5.11, dapat diketahui bahwa perubahan luasan dari baja memiliki pengaruh pada perubahan laju korosi yang dihasilkan, namun pengaruh tersebut cenderung tidak signifikan, dapat dilihat bahwa laju korosi yang dihasilkan dari tiga variasi kombinasi luasan tersebut memiliki selisih yang sangat kecil pada jarak yang sama. Hal tersebut disebabkan karena luasan aluminium yang berperan sebagai anoda pada rangkaian percobaan ini memiliki nilai yang konstan. Laju korosi terbesar pada rangkaian percobaan ini terdapat pada pengujian dengan jarak 10 cm antar spesimen, dan laju korosi terendah terdapat pada pengujian dengan jarak 30 cm antar spesimen. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa jarak antara spesimen aluminium dengan spesimen baja memiliki pengaruh yang lebih besar pada laju korosi yang dihasilkan pada rangkaian pengujian ini dibandingkan dengan perubahan luasan baja atau katoda yang dihadapkan pada luasan anoda yang memiliki nilai konstan. Dari Tabel 5.11, dapat dibuat sebuah grafik yang menjelaskan data tersebut, grafik tersebut dapat diperhatikan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada luasan aluminium tetap sebesar 901,69 cm²

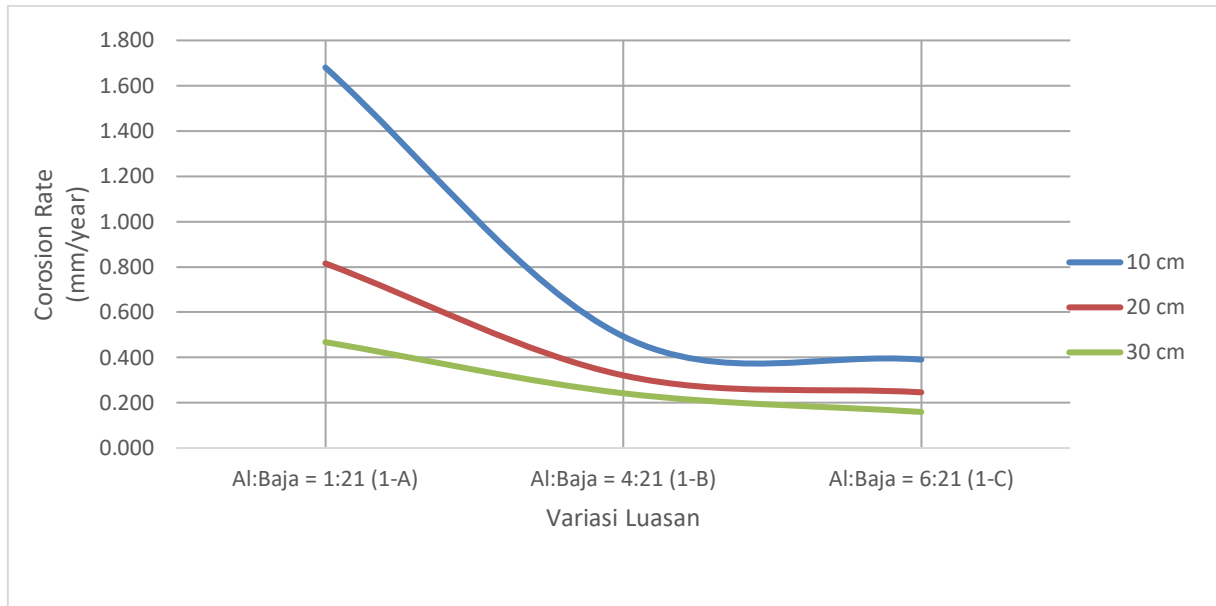
5.5.4. Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)

Luasan dari anoda memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap laju korosi yang dihasilkan pada pengujian laju korosi ini. Analisa ini dilakukan dengan meninjau laju korosi yang dihasilkan pada luasan baja yang konstan sebesar 3019,4 cm² terhadap beberapa variasi luasan dari spesimen aluminium. Rasio luasan yang dimiliki oleh spesimen baja ini sebesar 21, sedangkan spesimen aluminium yang digunakan memiliki rasio luasan sebesar 1, 4 dan 6. Sehingga, dari semua spesimen tersebut didapatkan tiga variasi kombinasi luasan yaitu 1:21, 4:21 dan 6:21. Ketiga kombinasi luasan tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana variabel pengujian memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang akan dihasilkan. Data pengujian dari variasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.12

Tabel 5.12 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-A	1:21	144.27	0.154	1.681
2		1-B	4:21	577.08	0.045	0.493
3		1-C	6:21	901.69	0.036	0.390
4	20	1-A	1:21	144.27	0.075	0.815
5		1-B	4:21	577.08	0.029	0.321
6		1-C	6:21	901.69	0.023	0.246
7	30	1-A	1:21	144.27	0.043	0.468
8		1-B	4:21	577.08	0.022	0.242
9		1-C	6:21	901.69	0.015	0.159

Data pada Tabel 5.12, menjelaskan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada variasi 1-A, dimana luas permukaan dari spesimen aluminium yang digunakan memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan dua variasi luasan aluminium lainnya. Pada jarak yang sama, terjadi penurunan yang cukup signifikan karena adanya perubahan luasan aluminium yang berperan sebagai anoda. Apabila luas permukaan dari anoda memiliki nilai yang besar, arus galvanis yang dihasilkan pun semakin besar, namun laju korosi yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena laju korosi atau arus korosi merupakan fungsi perbandingan dari arus galvanis dengan luas permukaan anoda, sehingga semakin besar luasan anoda, maka akan semakin besar pula nilai pembagiannya. Grafik dari Tabel 5.12 dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 3019,4 cm²

5.5.5. Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)

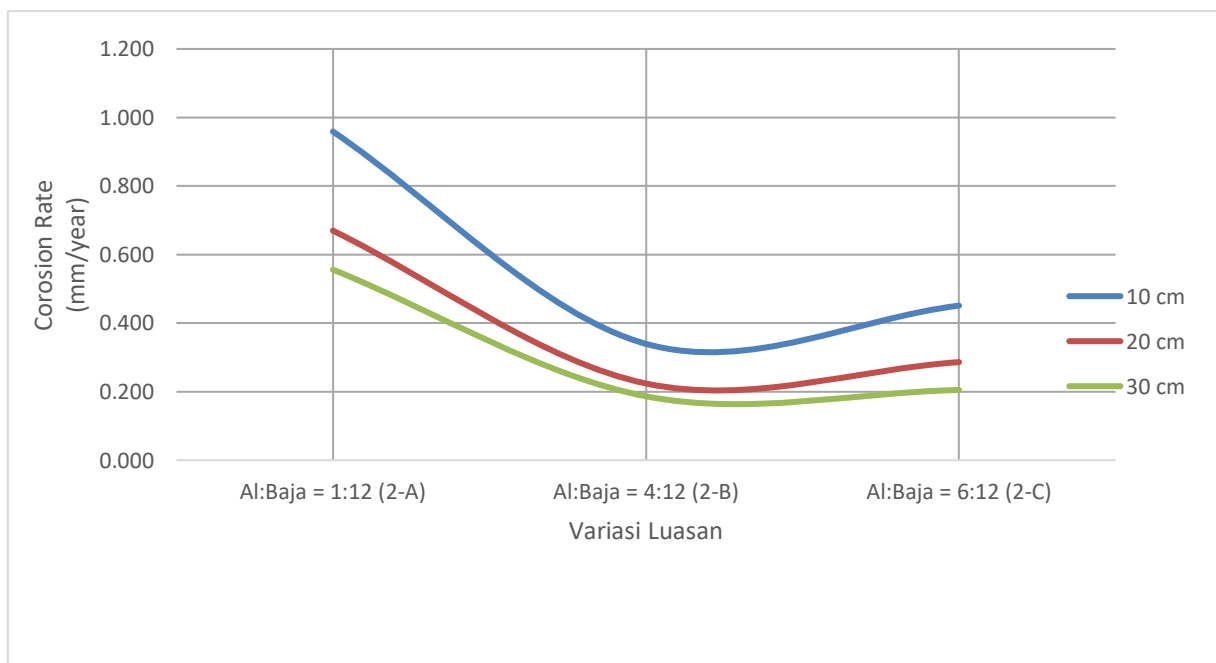
Analisa berikutnya, menggunakan data pengujian laju korosi dengan spesimen baja yang memiliki luas permukaan sebesar 1698,41 cm², dimana nilai dari rasio luasan pada spesimen ini adalah 12. Pengujian dilakukan dengan cara menghadapkan spesimen in dengan tiga variasi luasan aluminium yang memiliki nilai rasio 1, 4 dan 6, sehingga dari variasi luasan tersebut didapatkan tiga variasi kombinasi luasan untuk pengujian yaitu 1:12, 4:12 dan 6:12. Ketiga kombinasi luasan tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana variabel pengujian memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang akan dihasilkan. Data pengujian dari variasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 1698,41 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	2-A	1:12	144.27	0.088	0.959
2		2-B	4:12	577.08	0.031	0.339
3		2-C	6:12	901.69	0.041	0.451
4	20	2-A	1:12	144.27	0.061	0.670
5		2-B	4:12	577.08	0.020	0.224
6		2-C	6:12	901.69	0.026	0.286

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
7	30	2-A	1:12	144.27	0.051	0.556
8		2-B	4:12	577.08	0.017	0.186
9		2-C	6:12	901.69	0.019	0.205

Data pada Tabel 5.13, menjelaskan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada variasi 2-A, dimana luas permukaan dari spesimen aluminium yang digunakan memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan dua variasi luasan aluminium lainnya. Pada jarak yang sama, terjadi penurunan yang cukup signifikan karena adanya perubahan luasan aluminium yang berperan sebagai anoda. Apabila luas permukaan dari anoda memiliki nilai yang besar, arus galvanis yang dihasilkan pun semakin besar, namun laju korosi yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena laju korosi atau arus korosi merupakan fungsi perbandingan dari arus galvanis dengan luas permukaan anoda, sehingga semakin besar luasan anoda, maka akan semakin besar pula nilai pembagiannya. Data pada Tabel 5.13, dapat dituliskan dalam bentuk grafik untuk memudahkan pembacaan data pengujian. Grafik tersebut dapat diperhatikan pada Gambar 5.11



Gambar 5.11 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 1698,41 cm²

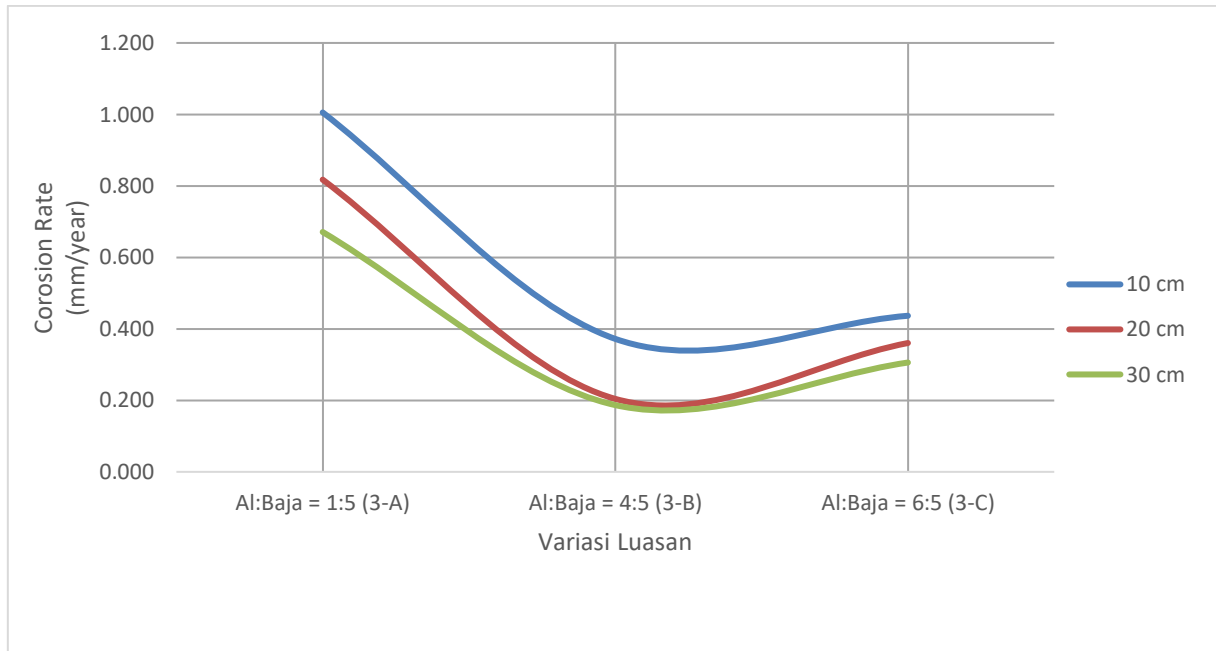
5.5.6. Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (754,85 cm²)

Luasan dari anoda memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap laju korosi yang dihasilkan pada pengujian laju korosi ini. Analisa ini dilakukan dengan meninjau laju korosi yang dihasilkan pada luasan baja yang konstan sebesar 754,85 cm² terhadap beberapa variasi luasan dari spesimen aluminium. Rasio luasan yang dimiliki oleh spesimen baja ini sebesar 5, sedangkan spesimen aluminium yang digunakan memiliki rasio luasan sebesar 1, 4 dan 6. Sehingga, dari semua spesimen tersebut didapatkan tiga variasi kombinasi luasan yaitu 1:5, 4:5 dan 6:5. Ketiga kombinasi luasan tersebut diuji pada tiga jarak yang berbeda untuk mengetahui bagaimana variabel pengujian memiliki pengaruh terhadap laju korosi yang akan dihasilkan. Data pengujian dari variasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Data perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm²

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	3-A	1:5	144.27	0.092	1.005
2		3-B	4:5	577.08	0.034	0.372
3		3-C	6:5	901.69	0.040	0.437
4	20	3-A	1:5	144.27	0.075	0.818
5		3-B	4:5	577.08	0.019	0.204
6		3-C	6:5	901.69	0.033	0.360
7	30	3-A	1:5	144.27	0.061	0.671
8		3-B	4:5	577.08	0.017	0.187
9		3-C	6:5	901.69	0.028	0.306

Data pada Tabel 5.14, menjelaskan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada variasi 3-A, dimana luas permukaan dari spesimen aluminium yang digunakan memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan dua variasi luasan aluminium lainnya. Pada jarak yang sama, terjadi penurunan yang cukup signifikan karena adanya perubahan luasan aluminium yang berperan sebagai anoda. Apabila luas permukaan dari anoda memiliki nilai yang besar, arus galvanis yang dihasilkan pun semakin besar, namun laju korosi yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena laju korosi atau arus korosi merupakan fungsi perbandingan dari arus galvanis dengan luas permukaan anoda, sehingga semakin besar luasan anoda, maka akan semakin besar pula nilai pembagiannya. Grafik dari Tabel 5.14 dapat dilihat pada Gambar 5.12



Gambar 5.12 Grafik perubahan laju korosi terhadap rasio luasan pada variasi luasan baja tetap sebesar 754,85 cm²

5.6. Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Rasio Luasan

Analisa laju korosi dilakukan dengan cara meninjau variabel-variabel pendukung pengujian. Variabel yang digunakan pada pengujian ini adalah variasi jarak dan variasi luasan dari spesimen aluminium dan spesimen baja. Analisa dilakukan untuk mengetahui bagaimana variabel tersebut memiliki pengaruh pada laju korosi yang akan dihasilkan. Pada Analisa ini, variabel yang ditinjau adalah variasi luasan dari spesimen baja dan aluminium. Tinjauan pertama dilakukan pada pengaruh perubahan luasan spesimen baja yang berperan sebagai katoda terhadap luasan aluminium atau anoda yang konstan. Data perubahan laju korosi ini dapat dilihat pada Tabel 5.15

Tabel 5.15 Data perubahan laju korosi terhadap perubahan luasan baja

No.	Jarak (cm)	Variasi	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-A	1:21	144,27	1.681	-43%	5%
2		2-A	1:12		0.959		
3		3-A	1:5		1.005		
4	20	1-A	1:21		0.815	-18%	22%
5		2-A	1:12		0.670		
6		3-A	1:5		0.818		
7	30	1-A	1:21		0.468	19%	21%
8		2-A	1:12		0.556		
9		3-A	1:5		0.671		

Data pada Tabel 5.15, menunjukkan perubahan laju korosi yang tidak konsisten terhadap perubahan luasan katoda atau baja. Dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dan penurunan yang tidak konsisten pada laju korosi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena luasan anoda yang digunakan mempunyai nilai yang konstan atau tetap. Tinjauan selanjutnya, dilakukan pada pengaruh perubahan luas permukaan spesimen aluminium terhadap luasan spesimen baja yang memiliki nilai konstan. Data laju korosi ini dapat dilihat pada

Tabel 5.16 Data perubahan laju korosi terhadap perubahan luasan aluminium

No.	Jarak (cm)	Variasi	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	$3,28 \text{ M/nd} \times \text{Icorr}$ (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-A	1:21	144.27	1.681	-71%	
2		1-B	4:21	577.08	0.493		
3		1-C	6:21	901.69	0.390		-21%
4	20	1-A	1:21	144.27	0.815	-61%	
5		1-B	4:21	577.08	0.321		
6		1-C	6:21	901.69	0.246		-23%
7	30	1-A	1:21	144.27	0.468	-48%	
8		1-B	4:21	577.08	0.242		
9		1-C	6:21	901.69	0.159		-34%

Pada Tabel 5.16, data laju korosi yang disajikan memiliki perubahan yang konsisten. Laju korosi yang dihasilkan pada pengujian tersebut, semakin menurun seiring dengan bertambahnya luas permukaan dari aluminium atau anoda pada jarak yang sama. Dapat dilihat pada pengujian dengan variasi 1-A, luas aluminium yang digunakan memiliki rasio luasan 1 dan laju korosi yang dihasilkan sebesar 1,681 mmpy di jarak 10 cm. Sedangkan, pada variasi 1-B, dimana luas aluminium yang digunakan memiliki rasio luasan 4 dan luasan baja yang digunakan sama, laju korosi yang dihasilkan sebesar 0,493 mmpy. Laju korosi tersebut mengalami penurunan sebesar 71%. Kemudian, penurunan laju korosi terjadi kembali ketika luasan spesimen aluminium diperbesar hingga memiliki nilai rasio sebesar 6. Penurunan yang terjadi sebesar 21% dibandingkan dengan pengujian pada spesimen aluminium dengan rasio luasan 4. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar luasan aluminium atau anoda, laju korosi yang dihasilkan akan semakin menurun.

5.7. Analisa Jarak Optimal

Hasil yang diperoleh dari pengujian pada penelitian ini menunjukkan adanya tren atau kecenderungan perubahan nilai laju korosi terhadap bertambahnya jarak. Selanjutnya, analisa dilakukan untuk mendapatkan jarak optimal dari setiap variasi luasan. Jarak optimal yang

dimaksud di sini adalah jarak dimana laju korosi tidak mempunyai nilai atau nilai yang dihasilkan sama dengan 0 mmpy. Perhitungan jarak optimal ini dilakukan dengan cara mencari gradien atau *slope* dari grafik laju korosi pada setiap luas permukaan, dengan anggapan bahwa grafik yang dihasilkan adalah grafik linear. Perhitungan gradien dari grafik dapat diformulasikan seperti:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Dimana m = Gradien atau *slope* dari grafik

y_1 = Nilai sumbu y pada titik pertama ; y_2 = Nilai sumbu y pada titik kedua
(Laju Korosi)

x_1 = Nilai sumbu x pada titik pertama ; x_2 = Nilai sumbu x pada titik kedua
(Jarak)

Setelah gradien dari grafik didapatkan, langkah selanjutnya adalah menentukan persamaan dari grafik tersebut dalam bentuk $Y = m(X) + C$, dimana nilai c adalah konstanta yang didapatkan dari substitusi nilai yang telah diketahui sebelumnya, sehingga dapat diketahui jarak optimal (sumbu x) ketika laju korosi yang dihasilkan tidak mempunyai nilai ($y=0$). Contoh dari perhitungan jarak optimal ini dapat dilihat pada pengujian yang dilakukan menggunakan variasi luasan spesimen aluminium 144,27 cm² dan luasan spesimen baja 3019,4 cm². Dari pengujian ini, didapatkan data laju korosi pada tiga variasi jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm, data tersebut dapat diperhatikan pada Tabel 5.17. Selanjutnya, dari data tersebut dibuat dalam bentuk grafik laju korosi terhadap perubahan jarak, dimana nilai dari laju korosi yang dihasilkan dari pengujian diwakilkan dengan sumbu Y dan variasi jarak yang digunakan pada pengujian diwakilkan dengan sumbu X. Dari grafik tersebut nantinya dapat ditemukan gradien atau *slope*, sehingga dapat diketahui persamaan garis dari grafik tersebut dalam bentuk $Y = m(X) + C$.

Tabel 5.17 Data laju korosi pada variasi luasan 1-A

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	Σ I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × Σ I _{corr} (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-A	10	22.19	144.27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681
2		20	10.77		0.075					0.815
3		30	6.18		0.043					0.468
$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$										-0,06064

Dari Tabel 5.17, diketahui bahwa *slope* atau gradien yang dimiliki pada data tersebut sebesar -0,06064. Nilai *slope* tersebut didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus gradien, dimana nilai Y_2 yang digunakan merupakan nilai laju korosi pada jarak 30 cm dan nilai Y_1 merupakan nilai laju korosi pada jarak 10 cm, sedangkan nilai X_2 adalah nilai jarak antar spesimen pada pengujian 30 cm dan X_1 menggunakan nilai jarak 10 cm. Perhitungan *slope* pada grafik tersebut menggunakan anggapan bahwa grafik yang dihasilkan bersifat linier. Dari nilai *slope* tersebut didapatkan persamaan garis $Y = -0.06064(X) + 2.287$. Jarak optimal yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan garis tersebut, dengan cara memasukkan nilai 0 pada laju korosi, yang diwakilkan oleh variabel Y, sehingga ditemukan jarak optimal (X) dimana kedua spesimen tidak mengalami reaksi korosi. Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa jarak optimal yang dibutuhkan sebesar 37,72 cm atau mendekati 38 cm. Perhitungan jarak optimal pada variasi luasan lainnya dapat dilakukan menggunakan cara yang sama. Perhitungan jarak optimal pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Perhitungan Jarak Optimal

No.	Variasi	Rasio Luasan (Al:Bj)	Jarak (cm)	Corrosion Rate (mm y ⁻¹)	m (y ₂ -y ₁) / (x ₂ -x ₁)	Persamaan Garis Y=m(X)+C	Jarak Optimum (cm) Nilai X, apabila Y = 0
1	1-A	1:21	10	1.681	-0.06064	Y = -0.06064(X)+2.287	37.72
2			20	0.815			
3			30	0.468			
4	1-B	4:21	10	0.493	-0.01255	Y = -0.01255(X)+0.618	49.26
5			20	0.321			
6			30	0.242			
7	1-C	6:21	10	0.390	-0.01155	Y = -0.01155(X)+0.506	43.81
8			20	0.246			
9			30	0.159			
10	2-A	1:12	10	0.959	-0.02015	Y = -0.02015 (X)+1.160	57.60
11			20	0.670			
12			30	0.556			
13	2-B	4:12	10	0.339	-0.00765	Y = -0.00765(X)+0.416	54.36
14			20	0.224			
15			30	0.186			
16	2-C	6:12	10	0.451	-0.01231	Y = -0.01231(X)+0.574	46.64
17			20	0.286			
18			30	0.205			
19	3-A	1:5	10	1.005	-0.01672	Y = -0.01672(X)+1.173	70.14
20			20	0.818			
21			30	0.671			

No.	Variasi	Rasio Luasan (Al:Bj)	Jarak (cm)	Corrosion Rate (mm y ⁻¹)	m (y ₂ -y ₁) / (x ₂ -x ₁)	Persamaan Garis Y=m(X)+C	Jarak Optimum (cm) Nilai X, apabila Y = 0
22	3-B	4:5	10	0.372	-0.00926	Y = -0.00926(X)+0.465	50.16
23			20	0.204			
24			30	0.187			
25	3-C	6:5	10	0.437	-0.00654	Y = -0.00654(X)+0.502	76.76
26			20	0.360			
27			30	0.306			

Dari perhitungan pada tabel Tabel 5.18, dapat diketahui jarak optimal paling rendah yang dibutuhkan agar laju korosi yang dihasilkan sama dengan 0 mmpy terdapat pada pengujian variasi 1-C, yaitu sebesar 37,72 atau 38 cm, dimana spesimen yang digunakan memiliki luas permukaan sebesar 144,27 cm² untuk aluminium, dan untuk spesimen baja memiliki luasan sebesar 3019,4 cm² dengan rasio dari spesimen aluminium dibanding dengan luasan baja sebesar 1:21. Sedangkan, jarak optimal paling jauh terdapat pada pengujian dengan variasi luasan 3-C, dimana luasan spesimen aluminium yang digunakan sebesar 901,69 cm² dan spesimen baja yang digunakan sebesar 754,85 cm² dengan rasio luasan aluminium banding baja sebesar 6:5. Pada variasi luasan lainnya, jarak optimal yang dibutuhkan berkisar antara 40-50 cm antar spesimen.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Pada pengujian ini dapat diketahui bahwa laju korosi yang dihasilkan sangat bergantung pada *exposure area* dan jarak antar spesimen. Namun, pengaruh terbesar terhadap perubahan laju korosi disebabkan oleh perubahan jarak antar spesimen. Pada pengujian ini tingkat penurunan tertinggi terjadi pada pengujian dengan rasio luasan aluminium terhadap baja sebesar 1:21. Pada pengujian tersebut terjadi penurunan sebesar 51% terhadap perubahan jarak sebesar 10 cm. Sedangkan, tingkat penurunan terendah terjadi pada pengujian dengan variasi 3-B yang memiliki rasio luasan sebesar 4:5. Penurunan laju korosi yang terjadi pada pengujian tersebut sebesar 9% dengan perubahan jarak sebesar 10 cm. Pada variasi luasan lainnya, perubahan laju korosi memiliki *range* sebesar 15%-40% setiap perubahan jarak antar spesimen sebesar 10 cm.
2. Pada analisa dari data yang dihasilkan menggunakan luasan baja tetap dengan nilai rasio sebesar 21 dikombinasikan dengan variasi luasan aluminium dengan nilai rasio luasan sebesar 1, 4 dan 6. Arus galvanik yang dihasilkan mengalami peningkatan cukup signifikan, pada pengujian aluminium dengan rasio 1 (1-A) arus yang dihasilkan sebesar 10,77 mA pada jarak 20 cm, lalu pada pengujian menggunakan aluminium dengan rasio 4 (1-B), arus yang dihasilkan sebesar 16,94 mA, dan pada pengujian menggunakan aluminium dengan rasio 6 (1-C), arus yang dihasilkan sebesar 20,31 mA pada jarak yang sama. Pada variasi pengujian yang lain, juga memiliki karakteristik yang sama. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan terhadap *exposure area*. Semakin besar *exposure area*, semakin besar arus galvanik yang dihasilkan, namun peningkatan tersebut berbanding terbalik dengan perubahan laju korosi
3. Laju korosi berbanding terbalik dengan jarak antar spesimen. Semakin jauh jaraknya, laju korosi yang dihasilkan semakin kecil. Pada studi kasus menggunakan spesimen baja dengan luasan 3019,4 cm² dan spesimen aluminium dengan luasan 144,27 cm²,

jarak yang dibutuhkan agar tidak terjadi korosi sama sekali adalah 38 cm. Data tersebut didapatkan dari persamaan garis $Y = -0.06064(X)+2.287$, yang didapatkan dari perhitungan *slope* dari data yang didapatkan. Untuk variasi luasan lain, jarak optimal yang dibutuhkan, diperoleh dari persamaan garis yang sesuai dengan *slope* atau gradien dari data perbandingan laju korosi terhadap jarak yang dihasilkan dari pengujian.

6.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, dibutuhkan durasi yang lebih lama untuk setiap rangkaian percobaannya. Selain itu, dibutuhkan perhatian yang lebih pada saat pengukuran arus galvanik menggunakan *amperemeter*. Karena arus yang dihasilkan tidak selalu stabil.
2. Pengujian lebih lanjut dapat dilakukan untuk meninjau pengaruh reaksi galvanik yang terjadi pada kapal aluminium ketika bersandar pada dermaga yang mempunyai komponen-komponen yang terbuat dari baja.
3. Pada saat kapal aluminium dan baja bersandar pada lingkungan air laut yang sama, luas permukaan basah dari kapal aluminium dan jarak antara kapal baja dan aluminium harus diperhatikan. Pengukuran korosi secara *real-time* dapat dilakukan apabila memang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (1998). *ASTM G71-81 Standard Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes*.
- ASTM. (2001). *Standard Test Methods for Measurement of Dry Film Thickness of Protective Coating Systems by Destructive Means*. Annual Book of ASTM Standards.
- BAGOTSKY, V. S., & Maxwell, J. C. (2005). Fundamentals of Electrochemistry-Second Edition. In *John Wiley & Sons, INC., Publication*. <https://doi.org/10.1385/1-59259-877-3:003>
- Bard, A. J., Parson, R., & Jordan, J. (1985). *Standard Potentials in Aqueous Solutions*. Marcel Dekker, New York.
- Broomfield, J. P. (2007). *Corrosion of Steel in Concrete Understanding, Investigation and Repair* (2nd Editio; T. & Francis, Ed.). Taylor & Francis is an imprint of the Taylor & Francis Group.
- Davis, J. R. (1999). *CORROSION OF ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOYS* (D. J.R., Ed.). ASM International.
- Davis, J. R. (2013). Corrosion: understanding the basics. In *Choice Reviews Online* (Vol. 37). <https://doi.org/10.5860/choice.37-6294>
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering Mars G. Fontana.Pdf* (p. 576). p. 576.
- Lower, S. K. (2012). Chemical reactions at an electrode, galvanic and electrolytic cells. *A Chem Reference Text*, 3–37. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1529-9430\(12\)01329-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1529-9430(12)01329-0)
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2001). *Ship Resistance and Propulsion* (A. F. Molland, D. A. Hudson, & S. R. Turnock, Eds.). Cambridge University Press 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA.
- O'Brien, M. (1844). *A Treatise on Plane Co-Ordinate Geometry or the Application of the Method of Co-Ordinates in the Solution of Problems in Plane Geometry* (E. Deightons, Ed.). Cambridge: England: Deightons.
- Patterson, C. J., & Ridley, J. D. (2014). *Reeds Marine Engineering & Technology Vol.13: Ship Stability, Powering and Resistance*. ADLARD COLES NAUTICAL, BLOOMSBURY.
- Perez, N. (2004). *Electrochemistry and Corrosion Science* (N. Perez, Ed.). KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.

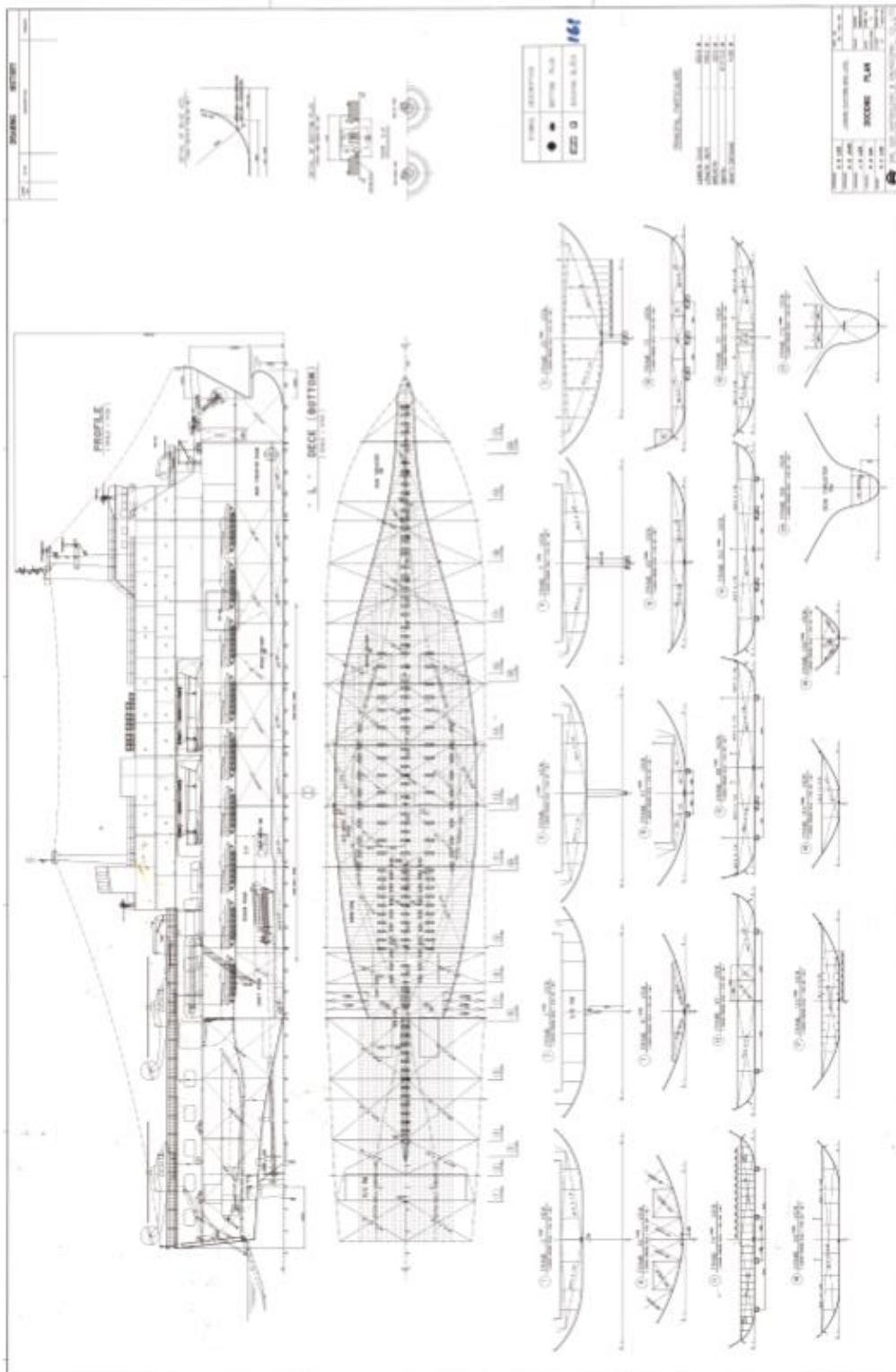
- Pitzer, E. W. (2014). *Introductory Chemistry* (1st Editio; Edward W. Pitzer, Ed.). Edward W. Pitzer & bookbon.com.
- Roberge, P. (2007). *Corrosion Inspection and Monitoring*.
- Roberge, P. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice* (1st Editio; P. R. Roberge, Ed.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Supomo, H. (1999). *Diktat Kuliah Korosi*. SURABAYA: FTK ITS.
- Vargel, C. (2004). Corrosion of Aluminium. In *Corrosion of Aluminium*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044495-6.X5000-9>

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

DATA TEKNIS DAN HASIL SURVEY KAPAL LPD DAN FPB

Data Teknis Kapal LPD



Jarak antar Kapal



Pengukuran Jarak Kapal



LAMPIRAN B PERSIAPAN PENGUJIAN

Meratakan Sisi Pelat Baja



Spesimen Pelat Baja



Persiapan Penguat Aquarium



Penguatan Aquarium





Aquarium yang telah ditambah penguat



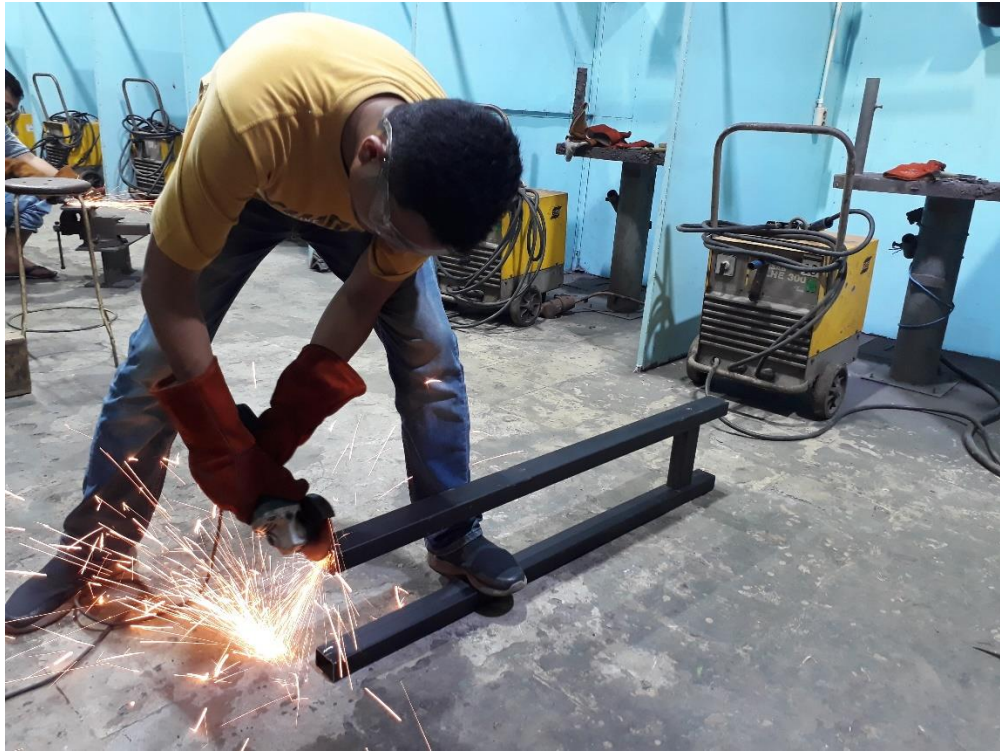
Pembuatan Gantungan Pelat

- Pemotongan pipa untuk gantungan



- Penghalusan sisi pipa dengan gerinda





Persiapan Media Pengujian

- Pengambilan air laut



- Pengisian Aquarium



Spesimen yang digunakan

- Spesimen Baja



- Spesimen Aluminium



Posisi Pengantungan Spesimen



Set-Up Pengujian



Pengambilan Data Pengujian

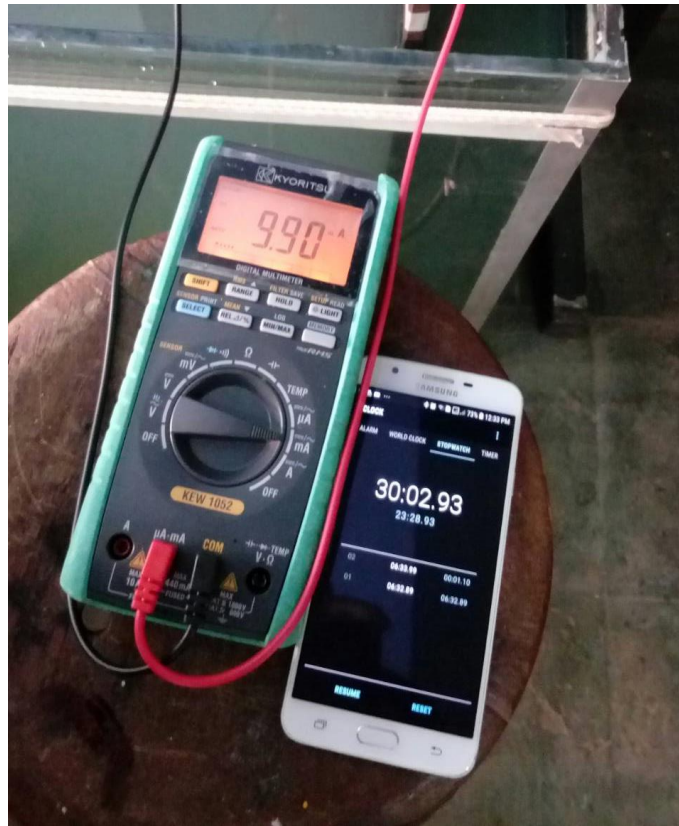
- Pengambilan data di menit ke 10



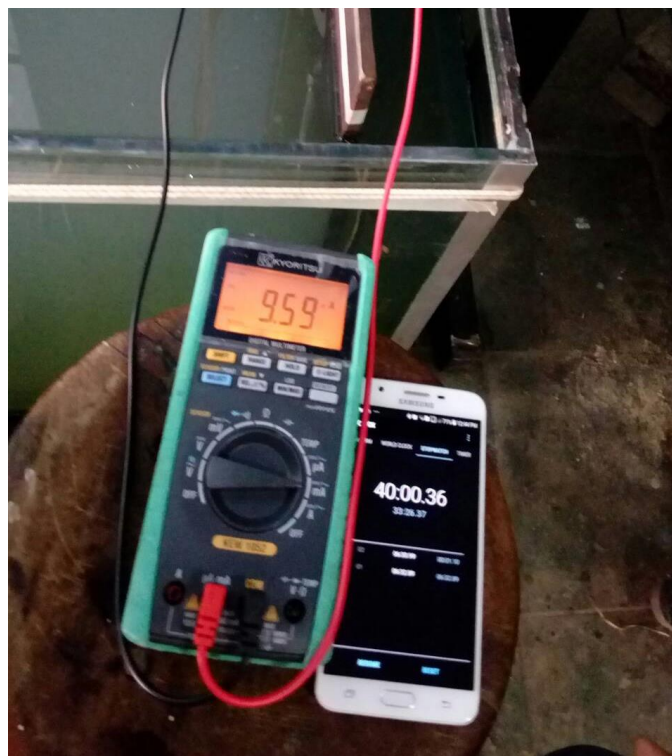
- Pengambilan data di menit ke 20



- Pengambilan data di menit ke 30



- Pengambilan data di menit ke 40



- Pengambilan data di menit ke 50



- Pengambilan data di menit ke 60



LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Hasil Pengujian pada Variasi 1-A

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	25.3	22.53	20.57	19.12	17.98	17.09	20.43
10 (2)	10.3	10.44	10.26	10.27	10.22	10.21	10.28
10 (3)	27.42	25.64	24.26	23.03	22.11	21.27	23.96

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	12.77	12.6	12.35	12.15	11.95	11.82	12.27
20 (2)	9.47	9.41	9.33	9.23	9.09	9.03	9.26
20 (3)	18.92	18.84	18.7	18.63	18.4	18.28	18.63

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	10.61	10.56	10.39	10.25	10.17	10.1	10.35
30 (2)	8.1	8.34	8.27	8.19	8.16	8.08	8.19
30 (3)	16.4	15.5	15.43	15.43	15.33	15.29	15.56

Hasil Pengujian pada Variasi 1-B

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	34.79	31.99	29.45	17.69	26.32	25.53	27.63
10 (2)	28.52	25.07	22.01	21.05	20.33	19.7	22.78
10 (3)	12.3	11.76	11.54	11.52	11.77	12.07	11.83

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	24.37	24.02	23.24	22.86	22.52	22.46	23.25
20 (2)	16.14	16	15.72	15.53	15.29	15.11	15.63
20 (3)	12.02	11.88	11.75	11.89	12.01	12.16	11.95
Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	21.71	21.65	21.33	21.24	21.21	21.14	21.38
30 (2)	13.48	13.39	13.32	13.36	13.42	13.5	13.41
30 (3)	11.92	12.1	12.15	12.19	12.25	12.22	12.14

Hasil Pengujian pada Variasi 1-C

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	37.44	33.94	31.35	29.76	28.62	27.42	31.42
10 (2)	37.53	35.45	32.81	31.7	30.72	29.91	33.02
10 (3)	21.8	21.63	21.45	21.4	21.54	21.55	21.56

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	19.87	20.17	20.32	20.52	20.87	21.06	20.47
20 (2)	25.35	25.13	24.93	24.6	24.43	24.16	24.77
20 (3)	19.59	19.95	20.03	20.24	20.46	20.61	20.15

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	19.65	19.72	19.79	19.95	20.05	20.07	19.87
30 (2)	21.84	21.87	22	21.96	22.08	22.02	21.96
30 (3)	18.93	19.45	19.67	19.87	19.9	19.8	19.60

Hasil Pengujian pada Variasi 2-A

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	11.52	12.5	12.68	12.44	12.06	11.9	12.18
10 (2)	7.26	7.78	7.98	7.79	7.68	7.83	7.72
10 (3)	13.8	13.88	13.19	12.87	12.78	12.34	13.14

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	7.16	7.69	7.89	8.01	8.27	8.31	7.89
20 (2)	7.01	7.07	7.21	7.3	7.29	7.48	7.23
20 (3)	11.55	11.54	11.49	11.45	11.26	11.22	11.42

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	9.2	8.39	7.88	7.73	7.77	7.83	8.13
30 (2)	6.44	6.48	6.58	6.78	6.67	6.36	6.55
30 (3)	8.25	8.04	7.99	8.2	8.28	8.5	8.21

Hasil Pengujian pada Variasi 2-B

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	14.72	15.95	16.16	16.2	16	16.34	15.90
10 (2)	7.26	7.78	7.98	7.79	7.68	7.83	7.72
10 (3)	27.39	20.05	20.46	18.7	17.13	16.08	19.97

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	14.01	14.06	13.95	13.68	13.63	13.42	13.79
20 (2)	11.94	11.3	11.01	10.91	10.87	10.77	11.13
20 (3)	11.5	11	10.59	10.32	10.07	9.72	10.53

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	12.76	12.75	12.5	12.4	12.14	12.03	12.43
30 (2)	10.79	10.68	10.45	10.41	10.42	10.35	10.52
30 (3)	7.03	6.66	6.54	6.52	6.43	6.38	6.59

Hasil Pengujian pada Variasi 2-C

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	39.79	37.92	36.18	35.22	33.96	33.2	36.05
10 (2)	42.3	40.65	37.28	37.65	36.78	35.81	38.41
10 (3)	25.49	23.46	22.46	22.05	21.45	21.15	22.68

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	20.82	21.75	23.53	24.48	22.39	21.33	22.38
20 (2)	32.17	31.49	30.84	27.83	26.46	26.35	29.19
20 (3)	21.64	19.75	18.86	18.88	18.44	18.15	19.29

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	18.25	17.18	15.61	17.64	17.56	17.46	17.28
30 (2)	27.46	25.63	24.17	24.03	22.58	22.41	24.38
30 (3)	18.72	17.78	15.9	15.61	16.24	14.95	16.53

Hasil Pengujian pada Variasi 3-A

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	33.09	31.92	30.11	29.69	29.34	29.22	30.56
10 (2)	27.86	25.45	24.9	24.68	24.31	23.87	25.18
10 (3)	37.2	34.2	33.64	33.43	33.21	33.04	34.12

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	22.28	20.16	19.36	18.6	18.46	18.29	19.53
20 (2)	19.52	18.45	17.23	17.35	17.12	16.98	17.78
20 (3)	33.68	31.52	30.21	29.99	29.52	29.31	30.71

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	16.57	16.02	15.91	14.85	14.32	14.9	15.43
30 (2)	15.95	13.42	13.45	13.23	13.15	13.03	13.71
30 (3)	25.36	23.14	23.05	22.45	22.11	21.65	22.96

Hasil Pengujian pada Variasi 3-B

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	37.52	34.21	33.48	33.21	33.14	33.03	34.10
10 (2)	24.37	24.02	23.24	22.86	22.52	22.46	23.25
10 (3)	35.84	33.74	33.62	33.24	32.65	32.42	33.59

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	30.21	28.14	28.02	27.84	27.45	27.32	28.16
20 (2)	16.14	16	15.72	15.53	15.29	15.11	15.63
20 (3)	30.45	29.97	29.48	28.78	28.56	28.2	29.24

Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	26.78	24.29	23.92	23.45	23.12	22.97	24.09
30 (2)	12.02	11.88	11.75	11.89	12.01	12.16	11.95
30 (3)	22.64	18.75	18.86	18.88	18.44	17.95	19.25

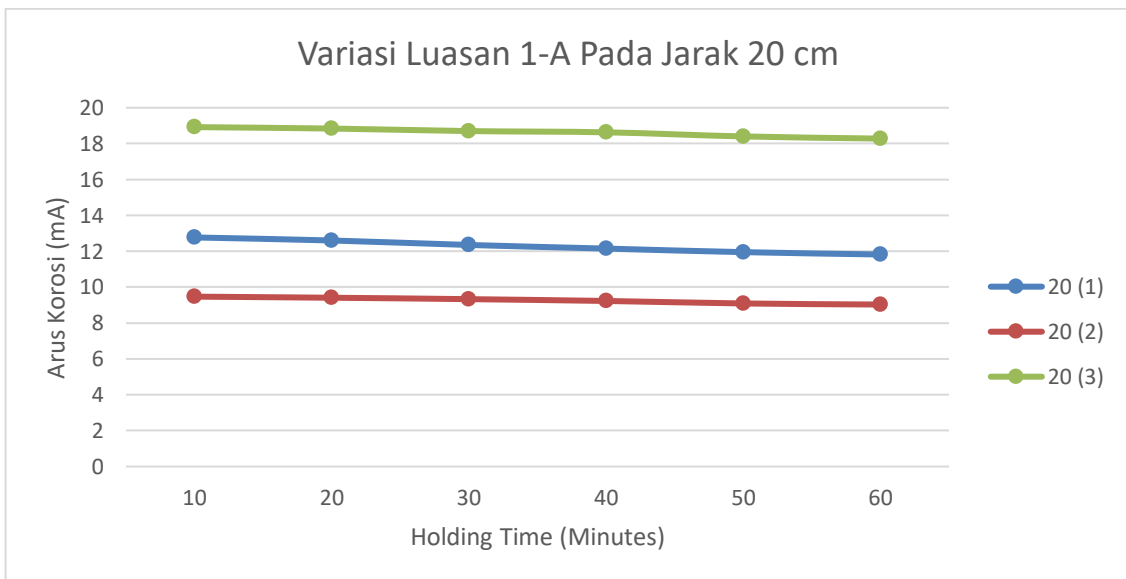
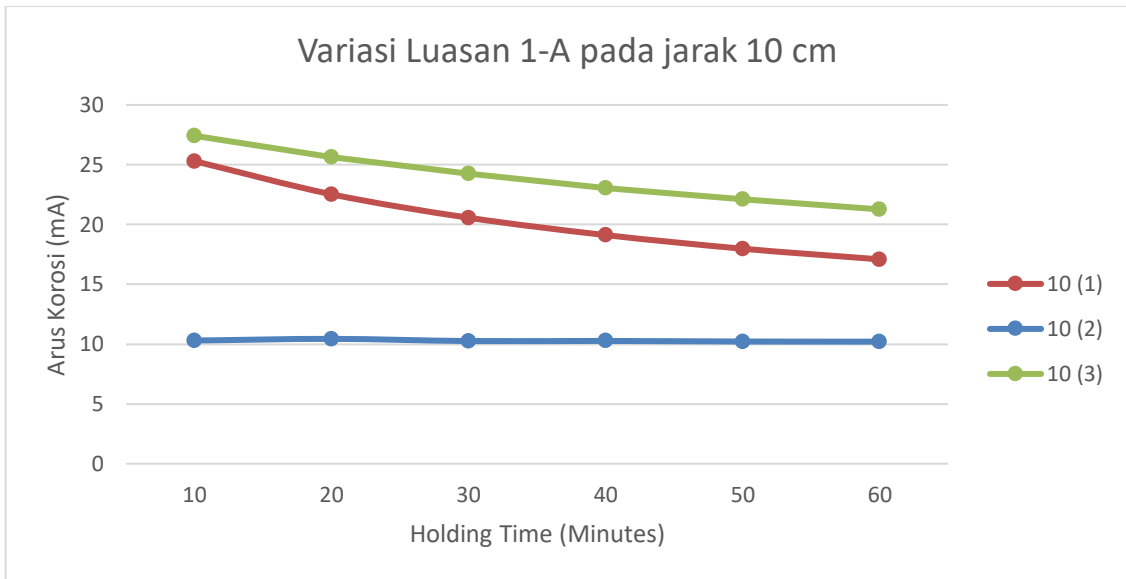
Hasil Pengujian pada Variasi 3-C

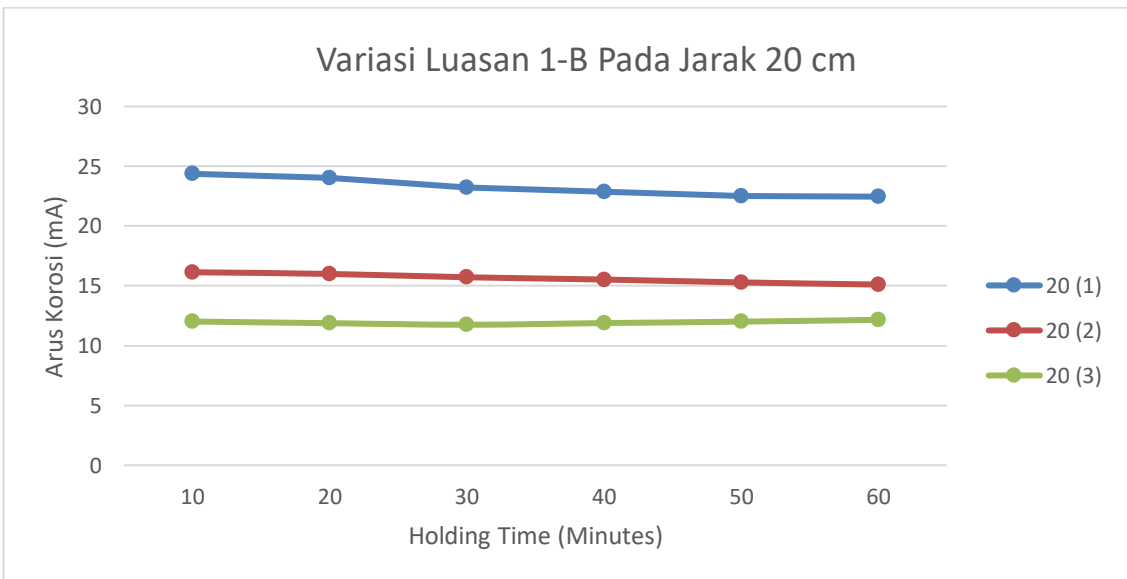
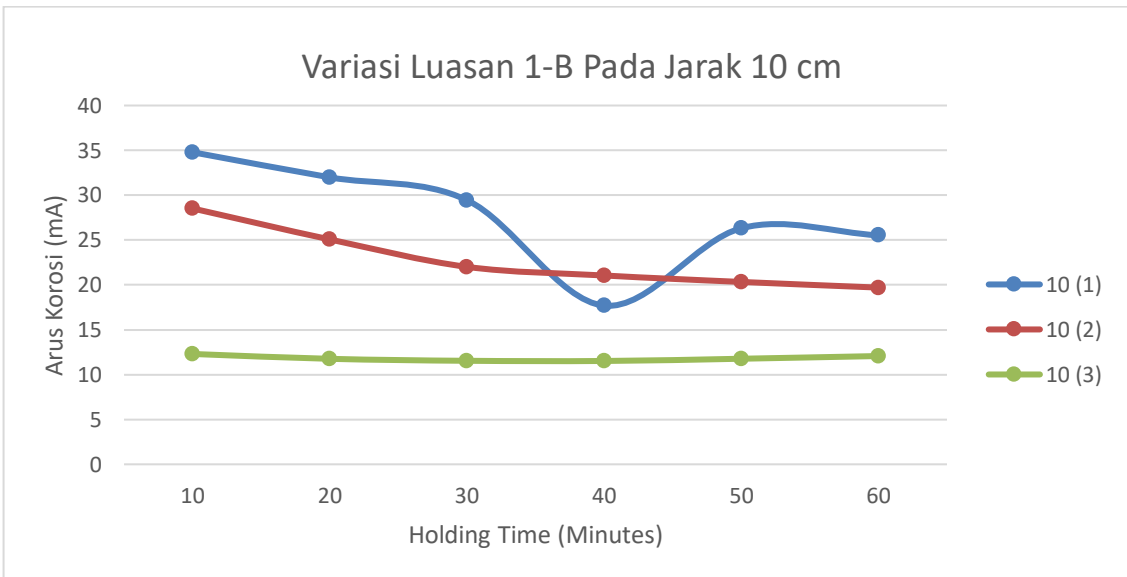
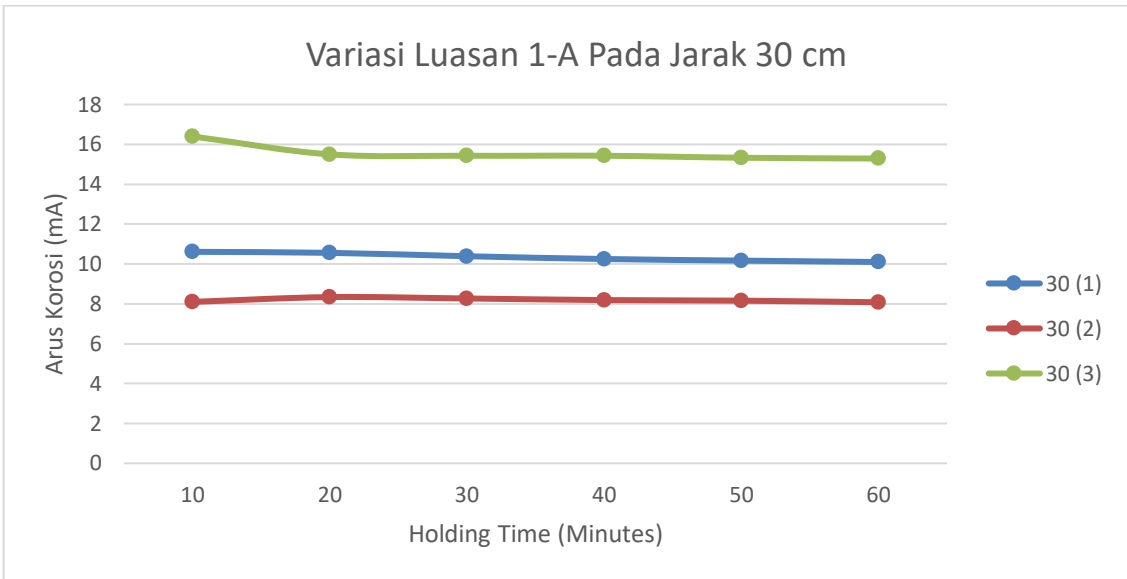
Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
10 (1)	42.20	40.98	40.78	40.42	40.19	39.84	40.74
10 (2)	35.64	33.82	33.63	33.24	32.76	32.47	33.59
10 (3)	40.53	38.68	38.37	38.21	37.76	37.36	38.49

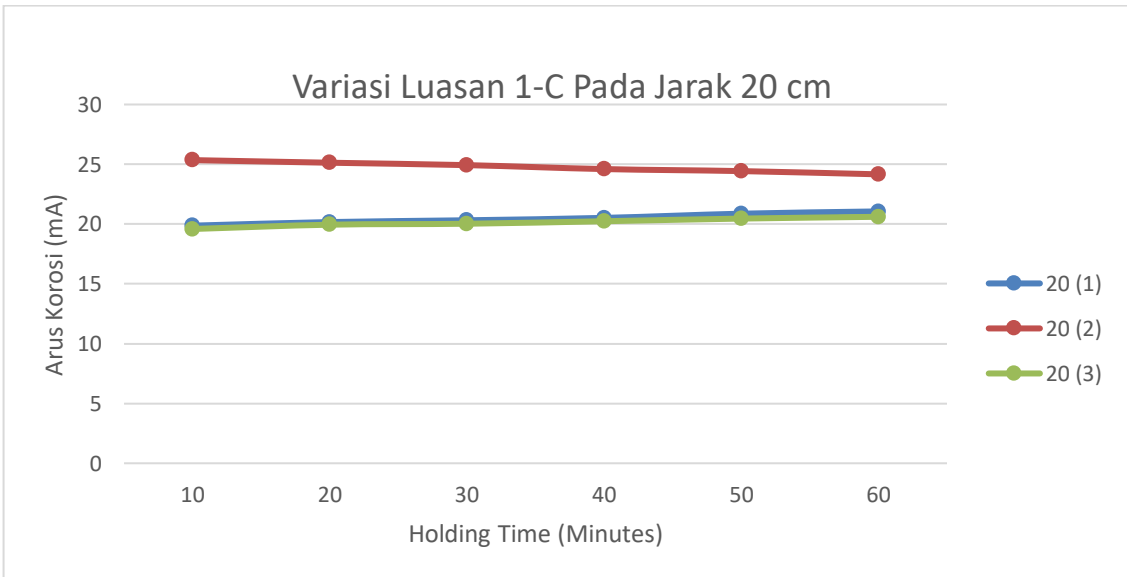
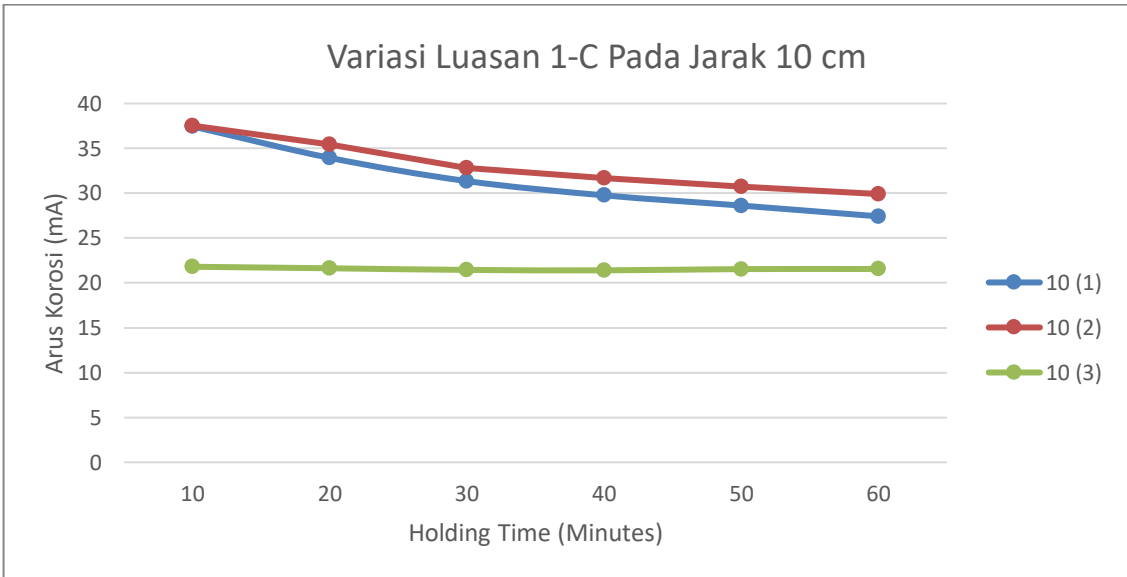
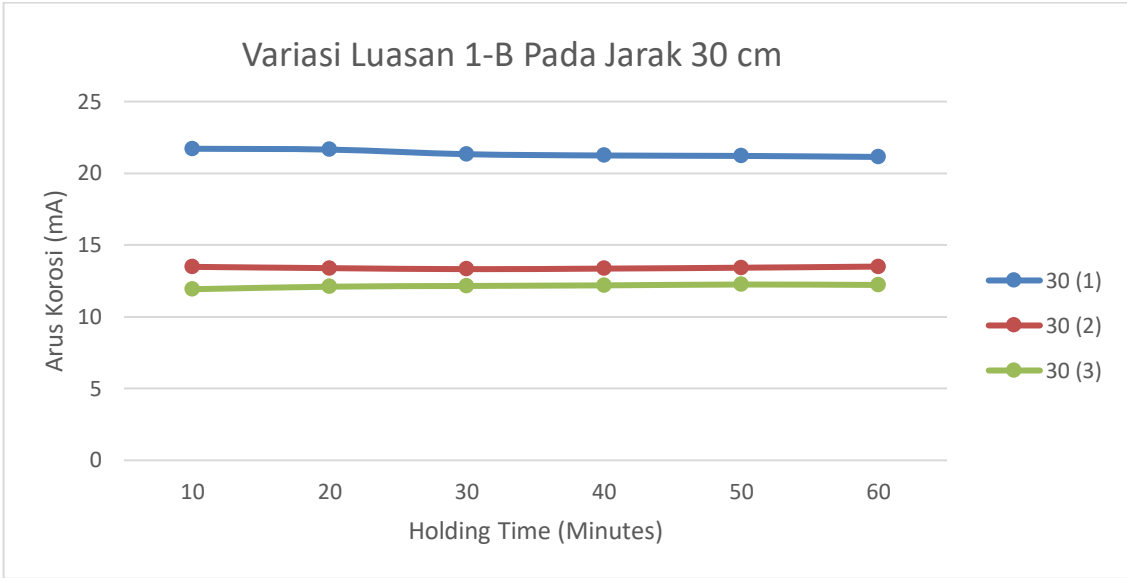
Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
20 (1)	38.67	36.45	36.24	36.06	35.78	35.43	36.44
20 (2)	30.86	30.65	28.95	28.71	28.34	27.69	29.20
20 (3)	34.55	33.65	32.18	31.98	31.52	31.46	32.56

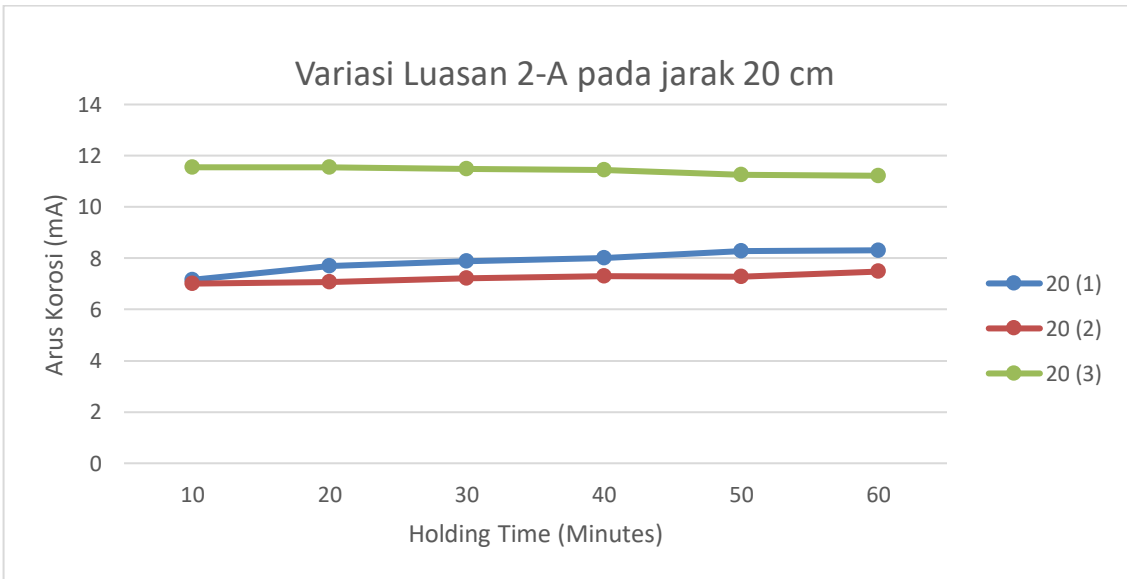
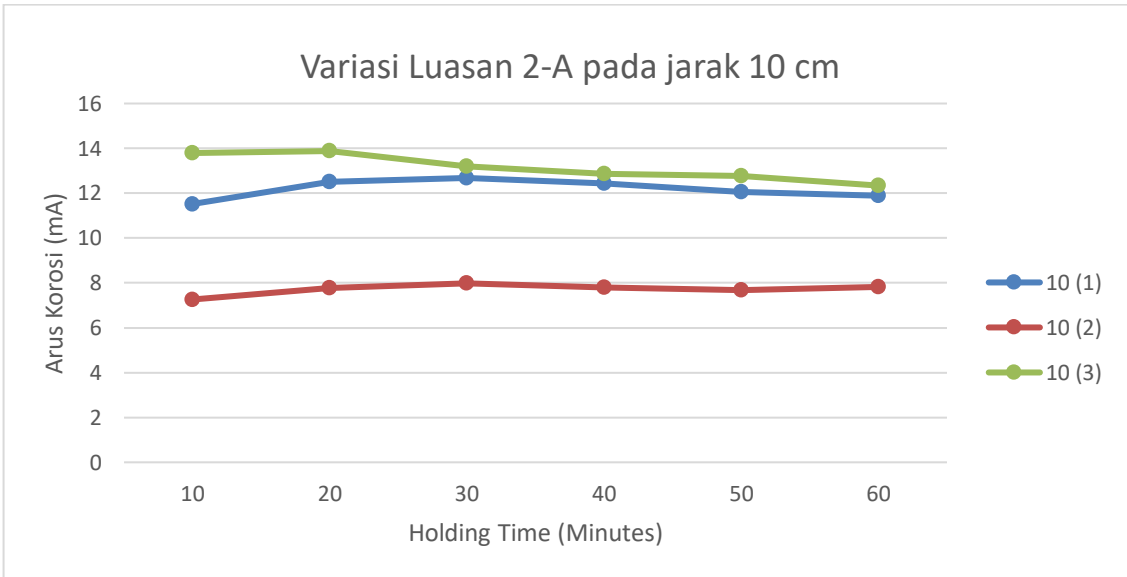
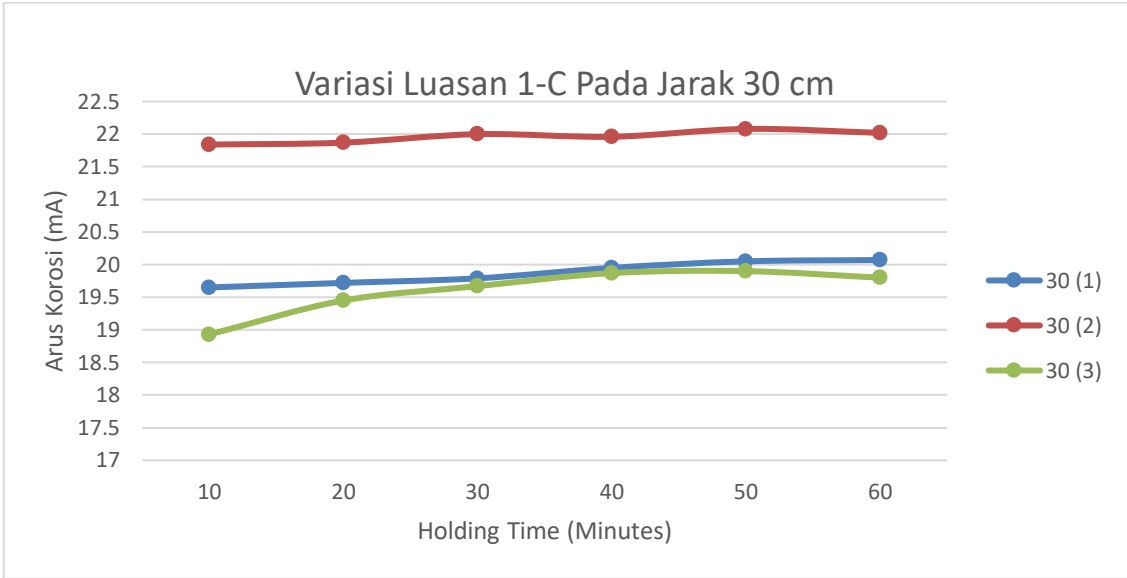
Distance (cm)	Holding Time (Minutes)						I corr (mA)
	10	20	30	40	50	60	
30 (1)	34.78	32.73	32.46	31.98	31.61	31.29	32.48
30 (2)	26.79	24.62	24.36	24.14	23.81	23.68	24.57
30 (3)	27.26	26.48	26.35	25.81	25.34	24.28	25.92

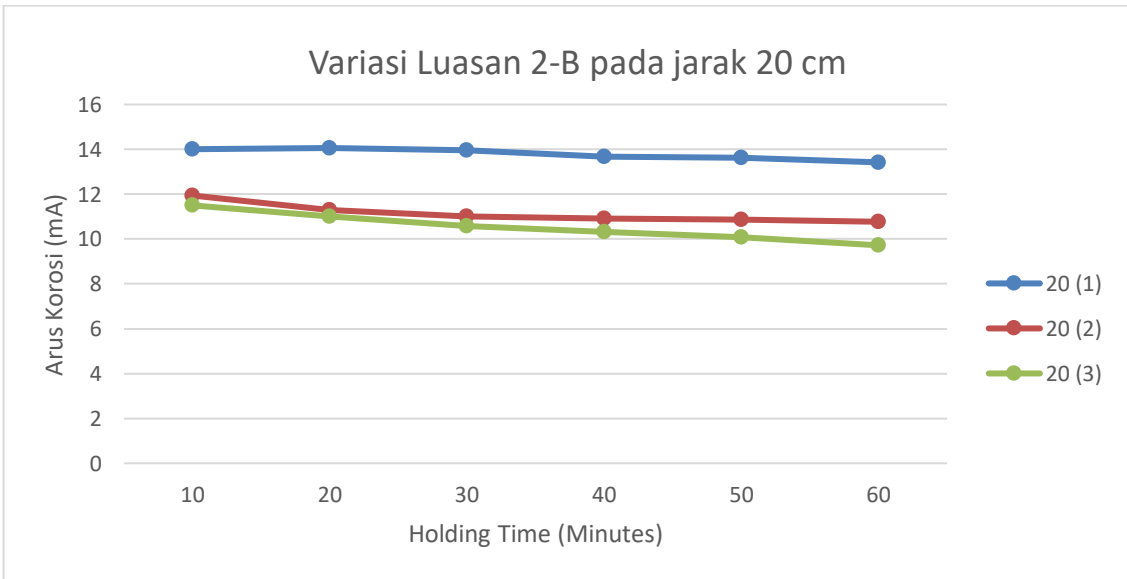
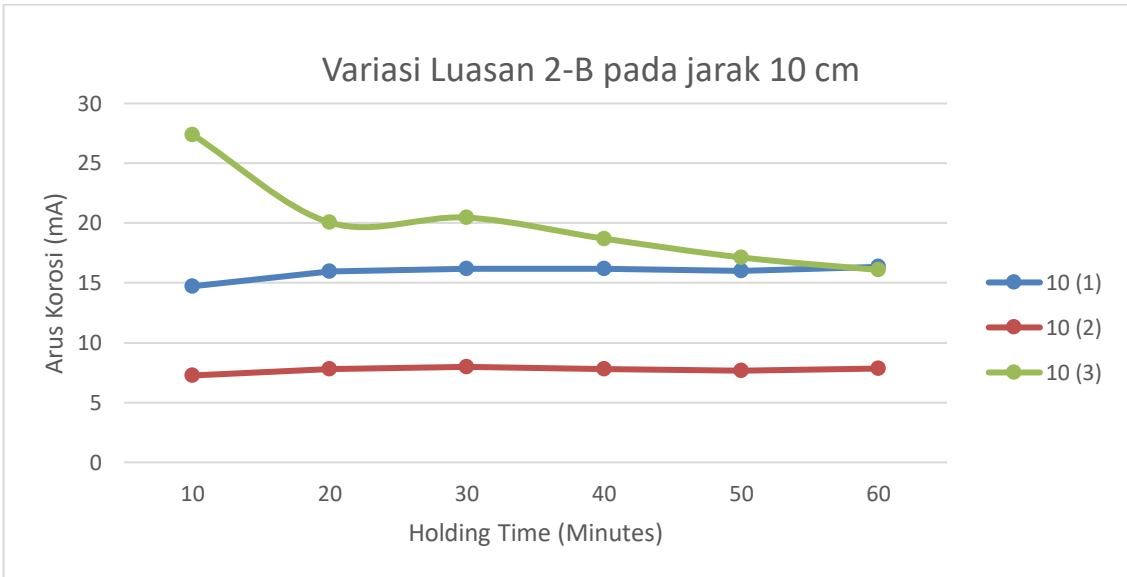
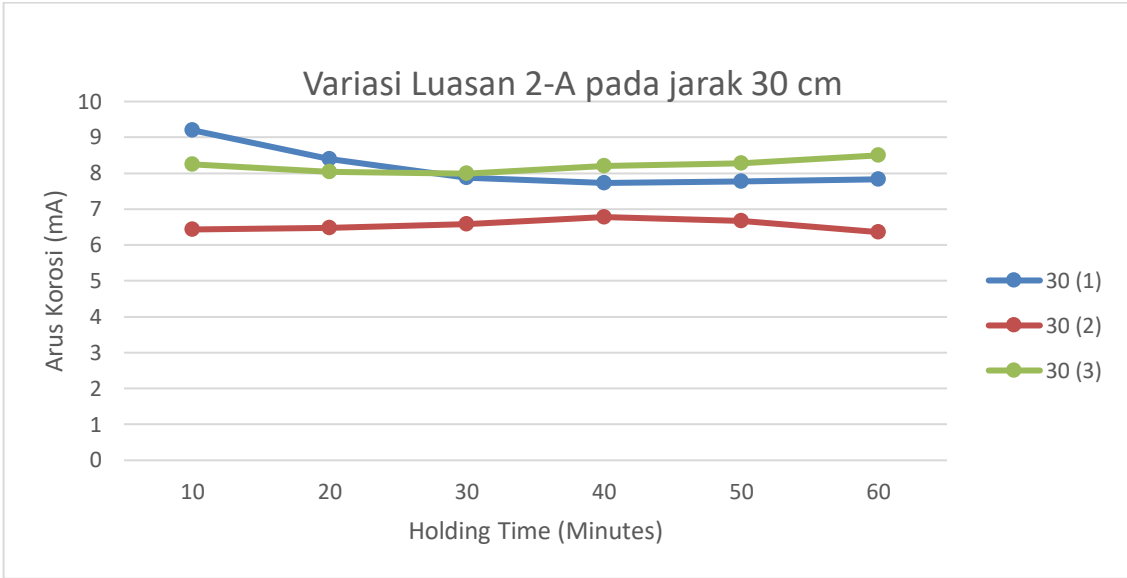
Grafik Laju Korosi

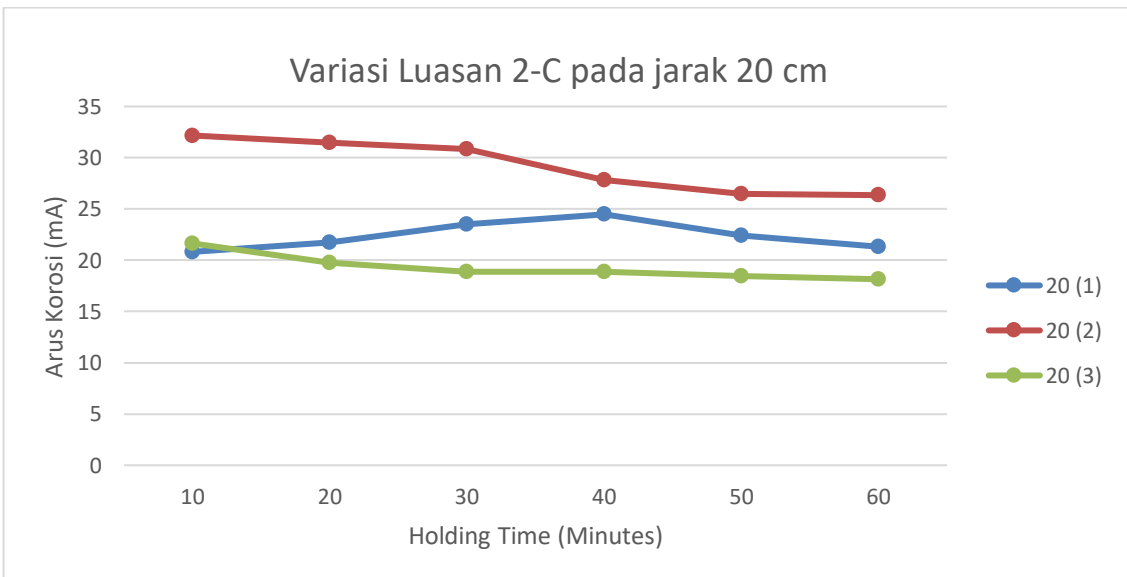
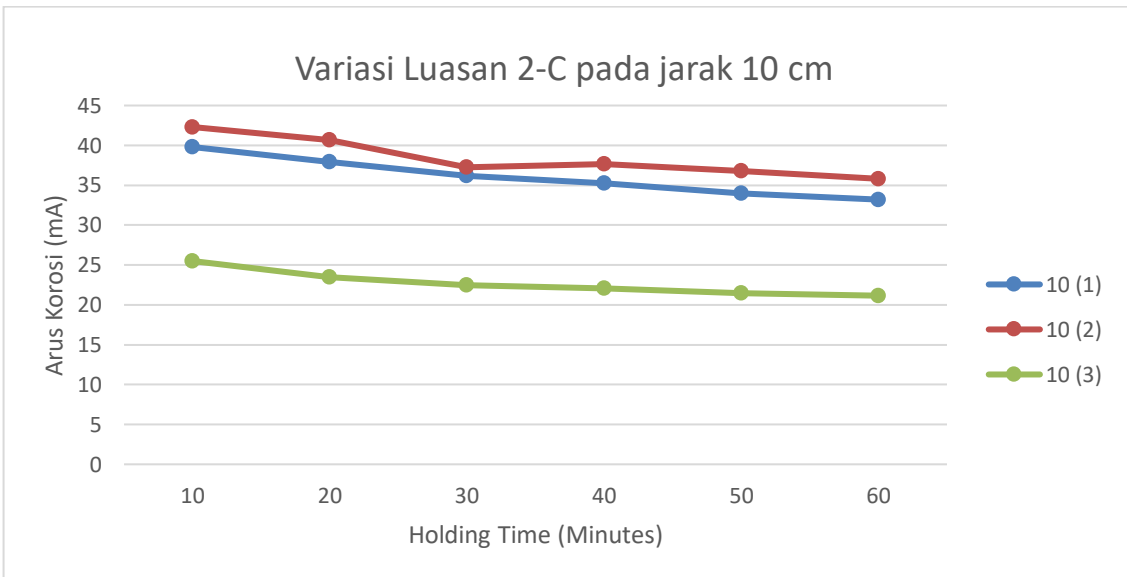
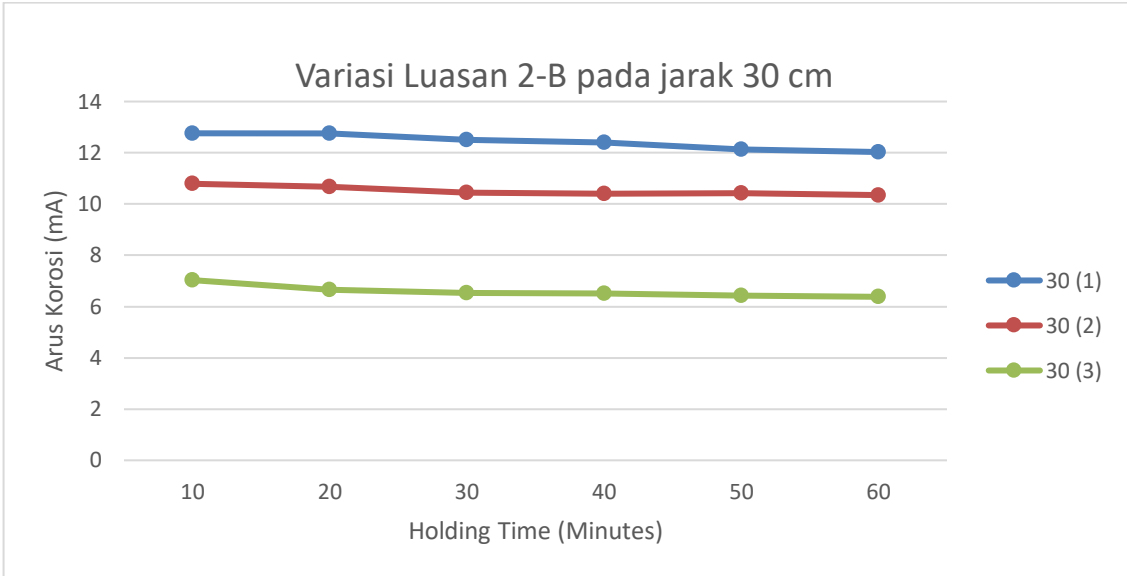


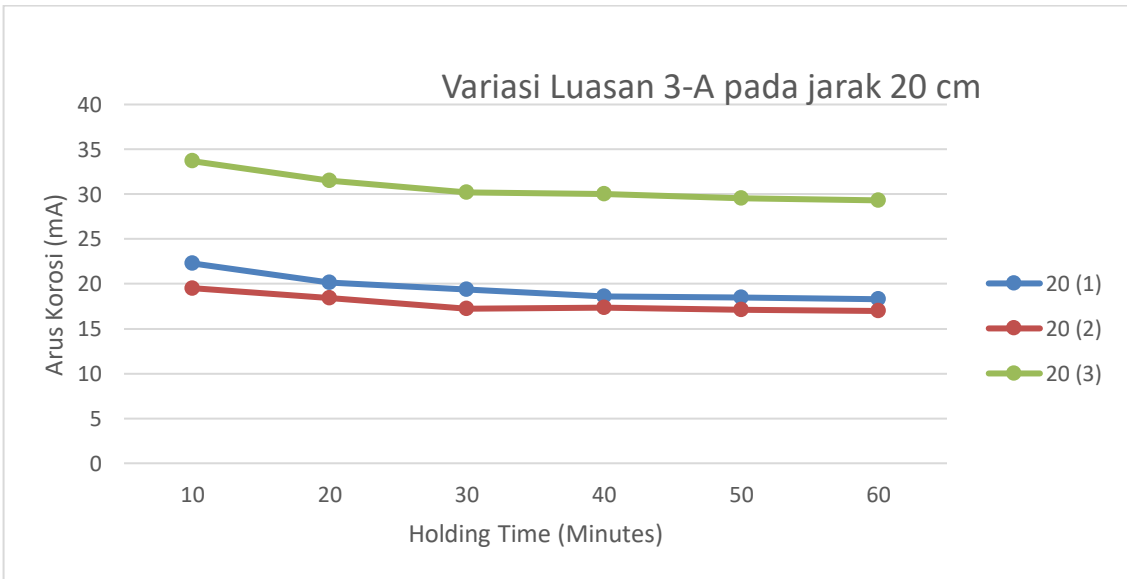
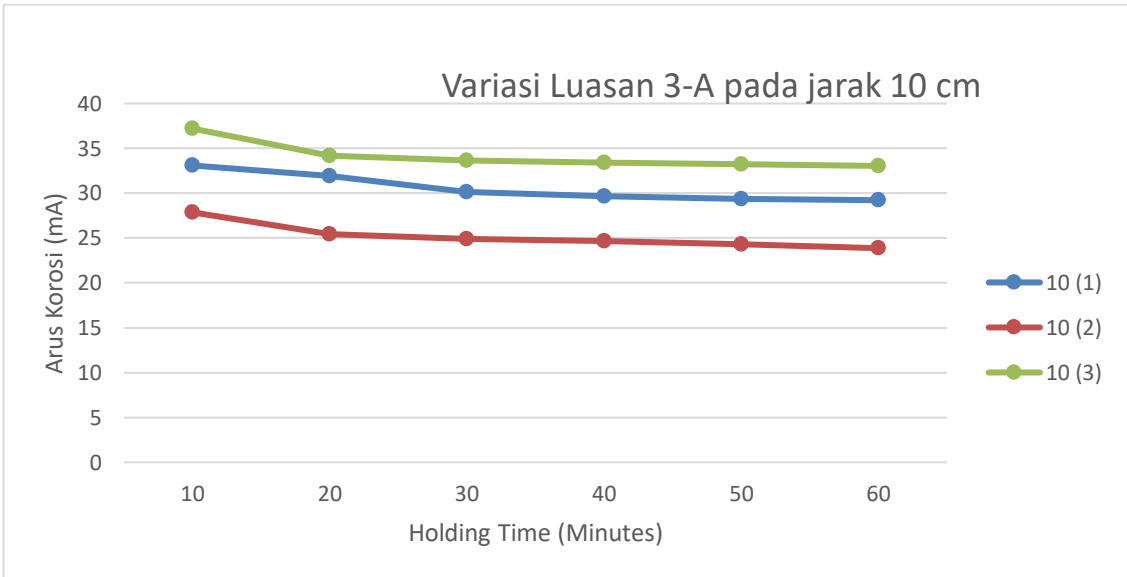
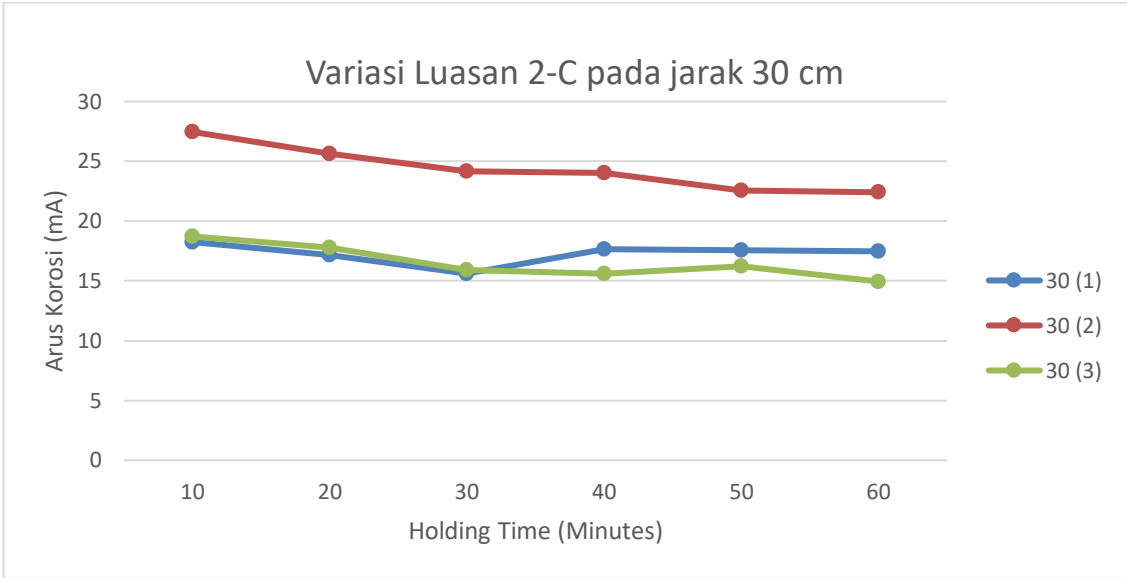


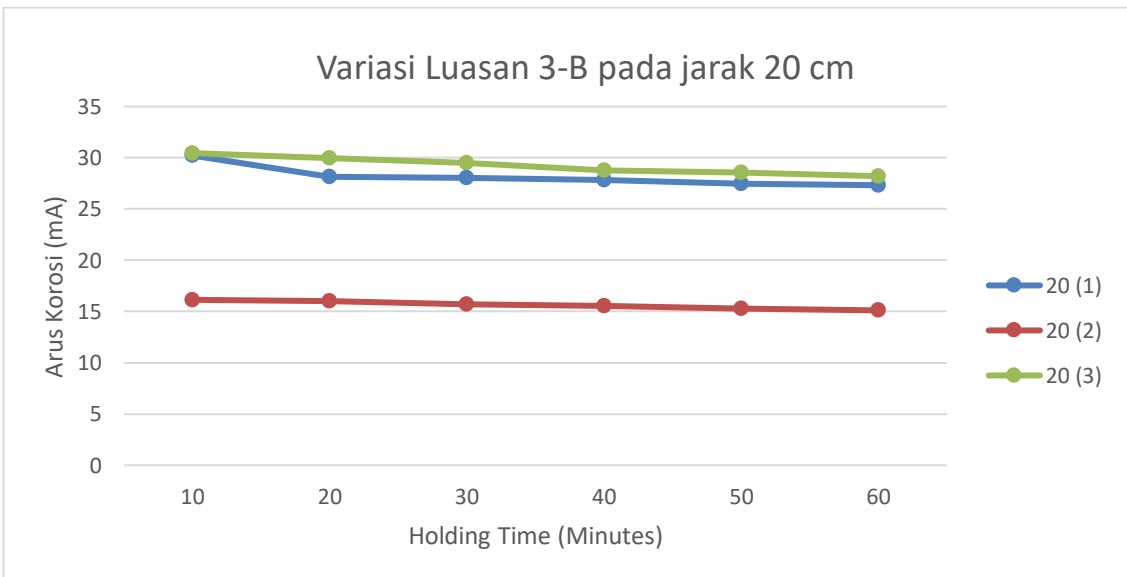
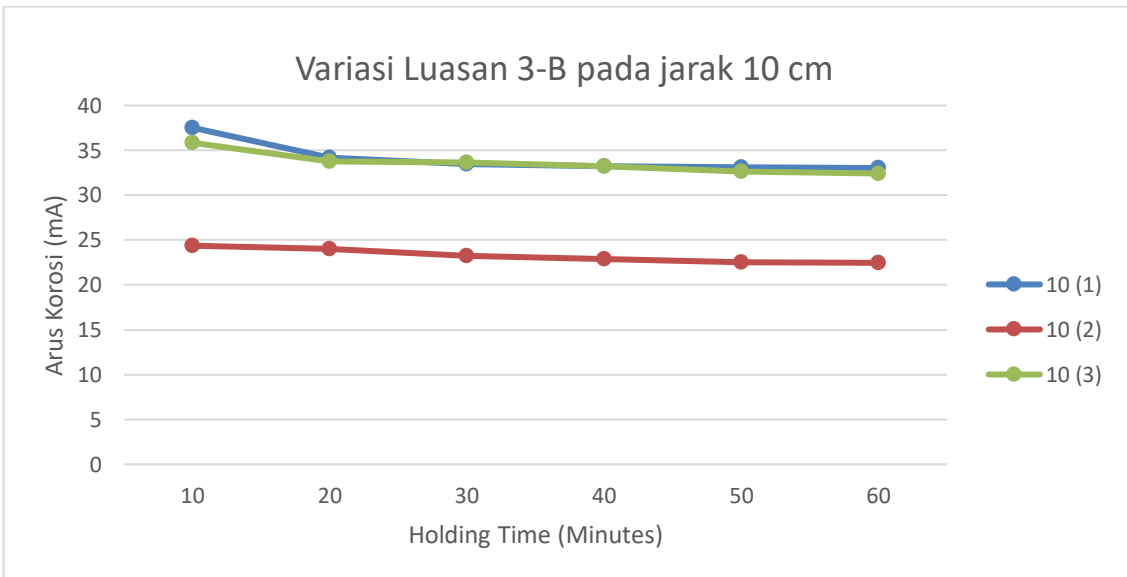
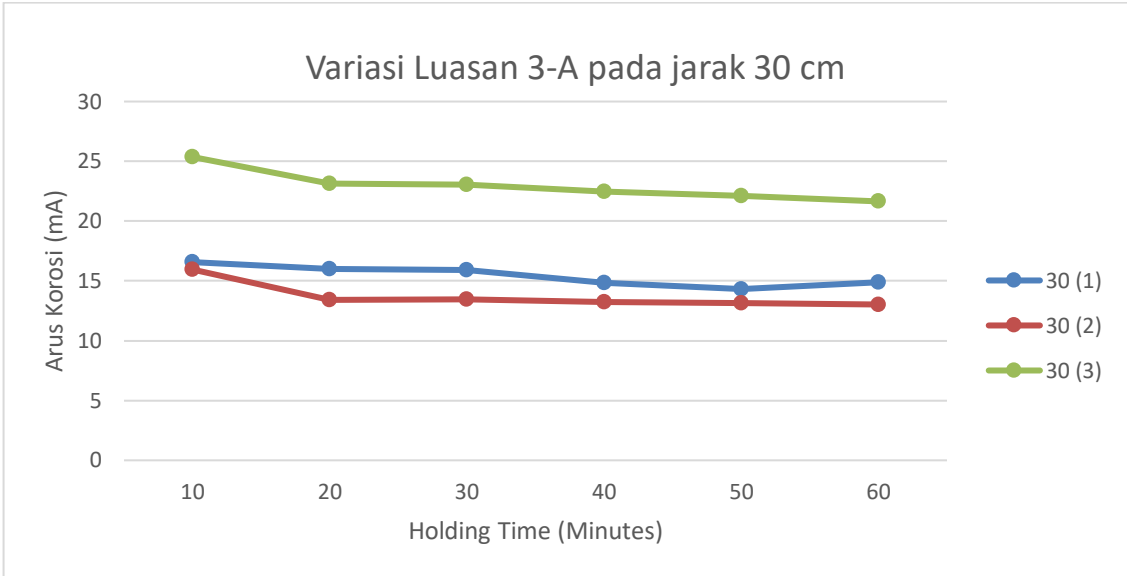


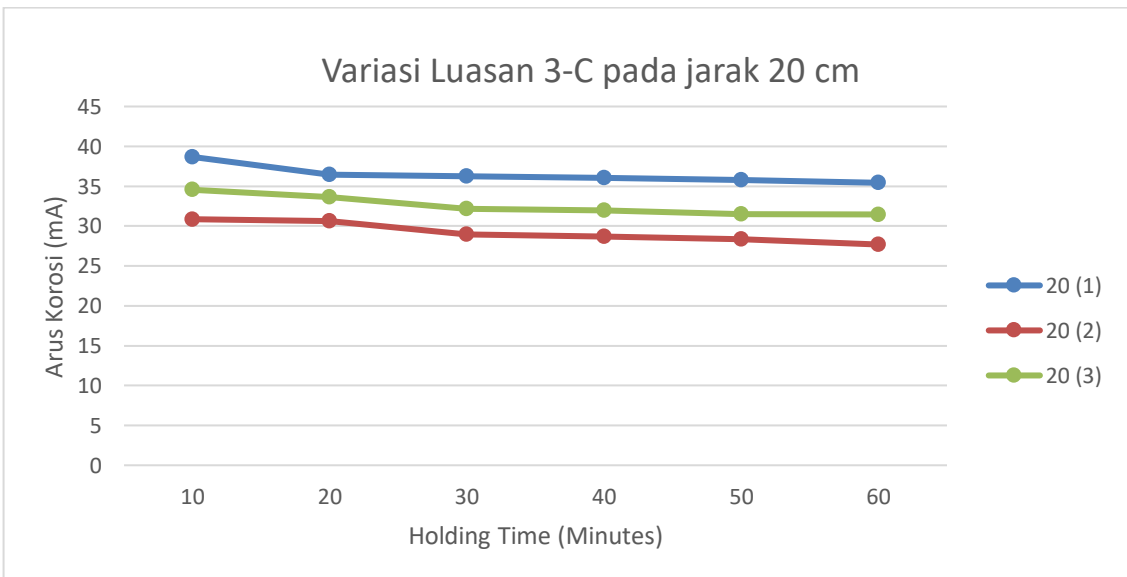
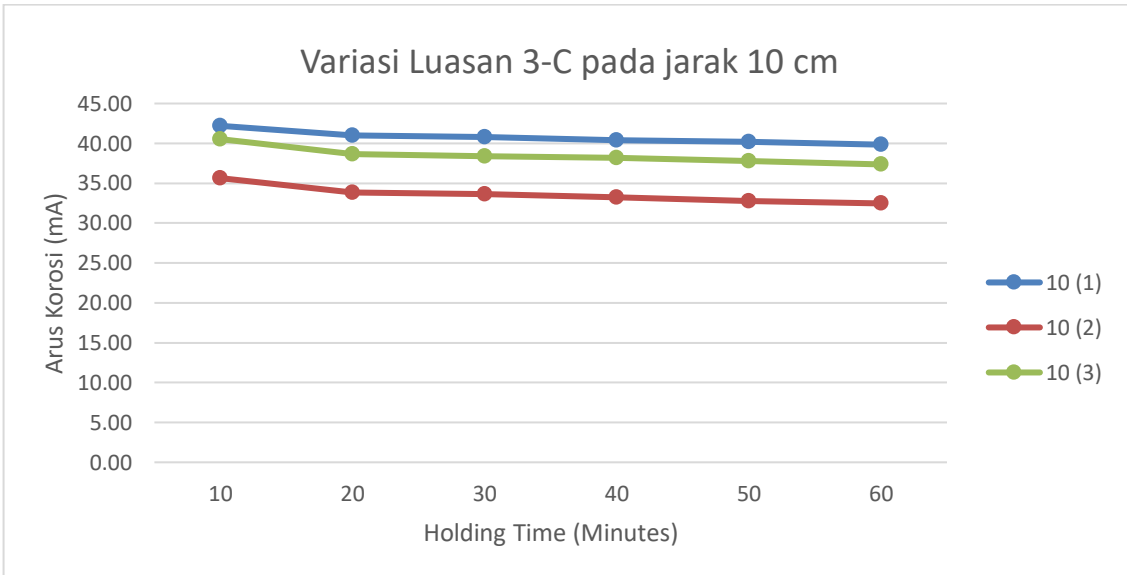
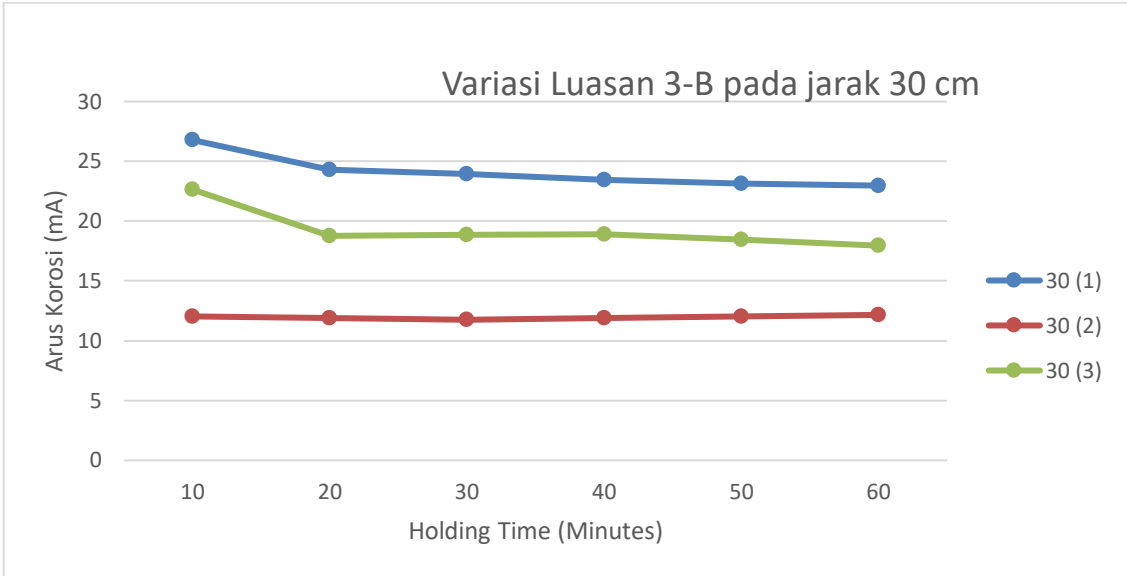


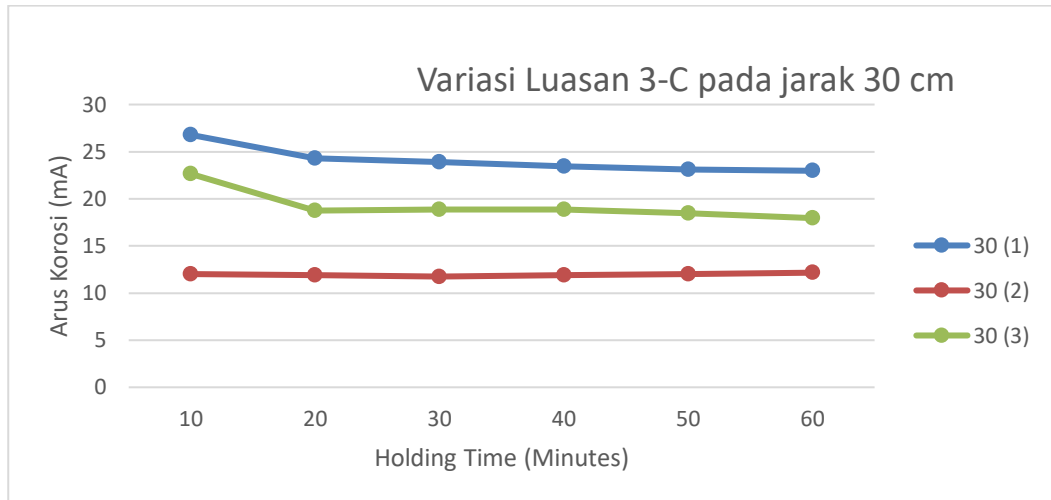












Tabel Rekapitulasi Aru Galvanik Rata-Rata

- Variasi 1-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	26.36	11.12	6.24
20	24.09	11.01	6.30
30	22.42	10.84	6.22
40	22.42	10.69	6.15
50	20.05	10.52	6.11
60	19.18	10.43	6.06
Arus Rata-Rata (mA)	22.19	10.77	6.18

- Variasi 1-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	31.66	17.51	12.70
20	28.53	17.30	12.75
30	25.73	16.90	12.74
40	24.37	16.76	12.78
50	23.33	16.61	12.84
60	22.62	16.58	12.86
Arus Rata-Rata (mA)	26.04	16.94	12.78

- Variasi 1-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:21

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	37.49	19.73	12.86
20	34.70	20.06	13.06
30	32.08	20.18	13.15
40	30.73	20.38	13.27
50	29.67	20.67	13.32
60	28.67	20.84	13.29
Arus Rata-Rata (mA)	32.22	20.31	13.16

- Variasi 2- A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	12.66	8.57	7.82
20	13.19	8.77	7.44
30	12.94	8.86	7.23
40	12.66	8.92	7.26
50	12.42	8.94	7.22
60	12.12	9.00	7.10
Arus Rata-Rata (mA)	12.66	8.84	7.82

- Variasi 2-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	21.06	12.48	10.19
20	18.00	12.12	10.03
30	18.31	11.85	9.83
40	17.45	11.64	9.78
50	16.57	11.52	9.66
60	16.21	11.30	9.59
Arus Rata-Rata (mA)	17.93	11.82	9.85

- Variasi 2-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:12

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	41.05	24.88	18.49
20	39.29	24.33	17.48
30	36.73	24.41	15.76
40	36.44	23.73	16.63
50	35.37	22.43	16.90
60	34.51	21.94	16.21
Arus Rata-Rata (mA)	37.23	23.62	16.91

- Variasi 3-A dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 1:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	14.74	12.21	9.55
20	14.08	11.35	8.90
30	13.71	11.07	8.85
40	12.81	10.33	8.87
50	12.40	10.19	8.66
60	11.93	9.64	8.35
Arus Rata-Rata (mA)	13.28	12.21	8.86

- Variasi 3-B dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 4:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	25.04	11.24	11.18
20	21.36	11.12	10.20
30	19.27	10.69	9.82
40	18.01	10.63	9.64
50	17.60	10.56	9.31
60	16.61	10.45	9.04
Arus Rata-Rata (mA)	19.65	10.78	11.18

- Variasi 3-C dengan perbandingan luasan Aluminium : Baja = 6:5

<i> Holding Time (Minutes)</i>	Arus Listrik (mA)		
	10 cm	20 cm	30 cm
10	38.09	31.42	27.03
20	36.25	31.09	25.55
30	36.00	30.21	25.36
40	35.73	29.23	24.98
50	35.26	28.80	24.58
60	34.92	27.72	23.98
Arus Rata-Rata (mA)	36.04	29.74	25.24

Tabel Perhitungan Laju Korosi

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	<i>Exposure Area</i> (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 <i>M/nd</i>	3,28 <i>M/nd</i> × I _{corr} (mm year ⁻¹)								
						<i>M</i>	<i>n</i>	<i>d</i>										
1	1-A	10	22.19	144,27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681								
2		20	10.77		0.075					0.815								
3		30	6.18		0.043					0.468								
4	2-A	10	12.66		0.088					26.98	3	2.7	10.925	0.959				
5		20	8.84		0.061									0.67				
6		30	7.34		0.051									0.556				
7	3-A	10	13.28		0.092									26.98	3	2.7	10.925	1.005
8		20	10.8		0.075													0.818
9		30	8.86		0.061													0.671

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-B	10	26.04	577.08	0.045	26.98	3	2.7	10.925	0.493
2		20	16.94		0.029					0.321
3		30	12.78		0.022					0.242
4	2-B	10	17.93		0.031					0.339
5		20	11.82		0.020					0.224
6		30	9.85		0.017					0.186
7	3-B	10	19.65		0.034					0.372
8		20	10.78		0.019					0.204
9		30	9.86		0.017					0.187

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-C	10	32.22	901.69	0.036	26.98	3	2.7	10.925	0.390
2		20	20.31		0.023					0.246
3		30	13.16		0.015					0.159
4	2-C	10	37.23		0.041					0.451
5		20	23.62		0.026					0.286
6		30	16.91		0.019					0.205
7	3-C	10	36.04		0.040					0.437
8		20	29.74		0.033					0.360
9		30	25.24		0.028					0.306

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)								
						M	n	d										
1	1-A	10	22.19	144.27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681								
2		20	10.77		0.075					0.815								
3		30	6.18		0.043					0.468								
4	1-B	10	26.04	577.08	0.045					26.98	3	2.7	10.925	0.493				
5		20	16.94		0.029									0.321				
6		30	12.78		0.022									0.242				
7	1-C	10	32.22	901.69	0.036									26.98	3	2.7	10.925	0.390
8		20	20.31		0.023													0.246
9		30	13.16		0.015													0.159

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)								
						M	n	d										
1	2-A	10	12.66	144.27	0.088	26.98	3	2.7	10.925	0.959								
2		20	8.84		0.061					0.670								
3		30	7.34		0.051					0.556								
4	2-B	10	17.93	577.08	0.031					26.98	3	2.7	10.925	0.339				
5		20	11.82		0.020									0.224				
6		30	9.85		0.017									0.186				
7	2-C	10	37.23	901.69	0.041									26.98	3	2.7	10.925	0.451
8		20	23.62		0.026													0.286
9		30	16.91		0.019													0.205

Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (754,85 cm²)

No.	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)								
						M	n	d										
1	3-A	10	13.28	144.27	0.092	26.98	3	2.7	10.925	1.005								
2		20	10.80		0.075					0.818								
3		30	8.86		0.061					0.671								
4	3-B	10	19.65	577.08	0.034					26.98	3	2.7	10.925	0.372				
5		20	10.78		0.019									0.204				
6		30	9.86		0.017									0.187				
7	3-C	10	36.04	901.69	0.040									26.98	3	2.7	10.925	0.437
8		20	29.74		0.033													0.360
9		30	25.24		0.028													0.306

Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm²)

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-A	1:21	144.27	0.154	1.681
2		2-A	1:12		0.088	0.959
3		3-A	1:5		0.092	1.005
4	20	1-A	1:21	144.27	0.075	0.815
5		2-A	1:12		0.061	0.67
6		3-A	1:5		0.075	0.818
7	30	1-A	1:21		0.043	0.468
8		2-A	1:12		0.051	0.556
9		3-A	1:5		0.061	0.671

Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-B	4:21	577.08	0.045	0.493
2		2-B	4:12		0.031	0.339
3		3-B	4:5		0.034	0.372
4	20	1-B	4:21		0.029	0.321
5		2-B	4:12		0.020	0.224
6		3-B	4:5		0.019	0.204
7	30	1-B	4:21		0.022	0.242
8		2-B	4:12		0.017	0.186
9		3-B	4:5		0.017	0.187

Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-C	6:21	901.69	0.036	0.390
2		2-C	6:12		0.041	0.451
3		3-C	6:5		0.040	0.437
4	20	1-C	6:21		0.023	0.246
5		2-C	6:12		0.026	0.286
6		3-C	6:5		0.033	0.360
7	30	1-C	6:21	901.69	0.015	0.159
8		2-C	6:12		0.019	0.205
9		3-C	6:5		0.028	0.306

Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)

No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	1-A	1:21	144.27	0.154	1.681
2		1-B	4:21	577.08	0.045	0.493
3		1-C	6:21	901.69	0.036	0.390
4	20	1-A	1:21	144.27	0.075	0.815
5		1-B	4:21	577.08	0.029	0.321
6		1-C	6:21	901.69	0.023	0.246
7	30	1-A	1:21	144.27	0.043	0.468
8		1-B	4:21	577.08	0.022	0.242
9		1-C	6:21	901.69	0.015	0.159

Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)

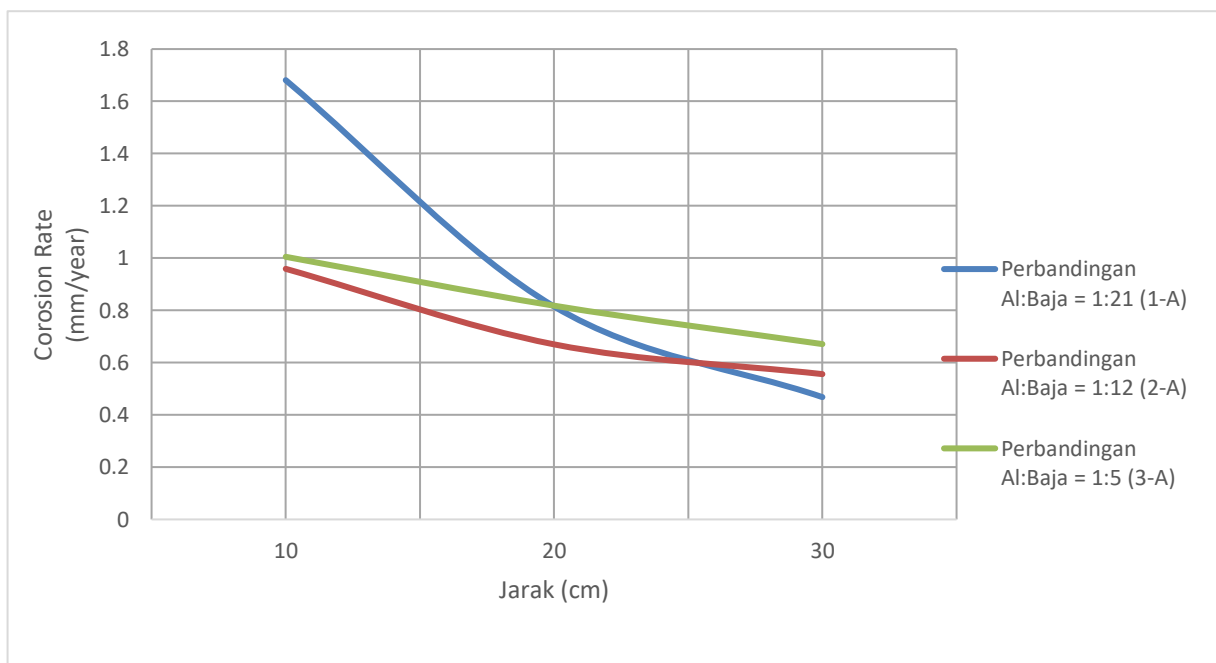
No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	2-A	1:12	144.27	0.088	0.959
2		2-B	4:12	577.08	0.031	0.339
3		2-C	6:12	901.69	0.041	0.451
4	20	2-A	1:12	144.27	0.061	0.670
5		2-B	4:12	577.08	0.020	0.224
6		2-C	6:12	901.69	0.026	0.286
7	30	2-A	1:12	144.27	0.051	0.556
8		2-B	4:12	577.08	0.017	0.186
9		2-C	6:12	901.69	0.019	0.205

Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (754,85 cm²)

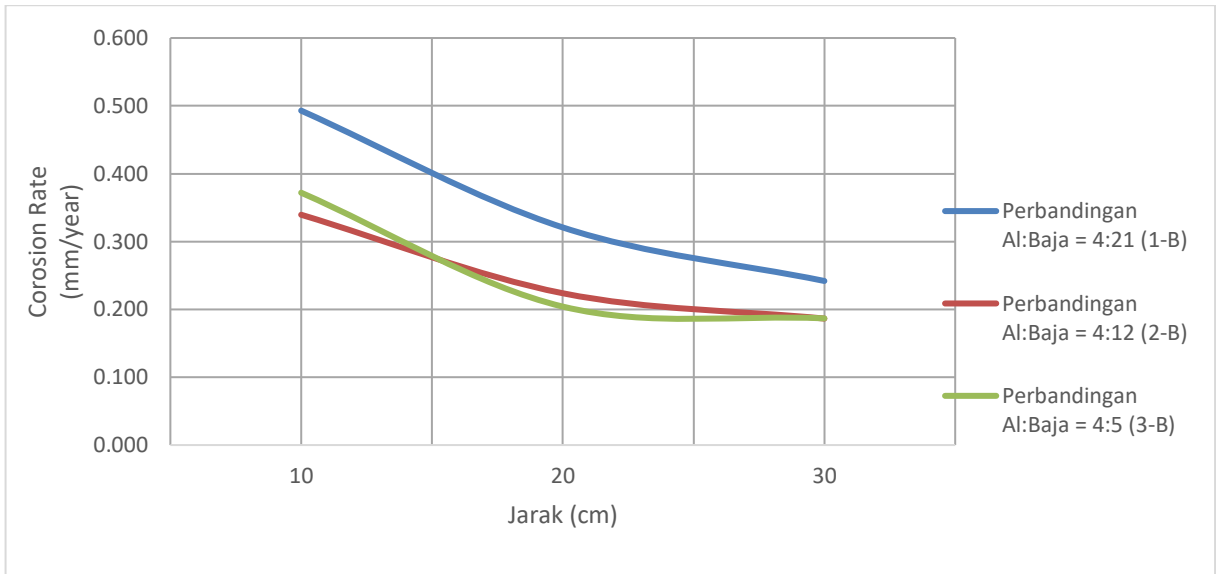
No.	Jarak (cm)	Variasi Luasan	Rasio Luasan (Al:Bj)	Exposure Area (cm ²)	I _{corr} (mA cm ⁻²)	3,28 M/nd × I _{corr} (mm year ⁻¹)
1	10	3-A	1:5	144.27	0.092	1.005
2		3-B	4:5	577.08	0.034	0.372
3		3-C	6:5	901.69	0.040	0.437
4	20	3-A	1:5	144.27	0.075	0.818
5		3-B	4:5	577.08	0.019	0.204
6		3-C	6:5	901.69	0.033	0.360
7	30	3-A	1:5	144.27	0.061	0.671
8		3-B	4:5	577.08	0.017	0.187
9		3-C	6:5	901.69	0.028	0.306

Grafik Laju Korosi

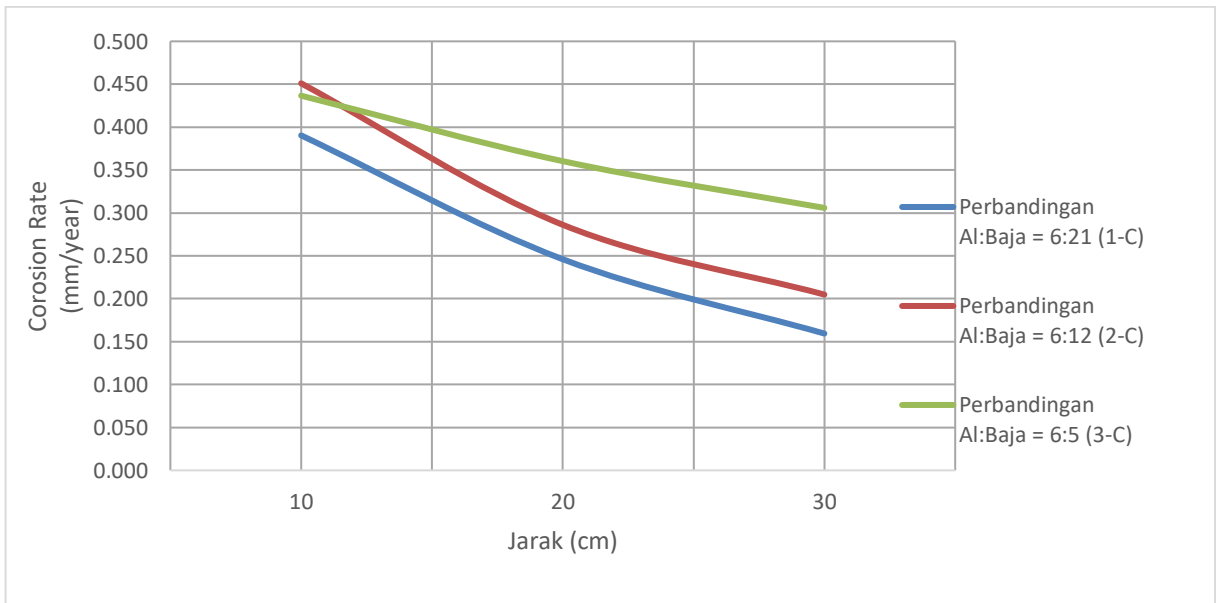
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (144,27 cm²)



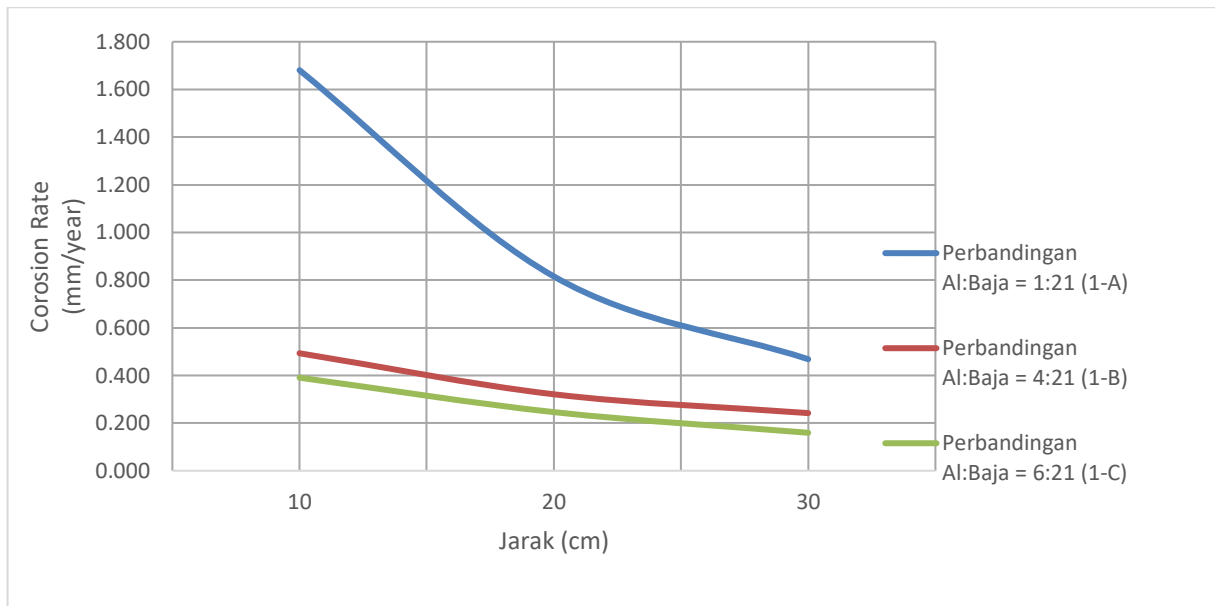
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)



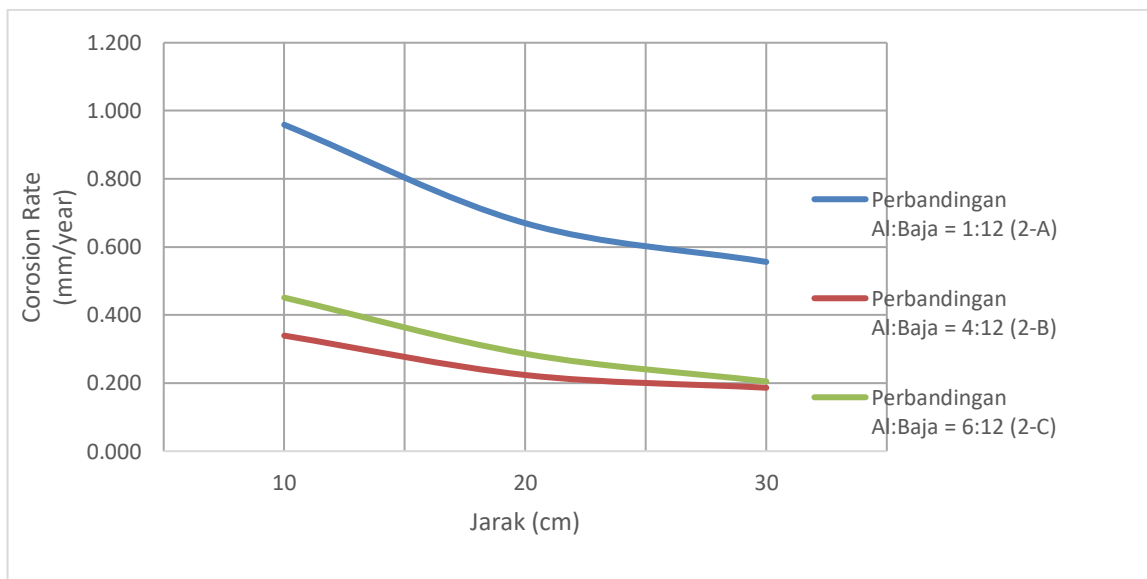
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)



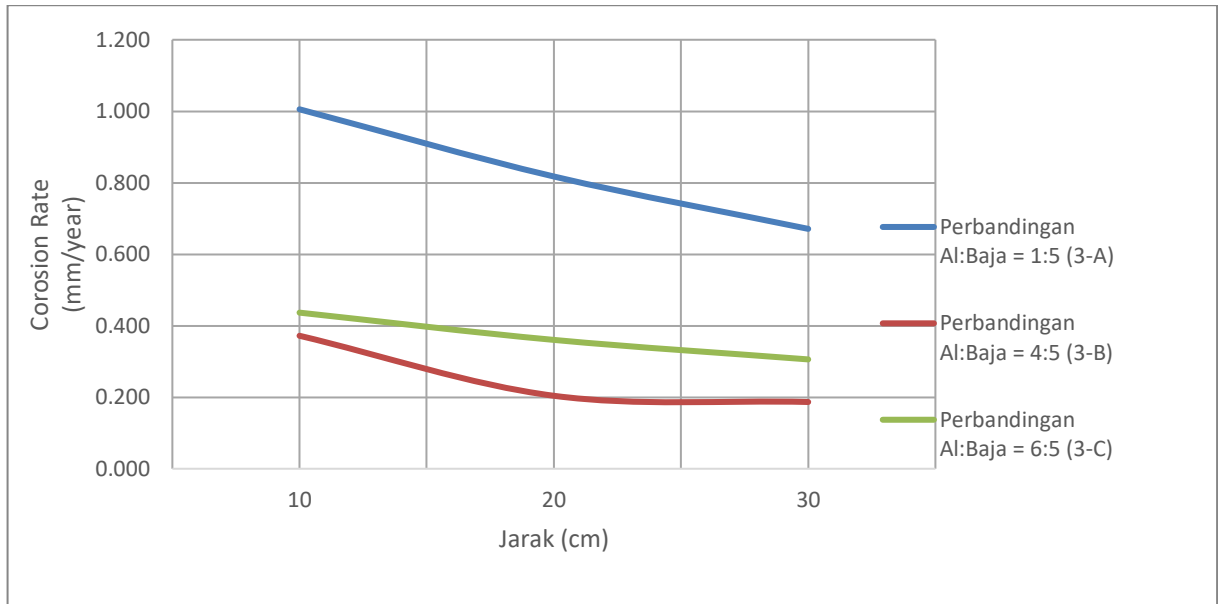
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)



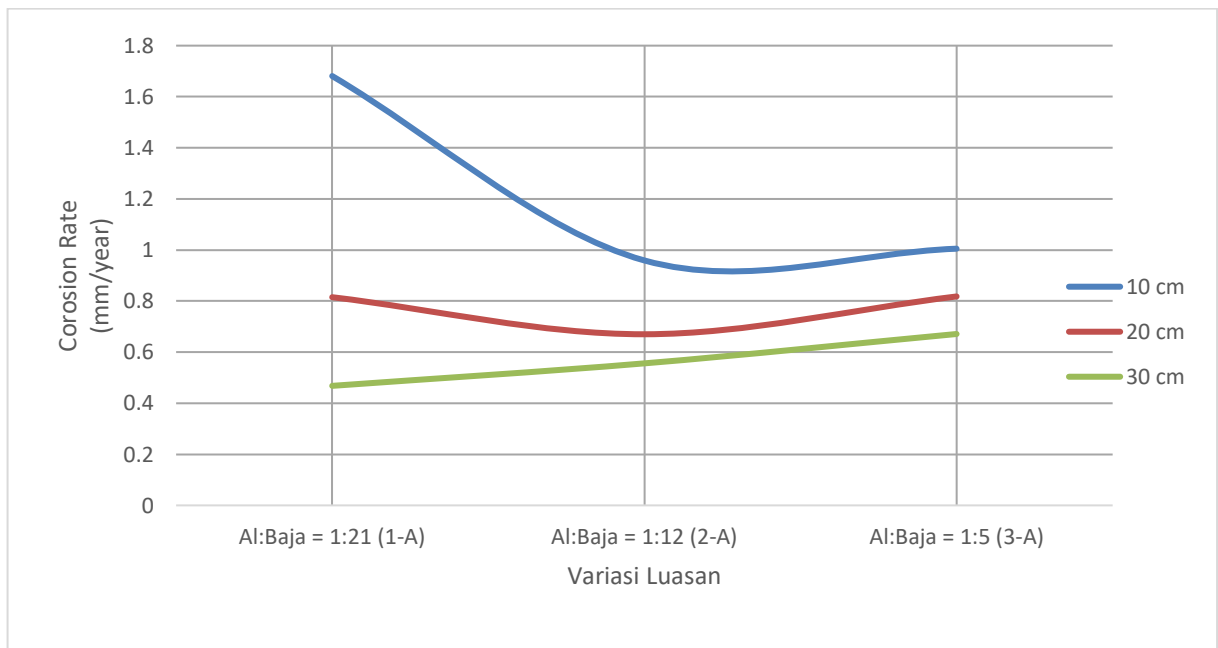
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)



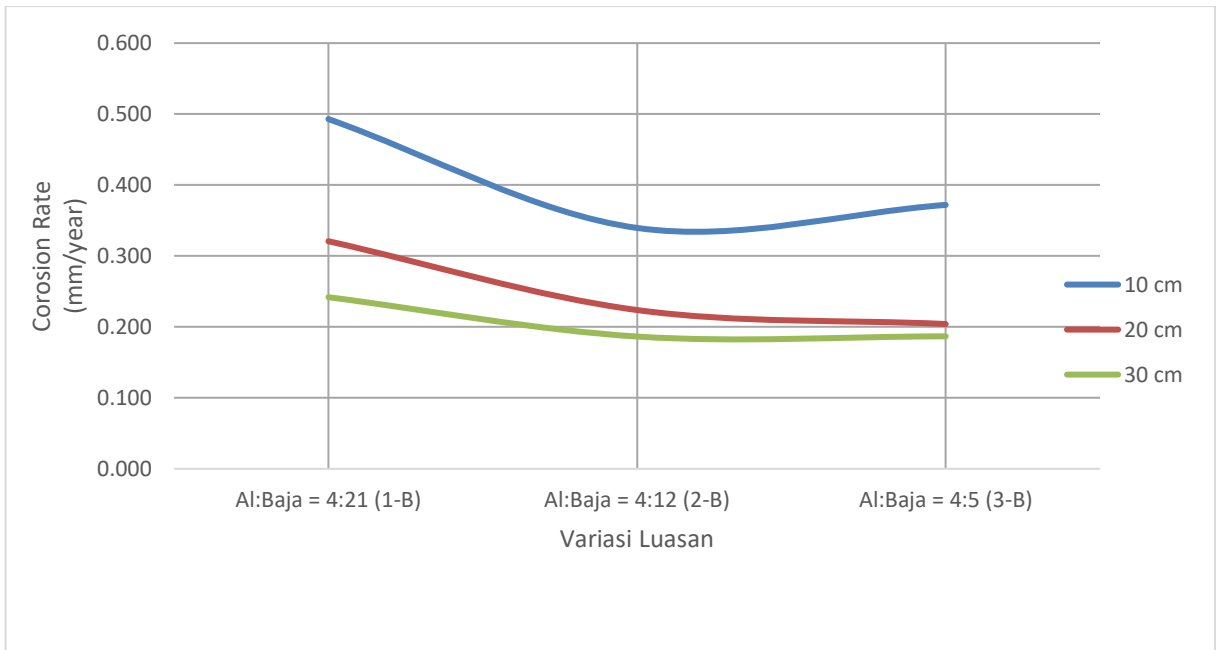
Pengaruh Perubahan Jarak pada Luasan Baja Tetap ($754,85 \text{ cm}^2$)



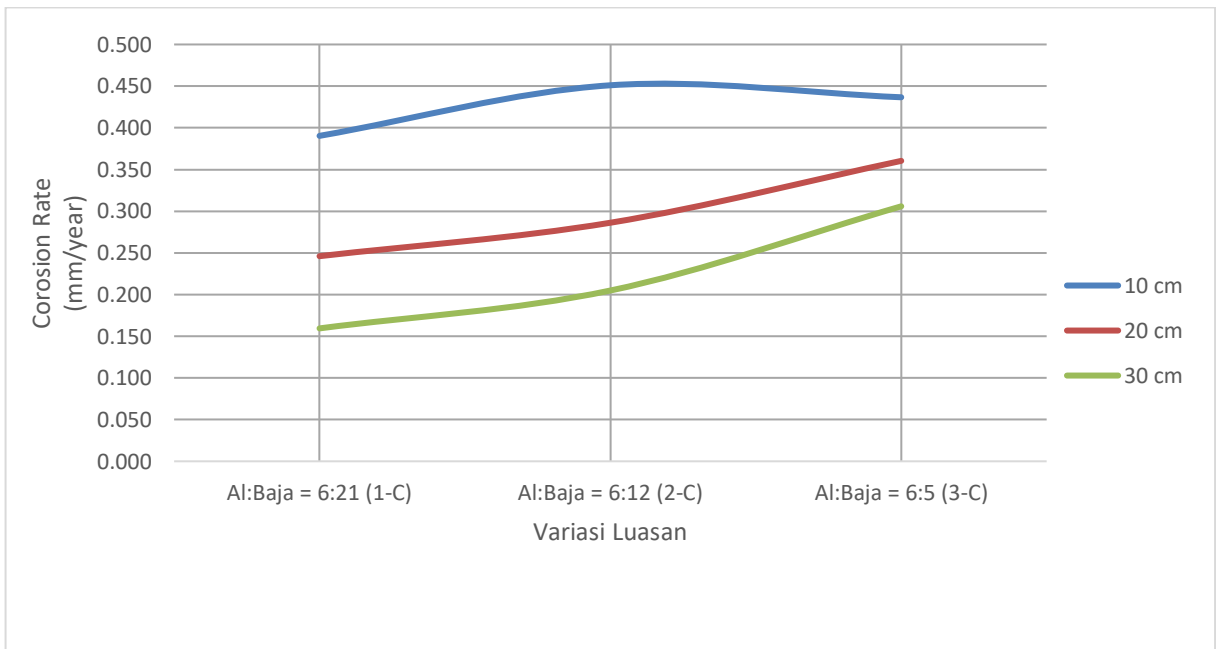
Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap ($144,27 \text{ cm}^2$)



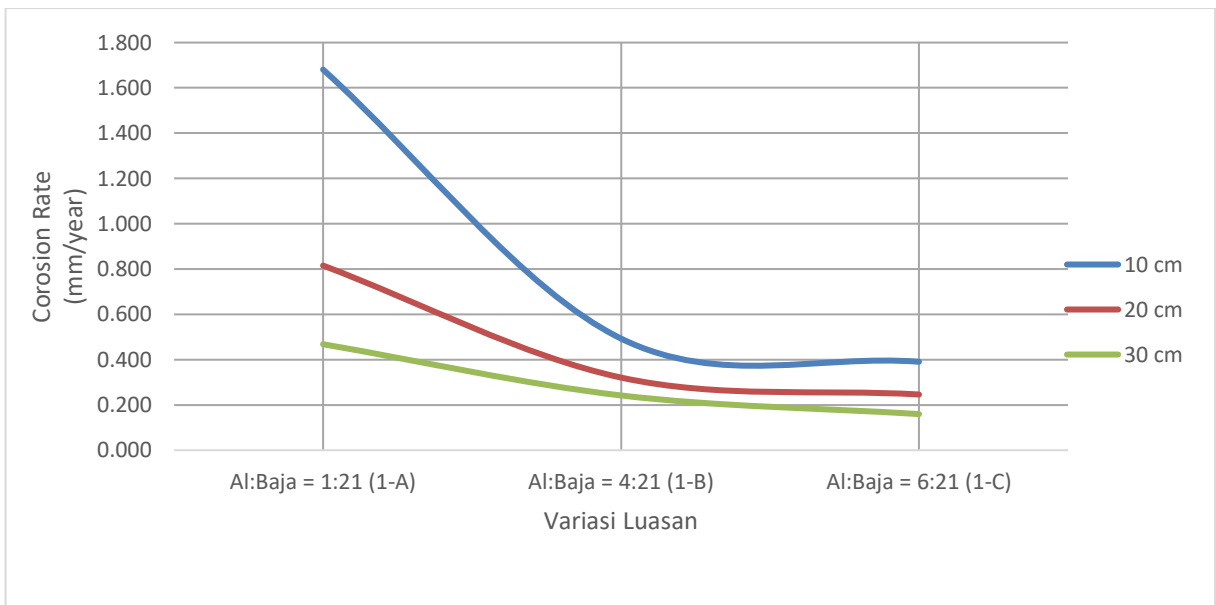
Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (577,08 cm²)



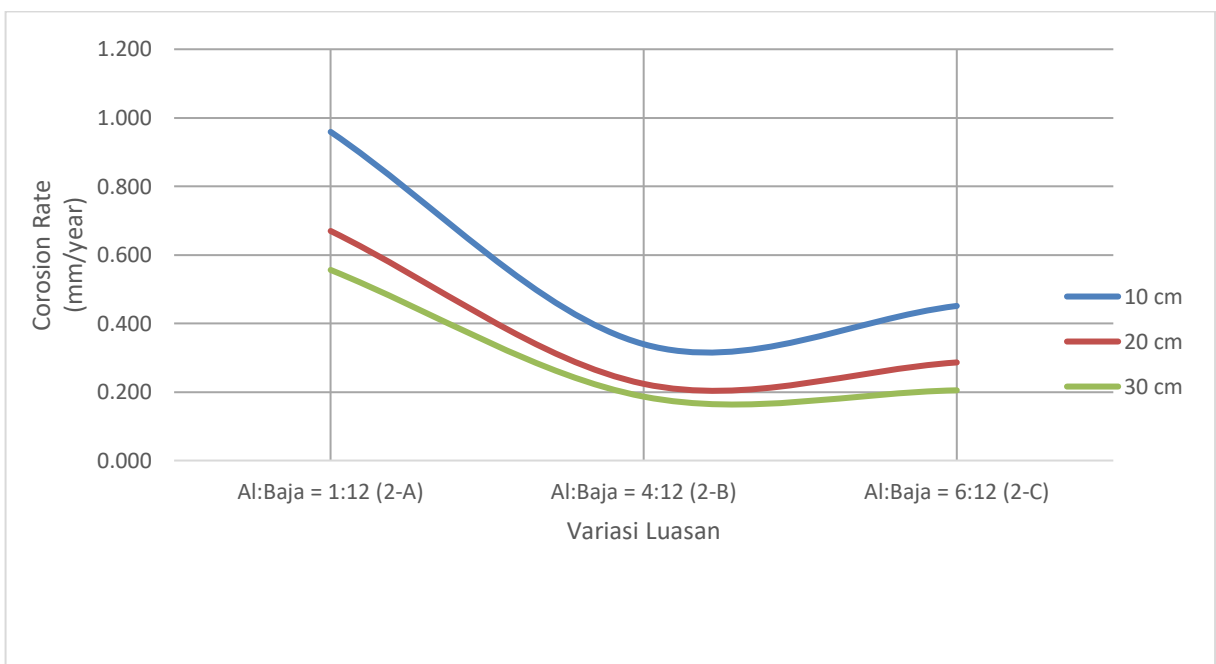
Pengaruh Perubahan Luasan Baja terhadap Laju Korosi dengan Luasan Aluminium Tetap (901,69 cm²)



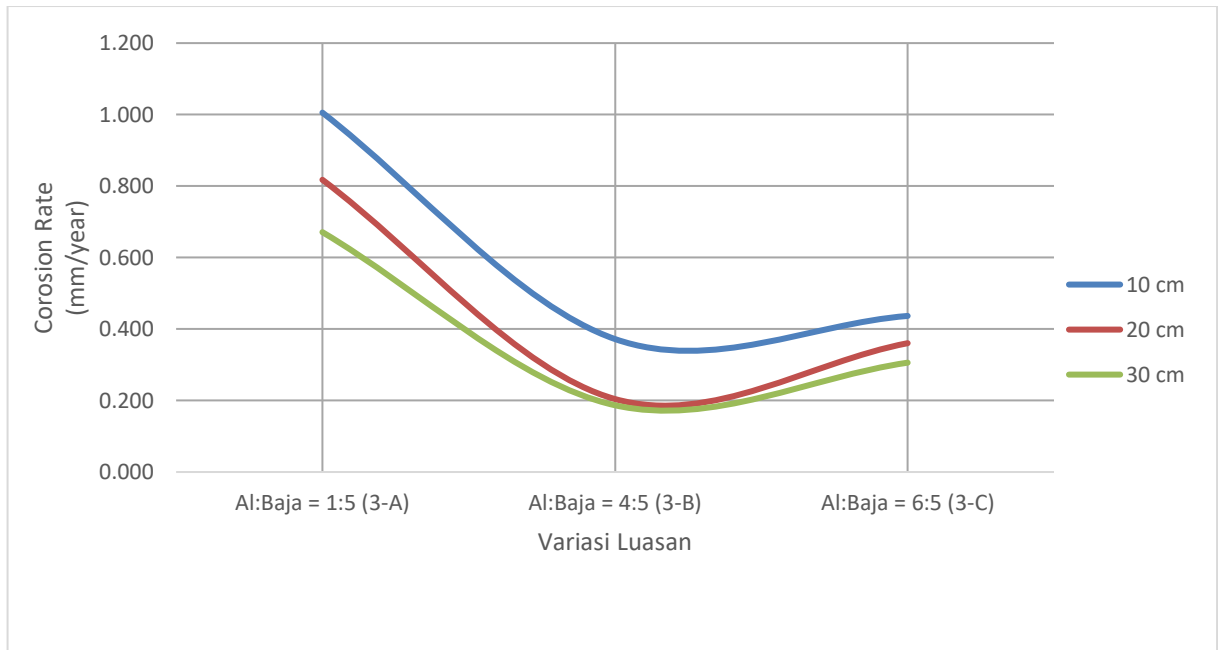
Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (3019,4 cm²)



Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (1698,41 cm²)



Pengaruh Perubahan Luasan Aluminium terhadap Laju Korosi dengan Luasan Baja Tetap (754,85 cm²)



Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Jarak

No.	Variasi (Al:Bj)	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	$3,28 M/nd \times$ $\sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)	Penurunan	
1	1-A (1:21)	10	22.19	144.27	0.154	1.681	51%	
2		20	10.77		0.075	0.815		
3		30	6.18		0.043	0.468	43%	
4	1-B (4:21)	10	26.04	577.08	0.045	0.493	35%	
5		20	16.94		0.029	0.321		
6		30	12.78		0.022	0.242	25%	
7	1-C (6:21)	10	32.22	901.69	0.036	0.390	37%	
8		20	20.31		0.023	0.246		
9		30	13.16		0.015	0.159	35%	
10	2-A (1:12)	10	12.66	144.27	0.088	0.959	30%	
11		20	8.84		0.061	0.670		
12		30	7.34		0.051	0.556	17%	
13	2-B (4:12)	10	17.93	577.08	0.031	0.339	34%	
14		20	11.82		0.020	0.224		
15		30	9.85		0.017	0.186	17%	
16	2-C (6:12)	10	37.23	901.69	0.041	0.451	37%	
17		20	23.62		0.026	0.286		
18		30	16.91		0.019	0.205	28%	
19	3-A (1:5)	10	13.28	144.27	0.092	1.005	19%	
20		20	10.80		0.075	0.818		
21		30	8.86		0.061	0.671	18%	
22	3-B (4:5)	10	19.65	577.08	0.034	0.372	45%	
23		20	10.78		0.019	0.204		
24		30	9.86		0.017	0.187	9%	
25	3-C (6:5)	10	36.04	901.69	0.040	0.437	17%	
26		20	29.74		0.033	0.360		
27		30	25.24		0.028	0.306	15%	

Analisa Perubahan Tingkat Laju Korosi berdasarkan Perubahan Rasio Luasan

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-A	144,27	1.681	-43%	5%
2		2-A		0.959		
3		3-A		1.005		
4	20	1-A		0.815	-18%	22%
5		2-A		0.67		
6		3-A		0.818		
7	30	1-A		0.468	19%	21%
8		2-A		0.556		
9		3-A		0.671		

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-B	577.08	0.493	-31%	10%
2		2-B		0.339		
3		3-B		0.372		
4	20	1-B		0.321	-30%	-9%
5		2-B		0.224		
6		3-B		0.204		
7	30	1-B		0.242	-23%	0%
8		2-B		0.186		
9		3-B		0.187		

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-C	901.69	0.390	16%	-3%
2		2-C		0.451		
3		3-C		0.437		
4	20	1-C		0.246	16%	26%
5		2-C		0.286		
6		3-C		0.360		
7	30	1-C		0.159	28%	49%
8		2-C		0.205		
9		3-C		0.306		

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	1-A	144.27	1.681	-71%	
2		1-B	577.08	0.493		
3		1-C	901.69	0.390	-21%	
4	20	1-A	144.27	0.815	-61%	
5		1-B	577.08	0.321		
6		1-C	901.69	0.246	-23%	
7	30	1-A	144.27	0.468	-48%	
8		1-B	577.08	0.242		
9		1-C	901.69	0.159	-34%	

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	2-A	144.27	0.959	-65%	
2		2-B	577.08	0.339		
3		2-C	901.69	0.451	33%	
4	20	2-A	144.27	0.670	-67%	
5		2-B	577.08	0.224		
6		2-C	901.69	0.286	28%	
7	30	2-A	144.27	0.556	-66%	
8		2-B	577.08	0.186		
9		2-C	901.69	0.205	10%	

No.	Jarak (cm)	Variasi	Exposure Area (cm ²)	3,28 M/nd × Icorr (mm year ⁻¹)	Penurunan	
1	10	3-A	144.27	1.005	-63%	
2		3-B	577.08	0.372		
3		3-C	901.69	0.437	17%	
4	20	3-A	144.27	0.818	-75%	
5		3-B	577.08	0.204		
6		3-C	901.69	0.360	77%	
7	30	3-A	144.27	0.671	-72%	
8		3-B	577.08	0.187		
9		3-C	901.69	0.306	64%	

Perhitungan Slope

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd $\times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-A	10	22.19	144.27	0.154	26.98	3	2.7	10.925	1.681
2		20	10.77		0.075					0.815
3		30	6.18		0.043					0.468
$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$										-0.06064

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd $\times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-B	10	26.04	577.08	0.045	26.98	3	2.7	10.925	0.493
2		20	16.94		0.029					0.321
3		30	12.78		0.022					0.242
$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$										-0.01255

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd $\times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	1-C	10	32.22	901.69	0.036	26.98	3	2.7	10.925	0.390
2		20	20.31		0.023					0.246
3		30	13.16		0.015					0.159
$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$										-0.01155

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd $\times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	2-A	10	12.66	144.27	0.088	26.98	3	2.7	10.925	0.959
2		20	8.84		0.061					0.670
3		30	7.34		0.051					0.556
$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$										-0.02015

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	$3,28 M/nd \times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	2-B	10	17.93	577.08	0.031	26.98	3	2.7	10.925	0.339
2		20	11.82		0.020					0.224
3		30	9.85		0.017					0.186
m = (y2-y1)/(x2-x1)									-0.00765	

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	$3,28 M/nd \times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	2-C	10	37.23	901.69	0.041	26.98	3	2.7	10.925	0.451
2		20	23.62		0.026					0.286
3		30	16.91		0.019					0.205
m = (y2-y1)/(x2-x1)									-0.01231	

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	$3,28 M/nd \times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	3-A	10	13.28	144.27	0.092	26.98	3	2.7	10.925	1.005
2		20	10.80		0.075					0.818
3		30	8.86		0.061					0.671
m = (y2-y1)/(x2-x1)									-0.01672	

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	$3,28 M/nd \times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	3-B	10	19.65	577.08	0.034	26.98	3	2.7	10.925	0.372
2		20	10.78		0.019					0.204
3		30	9.86		0.017					0.187
m = (y2-y1)/(x2-x1)									-0.00926	

No	Variasi	Jarak (cm)	I (mA)	Exposure Area (cm ²)	$\sum I_{corr}$ (mA cm ⁻²)	Al ³⁺			3,28 M/nd	3,28 M/nd $\times \sum I_{corr}$ (mm y ⁻¹)
						M	n	d		
1	3-C	10	36.04	901.69	0.040	26.98	3	2.7	10.925	0.437
2		20	29.74		0.033					0.360
3		30	25.24		0.028					0.306
m = (y2-y1)/(x2-x1)									-0.00654	

Analisa Jarak Optimal

No.	Variasi	Rasio Luasan (Al:Bj)	Jarak (cm)	Corrosion Rate (mm y ⁻¹)	m (y2-y1)/(x2-x1)	Persamaan Garis Y=m(X)+C	Jarak Optimum (cm) Nilai X, apabila Y = 0
1	1-A	1:21	10	1.681	-0.06064	Y = -0.06064(X)+2.287	37.72
2			20	0.815			
3			30	0.468			
4	1-B	4:21	10	0.493	-0.01255	Y = -0.01255(X)+0.618	49.26
5			20	0.321			
6			30	0.242			
7	1-C	6:21	10	0.390	-0.01155	Y = -0.01155(X)+0.506	43.81
8			20	0.246			
9			30	0.159			
10	2-A	1:12	10	0.959	-0.02015	Y = -0.02015 (X)+1.160	57.60
11			20	0.670			
12			30	0.556			
13	2-B	4:12	10	0.339	-0.00765	Y = -0.00765(X)+0.416	54.36
14			20	0.224			
15			30	0.186			
16	2-C	6:12	10	0.451	-0.01231	Y = -0.01231(X)+0.574	46.64
17			20	0.286			
18			30	0.205			
19	3-A	1:5	10	1.005	-0.01672	Y = -0.01672(X)+1.173	70.14
20			20	0.818			
21			30	0.671			
22	3-B	4:5	10	0.372	-0.00926	Y = -0.00926(X)+0.465	50.16
23			20	0.204			
24			30	0.187			
25	3-C	6:5	10	0.437	-0.00654	Y = -0.00654(X)+0.502	76.76
26			20	0.360			
27			30	0.306			

BIODATA PENULIS



Hazmi Farkhan Haedar Rahman, dilahirkan di Surabaya 14 Desember 1996 silam. Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Islam Antasari, kemudian melanjutkan ke SD Islam Al-Irsyad Surabaya, SMPN 6 Surabaya dan SMAN 5 Surabaya. Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014. Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Industri Pekapalan. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa organisasi kampus seperti *Staff* Divisi Komunikasi dan Informasai BEM FTK 2014/2015, lalu dilanjutkan dengan menjadi kepala divisi Media dan Informasi Kreatif HIMATEKPAL FTK ITS 2015/2016. Penulis juga pernah menjadi Tim Batharasurya Hydrone, sebagai koordinator teknis. Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Teknologi Material dan Mekanik

Email: hazmifarkhan@gmail.com