

**PEMBANGUNAN SISTEM PENGAKTIFAN HIBRID
ANOD KORBANAN ALUMINIUM**

MOHD SUBHI BIN DIN YATI

**UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS
2014**

© This item is protected by original copyright



Pembangunan Sistem Pengaktifan Hibrid Anod Korbanan Aluminium

Oleh

**MOHD SUBHI BIN DIN YATI
(1130410578)**

A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science (Materials Engineering)

**School of Materials Engineering
UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS**

2014

UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

DECLARATION OF THESIS

Author's full name : Mohd Subhi bin Din Yati
Date of birth : 11 May 1979
Title : Pembangunan Sistem Pengaktifan Hibrid Anod Korbanan Aluminium
Academic session : 2013/2014

I hereby declare that the thesis becomes the property of Universiti Malaysia Perlis (UniMAP) and to be placed at the library of UniMAP. This thesis is classified as :

- CONFIDENTIAL** Contains confidential information under the office secret Act 1972
- RESTRICTED** Contains restricted information as specified by the organization where research was done
- OPEN ACCESS** I agree that my thesis is to be made immediately available as hard copy or on-line open access

I, the author, give permission to UniMAP to reproduce this thesis in whole or in part for the purpose of research or academic exchange only (except during a period of _____ years, if so requested above).

Certified by :

(SIGNATURE)

(SIGNATURE OF SUPERVISOR)

790511-08-5683

(NEW IC NO. / PASSPORT. NO.)

**DR MOHD NAZREE BIN
DERMAN**

NAME OF SUPERVISOR

Date : _____

Date : _____

PENGHARGAAN

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Alhamdulillah, syukur kehadiran ALLAH subha nahu waataala atas limpah kurnia-Nya. Sesungguhnya segala rintangan, dugaan dan kesulitan yang dihadapi sepanjang saya menjalankan kajian dan menyiapkan tesis ini dapat ditangani dengan keizinan daripada-Nya. Jutaan terima kasih diucapkan kepada Dr. Mohd Nazree B. Derman, selaku penyelia utama kerana amat memahami situasi dan masalah saya, seringkali memotivasi dan banyak membantu saya di dalam menyiapkan tesis ini. Kepada mentor dan guru saya, Dr. Mahdi Che Isa, Ketua Cawangan Teknologi Perkapalan, Bahagian Teknologi Maritim, STRIDE, kesudian tuan yang sentiasa mendorong, melorongkan jalan, memotivasi, memudahkan perjalanan, menghulurkan pelbagai bantuan, menyumbang idea-idea bernas serta bertindak sebagai penyelia bersama kepada penulis amat dihargai dan diucapkan jutaan terima kasih. Tidak ketinggalan kepada Dr. Khairul Rafezi, Dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan juga kepada semua kakitangan pentadbiran, akademik dan teknikal di PPKB dan PPS, segala bantuan yang dihulurkan amat bermakna dalam usaha penulis menyiapkan kajian ini

Setinggi-tinggi ucapan terima kasih juga ditujukan kepada YBHg. Dr. Roslan Bin Abd. Aziz, Ketua Pengarah STRIDE, Datuk Dr. Hj. Abdul Ghaffar Bin Ramli, mantan Ketua Pengarah STRIDE, diatas sokongan, peluang dan segala bentuk kemudahan penyelidikan yang diberikan kepada saya sepanjang mengikuti pengajian ini. Saya juga turut merakamkan penghargaan kepada Kerajaan Malaysia atas pemberian hadiah latihan persekutuan, Jabatan Perkhidmatan Awam Malaysia (JPA) yang telah banyak membantu dan memudahkan urusan saya sepanjang mengikuti pengajian ini. Kepada Kakitangan STRIDE, bantuan anda telah membantu melancarkan perjalanan ini. Buat semua sahabat di Bahagian Teknologi Maritim, STRIDE, terutamanya di Makmal Penyelidikan Kakisan, motivasi dan bantuan tenaga dan idea adalah amat dihargai. Sekalung penghargaan buat En. Syed Roslee daripada STRIDE serta rakan-rakan daripada UKM dan Quasi kerana telah banyak membantu dan melancarkan kajian melibatkan SEM/EDX, XRD dan XPS.

Buat isteri tersayang, Nora Izma bt. Abdul Aziz, motivasi, persefahaman, dorongan dan sokongan moral yang berterusan, kesabaran dan pengorbanan dari segenap sudut yang diberikan sepanjang tempoh getir ini amat tinggi nilainya dan hanya ALLAH jua yang mampu menilai dan membalasnya. Buat anak-anak, Ahnaf Wafiy, Amzar Najmiy & Amnan Hafiy yang abah sayangi, gelak tawa dan kehadiran kalian jadi pendorong dan menceriaikan abah ketika dalam tekanan dan kesulitan. Buat mak, abah dan adik, terima kasih atas doa dan semangat yang sentiasa diberikan. Kejayaan ini adalah untuk kita bersama. Tidak ketinggalan kepada semua yang telah menghulurkan bantuan secara langsung atau tidak langsung, terima kasih diucapkan dan semoga mendapat balasan, berkat dan rahmat daripada-Nya.

KANDUNGAN

1
2
3
4

Halaman

PERAKUAN TESIS	i
PENGHARGAAN	ii
ISI KANDUNGAN	iii
SENARAI RAJAH	vi
SENARAI JADUAL	xvi
SENARAI SINGKATAN	xviii
SENARAI SIMBOL	xix
ABSTRACT	xxi
ABSTRAK	xxii
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Persekitaran Marin Dan Implikasinya	1
1.2 Permasalahan Kajian	3
1.3 Objektif Kajian	5
1.4 Skop Kajian	6
BAB 2 KAJIAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Elektrokimia Kakisan Akueus	8
2.2 Kadar Kakisan	9
2.3 Spektroskopi Impedans Elektrokimia	
2.3.1 Keupayaan dan penggunaanya	12
2.3.2 Sistem Kakisan Unggul	17
2.3.3 Kakisan Antaramuka Elektrod-Lapisan Salutan	22
2.4 Analisis Permukaan	
2.4.1 Mikroskop konfokal	24
2.5 Perlindungan Katod	29
2.6 Anod Korbanan	35
2.7 Bahan Anod Korbanan	38
2.7.1 Anod korbanan aluminium	39
2.8 Pengaktifan Anod Korbanan Aluminium	40
2.8.1 Aloji Aluminium Teraktif Unsur Logam	41
2.8.2 Oksida Logam sebagai Pengaktif Aloji Aluminium	43

2.8.3	Kecatatan Dwi-lapisan sebagai Pengaktif Aloi Aluminium	44
2.8.4	Ruthenium dan Ruthenium Dioksida	45
2.9	Mekanisme Pengaktifan Aloi Aluminium	46
2.10	Faktor Yang Mempengaruhi Kecekapan Anod	47
2.11	Kakisan Aloi Aluminium	48
BAB 3	KAEDAH EKSPERIMEN	
3.1	Pengenalan	52
3.2	Fabrikasi Aloi Aluminium	54
3.3	Larutan Pelopor Mendakan Ruthenium	57
3.4	Pembakaran Terma	58
3.5	Analisis Kimia Komposisi Aloi	59
3.6	Penentuan Berat Setara dan Ketumpatan Teori Aloi	61
3.7	Pencirian Sifat Fizik	
3.7.1	Penyediaan spesimen ujian	61
3.7.2	Penentuan ketumpatan aloi Eksperimen	62
3.7.3	Pengecaman fasa	63
3.7.4	Penentuan mikrostruktur	63
3.8	Penyediaan Medium Ujian	
3.8.1	Air laut	64
3.9	Kajian Sifat Elektrokimia	
3.9.1	Keupayaan Litar Terbuka	66
3.9.2	Penentuan Kadar Kakisan	67
3.9.3	Pengutuban Anod Potentiodynamik	69
3.9.4	Spekroskopi Impedans Elektrokimia	69
3.10	Penentuan Kapasiti dan Kecekapan Anod	70
3.11	Morfologi Permukaan dan Analisis Produk Kakisan	73
3.12	Taburan Mendakan dan Sebatian Antaralogam	73
3.13	Kajian Topografi Permukaan Aloi	74
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	Pencirian Aloi Aluminium	
4.1.1	Komposisi dan Fasa Aloi	75
4.2	Pengaruh Stanum Terhadap Sifat Elektrokimia Aloi Aluminium	81
4.3	Spekroskopi Impedans Elektrokimia Aloi Aluminium	90
4.3.1	Analisis Penyuaian Model Aloi Aluminium	95
4.4	Pencirian Substrat dengan Mendakan Ruthenium	103
4.5	Sifat Elektrokimia Substrat dengan Mendakan Ruthenium	106
4.5.1	Analisis Penyuaian Model Substrat dengan Mendakan Ru	114
4.6	Pembakaran Terma dan Kesannya Terhadap Substrat dengan	118

	Mendakan Ruthenium	
4.7	Kajian Elektrokimia Bahan	
4.7.1	Sifat elektrokimia Substrat dengan Mendakan RuO ₂	120
4.8	Spektroskopi Impedans Elektrokimia Mendakan Ruthenium Dioksida Terawat Haba	
4.8.1	Kesan Pembakaran Terma terhadap Ciri Elektrokimia Aloi	125
4.8.2	Penyuaian : Model Substrat dengan Mendakan Ru yang Terawat Haba	127
4.9	Morfologi Kakisan	134
4.10	Pemetaan Unsur Pengaktif Hibrid Aloi Aluminium	141
4.11	Kajian Topografi Permukaan Aloi Aluminium	146
4.12	Kapasiti dan Kecekapan Anod	153
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan Kajian	158
5.2	Cadangan Penyelidikan	161
	RUJUKAN	162
	APENDIX A	
A	Contoh Pengiraan % Kandungan Unsur Dalam Aloi	175
B	Contoh Pengiraan Beratara Aloi	176
C	Contoh Pengiraan Ketumpatan Aloi	177
D	Contoh Pengiraan Kapasiti dan Kecekapan Anod	178
	LAMPIRAN A	
	Rajah Mikroskopi Imbasan Elektron Aloi Aluminium	179
	SENARAI PENERBITAN	183
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

SENARAI RAJAH

NO.		MUKA SURAT
2.1	Kawasan anod dan katod yang terbentuk dipermukaan logam semasa tindak balas pelarutan atau kakisan sedang berlaku.	9
2.2	Lengkung pengutuban katod kakisan logam menunjukkan ekstrapolasi Tafel.	11
2.3	Arus sambutan, i dan isyarat keupayaan bentuk sinus, V .	14
2.4	Struktur permukaan spesimen yang membentuk ; (a) Lapisan berganda yang menyerupai- (b) Model sebuah kapasitor	18
2.5	(a) Model litar setara bagi antaramuka larutan/logam yang mengkakis. R_{sol} adalah rintangan larutan; R_p adalah rintangan pemindahan cas; C adalah kapasitor. (b) Plot Nyquist dan; (c) Plot Bode merujuk kepada model litar setara (a), frekuensi dalam unit hertz.	19
2.6	(a) Model litar setara bagi antara muka larutan/logam yang bersalut. R_{sol} adalah rintangan larutan; R_p adalah rintang pemindahan cas; C adalah kapasitor bagi logam; R_{po} adalah rintangan liang, CPE_{dl} adalah kapasitor bagi lapisan salutan. (b) Plot Nyquist dengan dua lengkung separuh bulatan.	23
2.7	Prinsip kerja dan sistem optik di dalam mikroskop konfokal	27
2.8	(a) Contoh imej konfokal yang diambil ke atas permukaan aloi Ti-6Al-4V menggunakan mikroskop konfokal imbasan laser (b) Analisis topografi ketinggian kepada sepanjang bahagian garis pada imej diatas. (c) Profil permukaan merujuk kepada taburan amplitud dan julat pencongan dan kurtosis.	28
2.9	Gambar rajah pengutuban yang mewakili kakisan logam, M dan perlindungan katod.	31
2.10	Profil permukaan logam mengkakis yang dilindungi dengan kaedah perlindungan katod. A = Kawasan anod, B = Kawasan katod	32
2.11	Perlindungan katod secara arus tertekan di dalam persekitaran akueus.	32
2.12	Perlindungan katod secara arus tertekan di dalam struktur konkrit.	33

2.13	Susunan siri Galvani beberapa logam dan aloi di dalam medium air laut.	34
2.14	Perlindungan katod secara anod korbanan.	35
2.15	Struktur hablur dan unsur ruthenium dalam bentuk serbuk.	45
2.16	Gambar rajah keseimbangan fasa sistem biner aloi Al-Zn.	49
2.17	Gambar rajah keseimbangan fasa sistem biner aloi Al-Sn.	49
2.18	Gambar rajah keseimbangan fasa sistem biner aloi Al-Mg.	49
2.19	Keratan tegak bagi gambar rajah keseimbangan fasa sistem terner Al-Zn-Mg pada komposisi Zn sebanyak 5.3% atom.	50
3.1	Rajah skematik sistem relau bagi peleburan logam untuk menghasilkan aloi tuangan.	55
3.2	Aloi aluminium yang difabrikasi melalui proses tuangan.	57
3.3	Profil pembakaran terma aloi aluminium dengan mendakan Ru	58
3.4	Carta alir kajian yang dijalankan	60
3.5	Pemegang spesimen Teflon untuk aloi bagi ujian elektrokimia	66
3.6	Komponen individu sel kakisan yang digunakan bagi pengukuran elektrokimia (a) Titian garam (b) Rod grafit berketumpatan tinggi (c) Salur keluar masuk gas (d) Kelalang 5 leher (e) Elektrod rujukan (EKT).	68
3.7	Rajah skematik susun atur alat dan radas pengujian elektrokimia.	68
3.8	Rajah skematik susun atur radas penentuan kapasiti anod	72
4.1	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.38%bt.Zn-2.07%bt.Mg yang digilap. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan larutan Keller's	76
4.2	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.32%bt.Zn-2.10%bt.Mg-0.19%bt.Sn (A-1) yang digilap berkilat. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan larutan Keller's	76
4.3	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.26%bt.Zn-2.05%bt.Mg-0.54%bt.Sn (A-2) yang digilap berkilat. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan larutan Keller's	77
4.4	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.26%bt.Zn-2.05%bt.Mg-0.54%bt.Sn (A-3) yang digilap berkilat. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan larutan Keller's	77

4.5	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.41%bt.Zn-1.77%bt.Mg-1.46%bt.Sn (A-4) yang digilap berkilat. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan larutan Keller's	77
4.6	Mikrograf KIL bagi permukaan aloi Al-5.45%bt.Zn-1.97%bt.Mg-1.97%bt.Sn (A-5) yang digilap berkilat. (a) Keadaan tuangan (b) Selepas dipunar dengan pemunar Keller's	78
4.7	Spektrum Sebaran Tenaga Sinar-x (EDAX) untuk aloi Al-5.41%bt.Zn-1.77%bt.Mg-1.46%bt.Sn (A-4) selepas digilap berkilat..	79
4.8	Diffraktogram sinar-x bagi aloi aluminium tuangan : (a) Aloii Al-Zn-Mg-Rujukkan (b) Al-5.32%bt.Zn-1.99%bt.Mg-0.19%bt.Sn (A-1) (c) Al-5.26%bt.Zn-1.98%bt.Mg-0.54%bt.Sn (A-2)	80
4.9	Diffraktogram sinar-x bagi aloi aluminium tuangan : (a) Al-5.07%bt.Zn-1.96%bt.Mg-0.94%bt.Sn (A-3) (b) Al-5.41%bt.Zn-1.77%bt.Mg-1.46%bt.Sn (A-4) (c) Al-5.45%bt.Zn-1.97%bt.Mg-1.84%bt.Sn (A-5)	80
4.10	Perubahan KLT terhadap masa rendaman bagi keluli karbon, aloi aluminium dan anod komersial (AK) di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	82
4.11	Perubahan KLT terhadap masa rendaman bagi aloi Al-Zn-Mg dengan 0.1%bt.Sn(A-1), 0.5%bt.Sn(A-2), 1.0%bt.Sn(A-3), 1.5%bt.Sn(A-4) dan 2.0%bt.Sn di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	83
4.12	Plot Tafel Al tulen (PA) dan Al anod komersial (AK) di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	85
4.13	Plot Tafel aloi Al-Zn-Mg, A-1 dan A-2 di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	86
4.14	Plot Tafel aloi Al-Zn-Mg dengan tambahan unsur Sn didalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	86
4.15	Plot pengutuban potentiodynamik bagi Al tulen (PA) dan Al anod komersial (AK) di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	90
4.16	Plot pengutuban potentiodynamik bagi aloi Al-Zn-Mg dan Al-Zn-Mg-xSn (x=0.1%bt. dan 0.5%bt.) di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	90
4.17	Plot pengutuban potentiodynamik bagi aloi Al-Zn-Mg-xSn (x=1.0%bt., 1.5%bt. dan 2.0%bt.) di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	90

4.18	Plot Nyquist (a) dan (b) merujuk kepada Al anod komersial (AK), Al tulen (PA), Al-Zn-Mg dan aloi kumpulan A (x%bt.Sn=0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%) selepas rendaman 1 jam di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	91
4.19	Plot Bode (a) dan (b) merujuk kepada Al anod komersial (AK), Al tulen (PA), Al-Zn-Mg dan aloi kumpulan A (x%bt.Sn=0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%) selepas rendaman 1 jam di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	92
4.20	Plot Nyquist (a) dan (b) merujuk kepada Al anod komersial (AK), Al tulen (PA), Al-Zn-Mg dan aloi kumpulan A (x%bt.Sn=0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%) selepas rendaman 10 jam di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	94
4.21	Plot Bode (a) dan (b) merujuk kepada Al anod komersial (AK), Al tulen (PA), Al-Zn-Mg dan aloi kumpulan A (x%bt.Sn=0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%) selepas rendaman 10 jam di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	95
4.22	Model litar setara yang dikemukakan untuk proses penyuaian dan permodelan spektrum SIE bagi aloi aluminium kumpulan A di dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	96
4.23	Plot Bode Al anod Komersial (AK)(a)(b) dan Aluminium Tulen (PA)(c)(d) untuk tempoh rendaman 1 jam dan 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22	97
4.24	Plot Bode aloi Al-Zn-Mg (a)(b) dan Al-Zn-Mg-0.1%Sn (c)(d) untuk tempoh rendaman 1 jam dan 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22	97
4.25	Plot Bode aloi Al-Zn-Mg-0.5%Sn (a)(b) dan Al-Zn-Mg-1.0%Sn (c)(d) untuk tempoh rendaman 1 jam dan 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22	98
4.26	Plot Bode aloi Al-Zn-Mg-1.5%Sn (a)(b) dan Al-Zn-Mg-2.0%Sn (c)(d) setelah rendaman 1 jam dan 10 jam di dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	98
4.27	Perubahan R_p dan CPE_{dl} aloi Al-Zn-Mg-xSn (x=0.1% hingga 2.0%) setelah (a) 1 jam dan (b) 10 jam rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	102

4.28	Diffraktogram sinar-x aloi Al-Zn-Mg-1.5%Sn dengan mendakan ruthenium: (a) Substrat (A-4) (b) 1000 bpj (B-1) (c) 4000 bpj (B-2) (d) 8000 bpj (B-3)	104
4.29	Diffraktogram sinar-x aloi Al-Zn-Mg-1.5%Sn dengan mendakan ruthenium: (a) Substrat (A-4) (b) 12000 bpj (B-4) (c) 16000 bpj (B-5)	105
4.30	Perubahan KLT terhadap masa bagi substrat dengan mendakan Ru yang direndam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	106
4.31	Plot Tafel untuk substrat dengan mendakan ruthenium 1000 (B1) dan 4000 (B2) bpj dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. (Aloi A-4 sebagai spesimen rujukkan).	108
4.32	Plot Tafel untuk substrat dengan mendakan ruthenium 8000 (B3), 12000 (B4) & 16000 (B5) bpj dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1	108
4.33	Plot pengutuban potentiodynamik aloi kumpulan B (1000 dan 4000 bpj) dalam air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1.(Aloi A-4 sebagai rujukan).	109
4.34	Plot pengutuban potentiodynamik aloi kumpulan B (8000, 12000 dan 16000 bpj) dalam air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1.	110
4.35	Plot Nquist (a) dan (b) memaparkan aloi B1, B2, B3, B4 dan B5 selepas rendaman 1 jam dalam medium air laut, 27°C, pH 8.1 - (A4 – aloi rujukkan).	111
4.36	Plot Bode (a) dan (b) untuk substrat dengan mendakan Ru 1000 (B1), 4000 (B2), 8000 (B3), 12000 (B4) dan 16000 (B5) bpj selepas rendaman 1 jam dalam medium air laut, 27°C, pH 8.1.	112
4.37	Plot Nquist (a) dan (b) substrat dengan mendakan Ru aloi B-1, B-2, B-3, B-4 dan B-5 selepas rendaman 10 jam dalam air laut, 27°C, pH 8.1.(A-4-aloi rujukkan).	113
4.38	Plot Bode (a) dan (b) untuk substrat dengan mendakan Ru 1000 (B-1), 4000 (B-2), 8000 (B-3), 12000 (B-4) dan 16000 (B-5) bpj selepas rendaman Selama 10 jam dalam air laut 27°C, pH 8.1.	113
4.39	Plot Bode substrat dengan mendakan Ru 1000 bpj (B-1) setelah rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	114

4.40	Plot Bode substrat dengan mendakan RuO ₂ 4000 bpj (B2) setelah rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	115
4.41	Plot Bode untuk substrat dengan mendakan RuO ₂ 8000 bpj (B3) setelah rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	115
4.42	Plot Bode untuk substrat dengan mendakan RuO ₂ 12000 bpj (B4) setelah rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	115
4.43	Plot Bode untuk substrat dengan mendakan RuO ₂ 16000 bpj (B5) setelah rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	116
4.44	Perubahan nilai R_p dan CPE_{dl} terhadap kepekatan larutan pelopor Ru (bpj) yang dimendakan pada permukaan substrat untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	117
4.45	<p>Diffraktogram sinar-x untuk unsur ruthenium (Ru) selepas menjalani proses pengeringan dan rawatan haba melalui kaedah pembakaran terma:</p> <p>(a) Serbuk ruthenium (RuCl₃.xH₂O) – Rujukkan.</p> <p>(b) Pengeringan: 150°C untuk 30 minit.</p> <p>(c) Pengeringan dan pembakaran terma: 400°C dalam tempoh 30 minit.</p> <p>(d) Pengeringan dan pembakaran terma: 400°C dalam tempoh 60 minit.</p> <p>(e) Pengeringan dan pembakaran terma: 400°C dalam tempoh 120 minit.</p>	120
4.46	Perubahan nilai KLT aloi kumpulan C terhadap tempoh rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	121
4.47	Plot Tafel bagi substrat yang menjalani pembakaran terma untuk tempoh 30 minit (C-1) dan 60 minit (C-2) semasa rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Aloi B-3 (8000 bpj) sebagai Rujukkan.	122

4.48	Plot Tafel bagi substrat yang menjalani pembakaran terma untuk tempoh 90 minit (C-3), 120 minit (C-4) dan 150 minit (C-5) semasa rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	123
4.49	Plot pengutuban potentiodynamik aloi B-3(8000 bpj-rujukan), substrat dengan pembakaran terma 30 min (C-1) dan 60 minit (C-2) dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1.	125
4.50	Plot pengutuban potentiodynamik substrat dengan pembakaran terma 90 minit (C-3), 120 minit (C-4) dan 150 minit (C-5) dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	125
4.51	Plot Nyquist (a) dan (b) aloi kumpulan C bagi rendaman 1 jam dalam air laut, 27°C, pH 8.1.	126
4.52	Plot Nyquist (a) dan (b) aloi kumpulan C bagi rendaman 10 jam dalam air laut, 27°C, pH 8.1.	126
4.53	Plot Bode substrat yang menjalani pembakaran terma 30 minit (C-1) untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.22.	127
4.54	Plot Bode substrat yang menjalani pembakaran terma 60 minit (C-2) untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.58.	127
4.55	Plot Bode substrat yang menjalani pembakaran terma 90 minit (C-3) untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.58.	128
4.56	Plot Bode substrat yang menjalani pembakaran terma 120 minit (C-4) untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.58.	128
4.57	Plot Bode substrat yang menjalani pembakaran terma 150 minit (C-5) untuk rendaman (a) 1 jam dan (b) 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Spektrum simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.58.	128
4.58	Model litar setara yang dikemukakan untuk proses penyuuaian dan permodelan spektrum SIE bagi aloi aluminium kumpulan C dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	128
4.59	Plot Nyquist substrat dengan pembakaran terma (a)30 min (C-1), (b)60 min (C-2), (c)90 min, (d)120 min dan (e)150 min untuk rendaman 72 jam dalam air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1. Spektrum	130

simulasi ditunjukkan sebagai garis terus dengan menggunakan suaian model litar setara Rajah 4.60.

- 4.60 Model litar setara yang dikemukakan untuk proses penyuaiian dan pemodelan spektrum SIE bagi aloi aluminium didalam medium air laut segar untuk rendaman 72 jam pada suhu 27 °C, pH 8.1. 130
- 4.61 Plot Nyquist (a) dan (b) aloi kumpulan C bagi rendaman 72 jam dalam air laut 27°C, pH 8.1. 131
- 4.62 Perbandingan nilai R_p dan CPE_{dl} aloi kumpulan C mengikut tempoh pembakaran terma (min) untuk rendaman (a) satu jam dan (b) 10 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. (C-1 = 30 min, C-2 = 60 min, C-3 = 90 min, C-4 = 120 min dan C-5 = 150 min) 133
- 4.63 Perbandingan nilai R_p dan CPE_{dl} aloi kumpulan C mengikut tempoh pembakaran terma (min) untuk rendaman 72 jam dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. (C-1 = 30 min, C-2 = 60 min, C-3 = 90 min, C-4 = 120 min dan C-5 = 150 min) 133
- 4.64 Mikrograf SEM bagi permukaan aluminium tulen (PA), aloi anod komersial (AK), Al-Zn-Mg dan Al-Zn-Mg-0.1%Sn selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan.
(a) Al tulen (PA) dan spektrum EDAX produk kakisan.
(b) Al-9.01%Zn-0.44%Fe (AK) dan spektrum EDAX produk kakisan.
(c) Al-Zn-Mg dan spectrum EDAX produk kakisan.
(d) Al-Zn-Mg-0.1%Sn (A-1) dan spektrum EDAX produk kakisan. 135
- 4.65 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan.
(a) Al-Zn-Mg-1.46%Sn (A-4) dan spektrum EDAX produk kakisan.
(b) Al-Zn-Mg-1.84%Sn (A-5) 136
- 4.66 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan.
(a) Aloi B-1 (1000 bpj). 137
- 4.67 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan.
(a) Aloi B-3 (8000 bpj) dan spektrum EDAX produk kakisan. 138
- 4.68 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat dengan mendakan ruthenium selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada 138

suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan.

(a) Aloi B-5 (16000 bpj) dan spektrum EDAX produk kakisan.

- 4.69 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat dengan mendakan ruthenium yang menjalani pembakaran terma selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan. 139
(a) Aloi C-1 (30 min) dan spektrum EDAX produk kakisan.
(b) Aloi C-2 (60 min).
- 4.70 Mikrograf SEM bagi permukaan substrat dengan mendakan ruthenium yang menjalani pembakaran terma selepas ujian pegutuban elektrokimia dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Segiempat kuning adalah lokasi imbasan EDAX dijalankan. 140
(a) Aloi C-4 (120 min) dan spektrum EDAX produk kakisan.
- 4.71 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi Al-Zn-Mg-1.46%Sn (A-4) - sebagai rujukkan. 141
- 4.72 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi aluminium (B-1). 142
- 4.73 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi aluminium (B-2). 143
- 4.74 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi aluminium (B-3). 144
- 4.75 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi aluminium (B-4). 145
- 4.76 Kerja pemetaan mengenalpasti taburan unsur logam di permukaan aloi aluminium (B-5). 146
- 4.77 Topografi permukaan dan profil kedalaman specimen disepanjang garis rujukan dipermukaan aloi aluminium selepas rendaman dalam air laut dalam tempoh 72 jam pada keupayaan litar terbuka. 147
(a) Aluminium tulen (PA).
(b) Al-Zn-Fe (AK).
(c) Al-Zn-Mg.
- 4.78 Topografi permukaan dan profil kedalaman spesimen disepanjang garis rujukan dipermukaan aloi Al-Zn-Mg-xSn (kumpulan A) selepas rendaman dalam air laut dalam tempoh 72 jam pada keupayaan litar terbuka. 149
(a) xSn=0.1%bt.(A-1)
(b) xSn=0.5%bt.(A-2)
(c) xSn=1.0%bt.(A-3)
(d) xSn=1.5%bt.(A-4)

(e) $x_{Sn}=2.0\% \text{bt. (A-5)}$

- 4.79 Topografi permukaan dan profil kedalaman spesimen disepanjang garis rujukan dipermukaan substrat dengan mendakan Ru berkepekatan x bpj (kumpulan B) selepas rendaman dalam air laut dalam tempoh 72 jam pada keupayaan litar terbuka. 151
- (a) $x \text{ bpj}=4000$ (B-2).
 - (b) $x \text{ bpj}=8000$ (B-3).
 - (c) $x \text{ bpj}=12000$ (B-4).
- 4.80 Topografi permukaan dan profil kedalaman spesimen disepanjang garis rujukan dipermukaan substrat dengan mendakan Ru terawatt pembakaran terma (kumpulan C) selepas rendaman dalam air laut dalam tempoh 72 jam pada keupayaan litar terbuka. 153
- (a) 30 minit (C-1).
 - (b) 60 minit (C-2).
 - (c) 90 minit (C-3).
- 4.81 Kecekapan aloi aluminium tuangan dalam air laut pada suhu 27°C , pH 8.1. 157
- (a) Aloi kumpulan A – x % Sn ($x = 0.1\%, 0.5\%, 1.0\%, 1.5\%$ dan 2.0%).
 - (b) Aloi kumpulan B – Kepekatan larutan pelopor ruthenium (Ru) dalam bahagian per juta (bpj).
 - (c) Aloi kumpulan C – Tempoh pembakaran terma 30 min, 60 min, 90 min, 120 min dan 150 min.

24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Persamaan impedans bagi beberapa contoh komponen litar dalam Spektroskopi Impedans Elektrokimia (SIE).	15
2.2	Perbandingan bagi teknik pengimejan yang berbeza	26
2.3	Definisi bagi beberapa terminologi berkaitan dengan parameter kekasaran permukaan	27
2.4	Beberapa kelebihan dan kekurangan kaedah arus tertekan dan anod korbanan	36
2.5	Keupayaan beberapa jenis anod korbanan bagi perlindungan katod di dalam air laut	39
3.1	Aloi aluminium yang dikaji	54
3.2	Sifat fizik logam tulen yang digunakan dalam kajian	55
3.3	Komposisi air laut tropika yang digunakan sebagai medium kajian	65
3.4	Komposisi kimia keluli yang dianalisis dengan menggunakan peralatan Spektrometer Serapan Atom (AAS).	71
4.1	Komposisi sebenar Al tulen (PA), Al anod komersial (AK) dan aloi kumpulan A yang dianalisis menggunakan Spektrometer Serapan Atom (AAS)	78
4.2	Berat setara dan ketumpatan aloi Al yang ditentukan berdasarkan komposisi sebenar aloi Al dalam Jadual 4.1.	79
4.3	Bacaan KLT aloi Al di dalam air laut adalah pada suhu 27°C, pH 8.1.	84
4.4	Data kakisan bagi aluminium tulen (PA), aluminium anod komersial (AK) dan aloi Al-Zn-Mg-xSn (x=0.1%,0.5%,1.0%, 1.5% dan 2.0%) dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	87
4.5	Parameter SIE daripada aloi Al yang direndam selama 1 jam dan 10 jam di dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Plot simulasi diwakili oleh garisan terus hasil penyuaian dengan model litar setara Rajah 4.22.	99
4.6	Komposisi sebenar aloi kumpulan B yang dianalisis dengan alat Spektrometer Serapan Atom (SSA).	101

4.7	Berat setara dan ketumpatan aloi Al yang ditentukan berdasarkan komposisi sebenar aloi dalam Jadual 4.6.	103
4.8	Bacaan nilai KLT aloi Al di dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	103
4.9	Data kakisan aloi kumpulan B setelah rendaman di dalam medium air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	107
4.10	Parameter SIE yang diperolehi daripada aloi kumpulan B untuk rendaman 1 jam dan 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Plot simulasi diwakili oleh garisan yang disesuaikan dengan model litar setara Rajah 4.22.	109
4.11	Komposisi sebenar substrat kumpulan C yang dianalisis menggunakan Spektrometer Serapan Atom (AAS).	116
4.12	Berat setara dan ketumpatan aloi kumpulan C yang ditentukan berdasarkan komposisi sebenar aloi Al dalam Jadual 4.11.	118
4.13	Nilai KLT aloi kumpulan C dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	119
4.14	Data kakisan aloi kumpulan C selepas rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	122
4.15	Parameter SIE aloi kumpulan C untuk rendaman 1 jam dan 10 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Plot simulasi diwakili oleh garisan yang disesuaikan dengan model litar setara Rajah 4.58.	123
4.16	Parameter SIE yang diperolehi daripada aloi kumpulan C selepas rendaman selama 72 jam dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1. Plot simulasi diwakili oleh garisan lurus yang disesuaikan dengan model litar setara Rajah 4.59.	129
4.17	Nilai-nilai parameter kekasaran permukaan aloi R_{s_a} , R_{s_k} dan R_{k_u} bagi aloi aluminium pada sebelum dan selepas rendaman dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	132
4.18	Nilai kapasiti dan kecekapan aluminium tulen (PA) dan spesimen aloi aluminium tuangan dalam air laut pada suhu 27°C, pH 8.1.	150
4.19	Nilai kapasiti dan kecekapan anod aluminium tulen (PA) dan spesimen aloi aluminium tuangan di dalam medium air laut pada suhu 27 °C, pH 8.1.	155

52
53

SENARAI SINGKATAN

AAS	Atomic Absorption Spectrometer
AC	Arus Ulang-alik
Aj	Ampere. Jam
ArKr	Argon-Kripton
ASTM	American Society for Testing and Materials
STS-X	Energy Dispersive X-ray
EHP	Elektrod Hidrogen Piawai
SIE	Electrochemical Impedance Spectroscopy
EKT	Elektrod Kalomel Tepu
GP	Guiner Preston
HeNe	Helium-Neon
KIL	Konfokal Imbasan Laser
KLT	Keupayaan Litar Terbuka
LPTL	Larutan Pejal Tepu Lampau
MIE	Scanning Electron Microscopy
MIL	Military Specification
MPY	Mils Per Year
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SCE	Saturated Calomel Electrode
SIE	Electrochemical Impedance Spectroscopy
SSA	Spektrometer Serapan Atom
STS-X	Sebaran Tenaga Sinar-X
CPE	Komponen Fasa Tetap
CPE _{po}	Komponen Fasa Tetap Pada Kawasan Lubang
CPE _j	Komponen Fasa Tetap Pada Lapisan Jerapan

54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

SENARAI SIMBOL

a	Parameter kekisi
B	Beratara aloi (g/tara)
C	Kapasitor (F/cm ²)
CPE _{po}	Kapasitor pada kawasan lubang (F/cm ²)
CPE _p	Kapasitor pada lapisan pengutuban (F/cm ²)
CPE _{dl}	Kapasitan filem dwi-lapisan (F/cm ²)
d	Ketumpatan aloi (g/cm ³)
E	Keupayaan (V)
e_{H^+/H_2}	Keupayaan elektrod sel-separa (V)
E_{H^+/H_2}	Keupayaan penurunan ion hidrogen (V)
E_{M/M^+}	Keupayaan kakisan logam, M (V)
E _a	Keupayaan kakisan anod (V)
E _c	Keupayaan kakisan katod (V)
E _e	Tenaga kinetik fotoelektron
E _{kakis}	Keupayaan kakisan (V)
f	Frekuensi (Hz)
F	Pemalar Faraday (96 480 Coulomb/mol)
hν	Tenaga sinar-x tuju
i	Ketumpatan arus (A/cm ²)
I	Arus (A)
i _a	Ketumpatan arus anod (A/cm ²)
i _c	Ketumpatan arus katod (A/cm ²)
i _{kakis}	Ketumpatan arus kakisan (A/cm ²)
i _o	Ketumpatan arus penukar (A/cm ²)
j	Nombor khayalan
n _j	Nilai eksponen bagi KFT _j (Nilai antara 0.0 hingga 1.0)
n _{lu}	Nilai eksponen bagi KFT _{lu} (Nilai antara 0.0 hingga 1.0)
n _p	Nilai eksponen bagi KFT _p (Nilai antara 0.0 hingga 1.0)
N _x N _y	Nombor piksel pada arah x dan y
P	Tekanan (atm)
Q	Pemalar bebas frekuensi
R	Pemalar gas (8.2056 x 10 ⁻² liter. atm. K ⁻¹ . mol ⁻¹)
R	Perintang

R_l	Rintangan larutan ($\Omega.cm^2$)
R_{lu}	Rintangan lubang ($\Omega.cm^2$)
R_p	Rintangan pengutuban ($\Omega.cm^2$)
R_{pf}	Rintangan lapisan filem ($\Omega.cm^2$)
S	Jarak antara titik kuar (mm)
S_a	Purata kekasaran permukaan
S_c	Aras rujukan atau satah purata
S_q	Punca kuasa dua purata kekasaran permukaan
S_{sk}	Pencong
S_t	Kedalaman kekasaran maksima (μm)
T	Suhu
T_p	Tenaga ikatan (eV)
x_i	Titik piksel arah X yang ke- i
y_j	Titik piksel arah Y yang ke- j
Z	Impedans ($\Omega.cm^2$)
$z(x_i, y_j)$	Ketinggian pada titik piksel arah X atau Y
Z_{jum}	Jumlah impedans ($\Omega.cm^2$)
Z_{khayal}	Impedans khayalan ($\Omega.cm^2$)
Z_{maks}	Ketinggian tertinggi dalam julat pengukuran
Z_{min}	Ketinggian terendah dalam julat pengukuran
Z_{nyata}	Impedans nyata ($\Omega.cm^2$)
$ Z $	Modulus impedans ($\Omega.cm^2$)
β_a	Pemalar Tafel anod (V/dekad)
β_c	Pemalar Tafel katod (V/dekad)
θ	Sudut fasa (darjah)
λ	Panjang gelombang (μm)
π	Pai (3.142)
τ	Pemalar masa
Ω	Frekuensi sudut (rad/s)
Φ_s	Fungsi kerja spektrometer

69
70
71
72
73
74
75

76 **DEVELOPMENT OF HYBRID ACTIVATION SYSTEM FOR**
77 **ALUMINIUM SACRIFICIAL ANODE**

78
79 **ABSTRACT**

80
81 Aluminium through minimal preparation and modification, applicable for a wide range
82 of applications in electronics, aerospace and chemical industries. In this study, works
83 were conducted toward the potential of aluminium in marine applications by developing
84 aluminium sacrificial anode with hybrid activation system. The main problem faced by
85 aluminium is a tendency to passivate due to the formation of protective oxide layer on
86 the surface. In this study, a metal tin (Sn) and ruthenium (Ru) was used due to its
87 potential as an activation agent for dimensional stable anodes (DSA) used in the
88 production of chloride with a record of more than 30 years with 10 year of life span.
89 While Sn has been used as grain refiners and activator agent for aluminium alloys.
90 Casting methods used for the fabrication of Al-Zn-Mg alloys with addition of Sn until
91 exceeding its solids solubility factor in aluminium matrix (α -Al) which causes it to react
92 with Mg to form Mg_2Sn intermetallic compounds. This is achieved by adding of more
93 than 1.0%wt. of Sn element. The presence of Mg_2Sn has increased the electrochemical
94 performance of A-4 (Sn=1.46%wt.) alloy specimen and later be used as a substrate for
95 the subsequent studies. The potential of A-4 alloy specimen were further enhanced
96 through the used of deposited Ru. Its ability as an activator were electrochemically
97 tested while its physical appearance were monitored through observation and analysis of
98 its morphology and topographical aspects. Through Impedance Electrochemical
99 Spectroscopy (EIS) analysis, substrate with 8000ppm deposited Ru has managed to
100 decreased the surface polarization resistance R_p from $3240 \Omega.cm^2$ (A-4) to $152 \Omega.cm^2$
101 (B-3) after 10 hours immersion in seawater. Small R_p value indicates the easiness of
102 alloy to decompose when exposed to electrolyte. B-3 alloy performance improved by
103 heat treatment through thermal firing process at a temperature of $400^\circ C$ for a period of
104 30, 60, 90, 120 and 150 minutes. As a result, alloys undergo thermal firing process of 30
105 minutes has giving the highest corrosion rates of $244 \mu m/years$ with a current density of
106 $178 \mu A/cm^2$ compared to $240 \mu m/years$ corrosion rates and $158 \mu A/cm^2$ current density
107 by B-3 alloy. Through all the improvement made, the efficiency of the alloy was
108 increased from 82.95% (A-4) to 89.65% (B-3) and finally 91.76% (C-1). This was also
109 borne out by the topographical characteristic of deposited RuO_2 on the aluminium
110 alloy surface that led to uniform corrosion attacks. This is also shown by the decreased
111 of surface roughness R_{s_a} from $98.031 \mu m$ to $56.993 \mu m$ and finally $44.632 \mu m$ for
112 specimen A-4, B-3 and C-1. Deposited RuO_2 has been promoting the formation of
113 surface with macro and micro crack to help the migration of Al^{+3} ions to facilitate alloy
114 dissolution reaction. Through the distinctive capabilities of both Sn and deposited RuO_2 ,
115 the performance and efficiency of developed aluminium alloy has been successfully
116 enhanced when used in sea water.

117
118
119
120
121
122
123

124 **PEMBANGUNAN SISTEM PENGAKTIFAN HIBRID**
125 **ANOD KORBANAN ALUMINIUM**

126
127 **ABSTRAK**

128
129 Aluminium melalui penyediaan serta pengubahsuaian yang minima telah digunakan
130 untuk aplikasi yang luas dalam bidang elektronik, aeroangkasa dan juga industri kimia.
131 Dalam kajian ini, penerokaan potensi aluminium dibuat untuk aplikasi dipersekitaran
132 marin yang mana aluminium dibangunkan sebagai anod korbanan yang diaktifkan
133 dengan sistem pengaktifan hibrid. Masalah utama yang sering dihadapi oleh aluminium
134 ialah berkecenderungan untuk menjadi pasif berikutan pembentukan lapisan pelindung
135 oksida dipermukaan. Dalam kajian ini logam stanum (Sn) dan ruthenium (Ru) telah
136 digunakan berikutan potensinya sebagai agen pengaktif untuk anod berdimensi stabil
137 (DSA) yang digunakan dalam industri penghasilan klorida dengan rekod lebih daripada
138 30 tahun dengan jangkahayat sehingga 10 tahun. Manakala Sn pula digunakan sebagai
139 agen pengecil butiran logam dan agen pengaktifan aloi aluminium. Kaedah tuangan
140 digunakan untuk proses fabrikasi aloi Al-Zn-Mg dengan tambahan Sn sehingga ke tahap
141 lampau larut pepejalnya di dalam matrik aluminium (α -Al) yang menyebabkannya
142 bertindak balas dengan Mg seraya membentuk sebatian antaralogam Mg_2Sn . Keadaan
143 ini dicapai dengan menambah unsur Sn melebihi 1.0% berat. Kehadiran antaralogam
144 Mg_2Sn telah meningkatkan prestasi elektrokimia aloi A-4 (Sn=1.46%bt.) lantaran
145 digunakan sebagai substrat untuk kajian seterusnya. Potensi aloi A-4 seterusnya
146 ditingkatkan melalui penggunaan mendakan Ru. Keupayaannya sebagai pengaktif aloi
147 telah diuji secara elektrokimia sementara penampilan fizikalnya telah dipantau melalui
148 pemerhatian dan analisis terhadap morfologi dan topografi permukaan. Melalui analisis
149 dengan Spektroskopi Impedans Elektrokimia (SIE), substrat dengan mendakan 8000 bpj
150 Ru telah dapat menurunkan rintangan pengutuban, R_p aloi daripada $3240 \Omega.cm^2$
151 (substrat - aloi A-4) kepada $152.9 \Omega.cm^2$ (B-3) selepas rendaman 10 jam di dalam air
152 laut. Nilai R_p yang kecil menunjukkan aloi mudah melarut apabila terdedah kepada
153 elektrolit. Prestasi aloi B-3 ditingkatkan dengan rawatan haba secara pembakaran terma
154 pada suhu $400^\circ C$ untuk tempoh 30, 60, 90, 120 dan 150 minit. Hasilnya, aloi yang
155 menjalani tempoh pembakaran terma 30 minit telah menghasilkan kadar kakisan
156 tertinggi iaitu $244 \mu m/tahun$ dengan ketumpatan arus $178 \mu A/cm^2$ (C-1) berbanding
157 kadar kakisan $240 \mu m/tahun$ dan ketumpatan arus $158 \mu A/cm^2$ oleh aloi B-3. Melalui
158 setiap peningkatan yang dibuat, kecekapan aloi telah meningkat daripada 82.95% (A-4)
159 kepada 89.65% (B-3) dan akhirnya 91.76% (C-1). Peningkatan ini berlaku melalui ciri-
160 ciri topografi mendakan RuO_2 di permukaan aloi aluminium yang mendorong kepada
161 serangan kakisan yang sekata. Ini juga ditunjukkan melalui penurunan kekasaran
162 permukaan R_s_a iaitu daripada $98.031 \mu m$ kepada $56.993 \mu m$ dan akhirnya $44.632 \mu m$
163 untuk aloi A-4, B-3 dan C-1. Mendakan RuO_2 telah menghasilkan permukaan merekah
164 secara makro dan mikro yang membantu migrasi ion Al^{3+} dan ion Cl^- untuk
165 menjalankan tindak balas pelarutan aloi. Melalui kelebihan kedua-dua Sn dan mendakan
166 RuO_2 , prestasi dan kecekapan aloi aluminium yang dibangunkan telah berjaya
167 ditingkatkan apabila digunakan dalam air laut.
168