

UniMAP

**Pengoptimuman Parameter Penuangan Untuk Alooi
Magnesium (Mg) Sebagai Anod Korbanan Bagi
Kegunaan Bawah Tanah**

**HAZRIN JAHIDI BIN JAAFAR
(1030410541)**

Laporan tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah
Sarjana Sains dalam bidang Kejuruteraan Bahan

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan
UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

2015

©This item is protected by original copyright

PENGHARGAAN



Dengan nama ALLAH Yang Maha Pemurah lagi Maha Mengasihani

Alhamdulillah, syukur kehadiran ALLAH Subha Nahu Waataala di atas limpah dan kurnia-Nya. Sesungguhnya segala rintangan dan kesulitan yang dihadapi sepanjang pengajian, melaksanakan kajian serta penulisan tesis ini dapat dihadapi dan ditempuhi dengan bantuan serta rahmat daripada-Nya. Ucapan jutaan terima kasih yang tak terhingga didedikasikan kepada Prof. Dr. Azmi Bin Rahmat, selaku penyelia utama yang telah banyak memberikan tunjuk ajar, mencurahkan ilmu dan menyemai minat menyelidik yang tiada nilainya. Selain itu, beliau banyak memberikan bantuan, tunjuk ajar, idea serta pandangan sehingga kajian ini dapat diselesaikan dengan jayanya. Kepada Brig. Jen. Dato' Prof. Dr. Kamarudin Hussin dan Dr. Mahadi Che Isa (STRIDE), kesudian Yang Berbahagia Dato' melapangkan masa, menghulurkan pelbagai bantuan serta bertindak sebagai penyelia bersama amat dihargai dan jutaan terima kasih diucapkan.

Tidak dilupakan kepada Dekan, Timbalan-timbalan Dekan di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan (PPK Bahan) dan juga kepada semua kakitangan akademik dan teknikal di PPK Bahan, terima kasih tak terhingga diucapkan kerana banyak memberi bantuan dan tunjuk ajar sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Jutaan terima kasih juga diucapkan kepada En Shaiful Rizam, Pensyarah Kanan di PPK Bahan kerana telah banyak membantu dalam aspek eksperimentasi serta penggunaan alatan-alatan dan juga penggunaan bahan mentah sehingga kajian ini dapat diselesaikan.

Teristimewa buat keluarga tercinta, Jaafar bin Ismail dan Hayati binti Ahmad yang banyak memberikan dorongan dan sokongan dari segi mental, fizikal dan sumber kewangan yang berterusan tanpa prijudis sepanjang tempoh getir yang dilalui amatlah tinggi nilainya dan hanya ALLAH Yang Maha Esa yang dapat membalasnya. Buat saudara mara serta rakan-rakan taulan yang sedikit sebanyak menjadi pembakar semangat dan memberikan kepercayaan sepenuhnya sehingga kajian ini dapat diselesaikan amatlah dihargai. Buat yang terakhir, kepada semua yang telah terlibat memberikan bantuan secara langsung atau tidak langsung sehingga kejayaan ini dapat dikecapi, jutaan terima kasih diucapkan dan semoga ALLAH Pencipta Sekeliam Alam memberikan rahmat dan keberkatan kepada kalian semua. Terima Kasih.

ISI KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PERAKUAN TESIS	I
PENGHARGAAN	II
ISI KANDUNGAN	III
SENARAI RAJAH	VII
SENARAI JADUAL	XI
SENARAI SIMBOL	X
SENARAI SINGKATAN	XI
ABSTRAK	XII
ABSTRACT	XIII
BAB 1 PENGENALAN	
1.0 Kakisan	1
1.1 Kawalan Kakisan	3
1.2 Pernyataan Permasalahan	4
1.3 Rasional Kajian	5
1.4 Penuangan Logam	
1.4.1 Peleburan Logam	7
1.4.2 Suhu Pemanasan Acuan	7
1.5 Objektif Kajian	8

BAB 2 KAJIAN PERSURATAN

2.0	Tindak Balas Elektrokimia	9
2.1	Gambar Rajah Keupayaan/pH (Pourbaix)	10
2.2	Kadar Kakisan	13
2.3	Perlindungan Katod	16
2.3.1	Perlindungan Katod Arus Terkesan (ICCP)	18
2.3.2	Perlindungan Katod Anod Korbanan (SACP)	18
2.4	Analisis Permukaan Logam	23
2.5	Bahan Anod Korbanan	23
2.6	Parameter Penuangan Aloi Magnesium (Mg)	25
2.6.1	Peleburan Aloi Mg	25
2.6.2	Pemanasan Acuan	26
2.7	Anod Korbanan Aloi Mg	26
2.8	Kecekapan Anod	27
2.9	Faktor Yang Mempengaruhi Kecekapan Anod	28

BAB 3 METODOLOGI PENYELIDIKAN

3.0	Pengenalan	29
3.1	Fabrikasi Relau	32
3.2	Penyediaan Acuan	33
3.3	Penyediaan Sampel	35
3.4	Analisis Komposisi Kimia Aloi	37
3.5	Jisim Beratara Dan Ketumpatan Aloi	38

3.6	Penyediaan Sampel Ujikaji	39
3.7	Perincian Medium Ujikaji	41
3.7.1	Medium Larutan Elektrolit	41
3.7.2	Medium Larutan Pembersih	41
3.7.3	Elektrod Rujukan (EKT)	42
3.8	Pengukuran Ketumpatan Aloi Ujikaji	42
3.9	Pemerhatian Mikrostruktur	43
3.10	Analisis Tindak Balas Elektrokimia	44
3.10.1	Keupayaan Litar Terbuka	44
3.10.2	Pengukuran Kapasiti Dan Kecekapan Anod	46
3.10.3	Ujian Pengaruh Masa Kakisan Dirancang (PIT)	50
3.10.4	Pengutuban Anod Potensiodinamik	53

BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.0	Suhu Peleburan Dan Pemanasan Acuan	56
4.1	Komposisi Kimia Aloi	58
4.2	Ketumpatan Aloi	60
4.3	Mikrostruktur Aloi	63
4.4	Mikroskopi Imbasan Elektron (SEM)	65
4.5	Analisis Elektrokimia	67
4.5.1	Ujian Keupayaan Litar Terbuka (KLT)	67
4.5.2	Ujian Pengaruh Masa Kakisan Dirancang (PIT)	72
4.5.3	Pengukuran Kapasiti Dan Kecekapan Anod	76

4.5.4	Pengutuban Anod Potensiodinamik	79
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	84
RUJUKAN		86
LAMPIRAN		89

©This item is protected by original copyright

SENARAI RAJAH

No.		MUKA SURAT
1.1	Kesan Kakisan Terhadap (a) Saluran Paip Bawah Tanah dan (b) Struktur Paip Pelantar Minyak	5
2.1	Gambar Rajah Pourbaix dan Keupayaan Logam Mg di dalam Persekitaran Air Bersuhu 27°C.	11
2.2	Keadaan Logam di dalam (a) Keadaan Imun, Tiada Pelarutan Logam (b) Keadaan Aktif, Dengan Pelarutan Logam (c) Keadaan Pasif, Dengan Pembentukan Lapisan Oksida Pelindung Dalam Sela Masa Tertentu	12
2.3	Pengutuban Anodik dan Katodik	15
2.4	Sel Tindak Balas Kakisan Bagi Dua Logam Bercantum	17
2.5	Rajah Skematik Arah Arus yang dibekalkan daripada Terminal Pembekalan Kuasa Luaran yang digunakan dalam Kaedah Perlindungan katod Arus Terkesan ke dalam litar.	18
2.6	Perlindungan Katod Menggunakan Kaedah Anod Korbanan	19
2.7	Susunan Siri Galvanik Beberapa Logam dan Aloi di dalam Medium Air Laut menggunakan Elektrod Kalomel Tepu sebagai Elektrod Rujukan	22
3.1	Carta Aliran Bagi Penyediaan Sampel Aloi Mg Melalui Proses Penuangan	30
3.2	Kaedah Kajian bagi Setiap Ujikaji ke Atas Setiap Anod Korbanan.	31
3.3	Gambar Rajah Skematik Penggunaan Relau Elektrik dalam Proses Peleburan Aloi Mg	33
3.4	Lukisan Rajah Acuan yang digunakan bagi Fabrikasi Aloi Mg	34
3.5	Proses Pelarasan Suhu Peleburan dalam Fabrikasi Aloi Mg	37
3.6	Produk Tuangan Aloi Mg Selepas Proses Penuangan	37
3.7	Ukuran Penyediaan Spesimen Ujikaji Untuk Setiap Sampel Aloi Mg	40
3.8	Kedudukan Cerapan Mikrostruktur Bagi Setiap Sampel Aloi Mg	44
3.9	Rajah Pendawaian Skematik untuk Ujian Keupayaan Litar Terbuka (KLT)	45
3.10	Rajah Skematik dan Susunan Alatan Bagi Penentuan Kapasiti Anod dijalankan.	49

3.11	Kaedah Pemilihan Tempoh Pendedahan Bagi Ujian PIT ini dijalankan	51
3.12	Gambar Rajah Pendawaian Untuk Pengutuban Anod Potensiodinamik	54
3.13	Pemegang Khas Aloi Untuk Kegunaan Ujikaji Pengutuban Anod Potensiodinamik	55
4.1	Graf Nilai Ketumpatan Teori dan Ujikaji Bagi Setiap Aloi Mg yang difabrikasi	63
4.2	Mikrostruktur Bagi Aloi Mg Dengan Kecekapan Aloi Yang (a) Tinggi 68.71% dan (b) Rendah 44.03%.	64
4.3	Imbasan Pada Produk Kakisan Yang Terhasil Selapas 168 Jam Rendaman di dalam Larutan Air Tanah Tiruan Bagi (a) 68.71% Kecekapan Aloi dan (b) 44.03% Kecekapan Aloi.	66
4.4	Graf Keupayaan Litar Terbuka Selama 168 Jam Rendaman Bagi Setiap Sampel Aloi Mg.	71
4.5	Kadar Kakisan Aloi Mg di dalam Larutan Air Tanah Tiruan Selama 384 Jam Rendaman.	74
4.6	Graf Menunjukkan Perhubungan Antara Kecekapan Aloi Dengan Kapasiti Arus Untuk Setiap Aloi Mg Yang Difabrikasi	77
4.7	Rajah 4.6: Menunjukkan keputusan Lengkuk Tafel bagi (a) Sampel 4 dan (b) Sampel 2	81
4.8	Plot Tafel Bagi Setiap Aloi Mg Yang Difabrikasi	82

SENARAI JADUAL

No.		MUKA SURAT
1.1	Sebahagian Kegagalan Akibat Masalah Kakisan Dan Kesan Terhadap Kehidupan Manusia	2
2.1	Senarai Beberapa Kebaikan Dan Keburukan Penggunaan Kaedah Perlindungan Katod (a) Anod Korbanan dan (b) Arus Terkesan.	21
2.2	Susunan Siri Keraktifan Logam Berdasarkan Keupayaan Piawai Pada 25°C/77°F (V lwn EHP)	24
2.3	Sifat-Sifat Kebiasaan Logam Mg Melalui Kaedah Elektrokimia	27
3.1	Pemilihan Suhu Peleburan dan Suhu Pemanasan Acuan Bagi Fabrikasi Aloi Mg	36
3.2	Kaedah Bagi Menganalisa Kesan Tempoh Pendedahan Terhadap Kakisan Logam dan Persekitaran Mengkakis. (ASTM G31-72) Planned Interval Corrosion Test	52
4.1	Suhu Peleburan dan Pemanasan Acuan Dalam Proses Penuangan Aloi Mg Anod Korbanan.	57
4.2	Kandungan Unsur-Unsur Setiap Sampel Aloi Mg Yang Difabrikasi.	59
4.3	Nilai Beratarata Bagi Setiap Aloi Mg	60
4.4	Nilai Ketumpatan Teori dan Ujikaji Setiap Aloi Mg	62
4.5(a)	Keputusan Ujikaji Keupayaan Litar Terbuka Setiap Aloi Mg Berpandukan Kombinasi Tahap Suhu Peleburan dan Suhu Pemanasan Acuan di dalam Larutan Air Tanah Tiruan Selama 60 Minit.	69
4.5(b)	Keputusan Ujikaji Keupayaan Litar Terbuka Setiap Sampel di dalam Larutan Air Tanah Tiruan Selama 168 Jam Rendaman	70
4.6	Keputusan Ujian Pengaruh Masa Kakisan dirancang dan Hasil Pemerhatian Terhadap Ujikaji	73
4.7	Kadar Kakisan (mm/tahun) Setiap Aloi Mg Berdasarkan Kehilangan Jisim Untuk Setiap Masa Pendedahan	75
4.8	Kapasiti Arus Serta Kecekapan Anod Bagi Setiap Aloi Mg Yang Difabrikasi Bersama Pilihan Suhu Peleburan Dan Suhu Pemanasan Acuan Yang Digunakan	78
4.9	Nilai-Nilai Ekstrapolasi Plot Tafel Setiap Aloi Mg Yang Difabrikasi	80

SENARAI SIMBOL

B	Beratara (g/tara)
B_t	Beratara teori (g/tara)
g	Gram
kg	Kilogram
k	Pemalar kadar kakisan
T	Masa pendedahan, jam
W	Berat Jisim
cm	Sentimeter
mm	Milimeter
f	Pecahan mol jisim
V	Voltan
$^{\circ}\text{C}$	Suhu (Celsius)
F	Pemalar Faraday
e^-	Elektron
n	Bilangan Valensi
s	saat
E	Keupayaan (V)
E_{kakis}	Keupayaan Kakisan (V)
i_{kakis}	Ketumpatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
I_a	Ketumpatan anod ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
I_c	Ketumpatan katod ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
b_a	Pemalar Tafel Anod (V/dekad)
b_c	Pemalar Tafel Katod (V/dekad)
R_p	Rintangan Pengutuban ($\Omega.\text{cm}^2$)
ρ	Ketumpatan (g/cm^3)
ρ_t	Ketumpatan teori (g/cm^3)
μm	Mikro meter
A	Luas permukaan (cm^2)
%	Peratusan
C	Coulomb (96480 Coulomb/mol)

SENARAI SINGKATAN

Mg	Magnesium
Mn	Mangan
Zn	Zink
Cu	Kuprum
Si	Silikon
Fe	Besi
Ca	Kalsium
Ti	Titanium
Al	Aluminium
K	Kalium
Ca	Kalsium
H	Hidrogen
O	Oksigen
CaSO ₄ ·2H ₂ O	Kalsium Sulfat
Mg(OH) ₂	Magnesium Hidroksida
CrO ₃	Kromium Trioksida
Ag ₂ CrO ₄	Kromat Perak
HNO ₃	Asid Nitrik Pekat
CH ₃ COOH	Asid Asetik
C ₂ H ₆ O ₂	Ethylene Glycol
EKT	Elektrod Kalomel Tepu
EHP	Elektrod Hidrogen Piawai
KTL	Keupayaan Litar Terbuka
Aj	Ampere.jam
ASTM	American Society for Testing and Materials
pH	Potensi Hidrogen
SACP	Sacrificial Anode Cathodik Protection
ICCP	Impress Current Cathodik Protection
PIT	Plan Interval Test
SF ₆	Sulfur Hexaflorida
rpm	Revolutions per minute

Pengoptimuman Parameter Penuangan Untuk Aloi Magnesium Sebagai Anod Korbanan Bagi Kegunaan Bawah Tanah

ABSTRAK

Perlindungan katod merupakan kaedah yang digunakan secara meluas bagi mengawal kadar kakisan terhadap bahan berunsur logam di dalam persekitaran bawah tanah yang berair. Penggunaan anod korbanan merupakan antara kaedah perlindungan katod yang sering digunakan. Aloi Mg adalah bahan yang sangat sesuai bagi dijadikan anod korbanan kerana mempunyai kadar keelektronegatifan yang tinggi. Di dalam kajian ini, pengoptimuman parameter penuangan untuk aloi Mg sebagai anod korbanan bagi kegunaan bawah tanah menjadi matlamat utama dalam menghasilkan anod berprestasi yang tinggi. Ujian elektrokimia serta air tanah buatan sebagai medium elektrolit dilakukan bagi menganalisis kecekapan anod, keupayaan kakisan, kadar kakisan dan juga ketumpatan arus kakisan. Setiap sampel aloi Mg yang dihasilkan menggunakan suhu peleburan dan suhu pemanasan acuan yang berbeza. Pemilihan suhu penuangan dan suhu pemanasan acuan yang sesuai dapat memberikan perubahan yang ketara ke atas sifat-sifat aloi. Hasil kajian menunjukkan suhu pemanasan acuan yang tinggi dan suhu leburan aloi yang rendah dapat memberikan penyejukan leburan aloi secara perlahan dan sekata seterusnya dapat menghasilkan struktur ira yang lebih besar. Penggunaan suhu pemanasan acuan 500°C dapat meningkatkan kecekapan anod sekitar 63 - 68% dan kapasiti arus yang tinggi sekitar 1401.9 - 1511.7 Aj/kg. Berbeza pada penggunaan suhu pemanasan acuan yang rendah, 450°C di mana kecekapan anod yang terhasil adalah di antara 44 - 48% dan kapasiti arus yang dihasilkan adalah di sekitar 968.6 - 1074.4 Aj/kg. Cerapan mikrostruktur terhadap aloi berkecekapan tinggi memperlihatkan purata saiz struktur ira yang besar, 111.84 μm berbanding aloi berkecekapan rendah. Perbezaan yang ketara dapat dilihat melalui produk kakisan yang terbentuk pada aloi berkecekapan tinggi di mana produk kakisan yang terbentuk lebih tersusun dan sekata serta kadar kakisan yang direkodkan adalah lebih rendah berbanding aloi Mg yang lain. Ketumpatan arus kakisan, i_{kakis} yang lebih rendah iaitu 0.0148 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dihasilkan daripada aloi Mg yang berkecekapan yang tinggi. Pembentukan struktur ira aloi terbukti dapat memberi kesan yang amat ketara terhadap prestasi aloi Mg. Penggunaan suhu leburan yang rendah dan suhu pemanasan acuan yang tinggi dipercayai dapat memberi kelebihan pada pembentukan struktur ira, meningkatkan prestasi dan kecekapan aloi Mg bagi dijadikan anod korbanan untuk kegunaan persekitaran bawah tanah.

Optimization Of Casting Parameter On Magnesium Alloys For Underground Sacrificial Anodes

ABSTRACT

Cathodic protection is a technique that is extensively used to control the corrosion rate towards metal based materials in a aqueous underground environment. The use of sacrificial anodes is among the frequently used cathodic protection technique. Magnesium (Mg) alloy is the most fitting material to be made as sacrificial anodes because of its high electronegativity. In this study, optimization of casting parameter on Mg alloys for underground sacrificial anodes are the main targets in making high efficiency anodes. An electrochemical test with artificial soil water as electrolyte medium is conducted to analyse anode efficiency, corrosive capability, corrosion rate and also corrosion current density. Each Mg alloy sample produced used different melting temperature and mould preheat temperature. The correct choice of melting temperature and mould preheat temperature can give a significant change towards the properties of the alloy. The results of the study shows a high mould preheat temperature and a low melting temperature can provide the molten alloy with a slow and even cooling thus able to form bigger grain structures. The use of a mould preheat temperature of 500°C can enhance anode efficiency to about 63-68% and a high current capacity of about 1401.9-1511.7 Aj/kg. This is different to the use of a low mould preheat temperature, 450°C where the anode efficiency produced is between 44-48% and the current capacity produced is about 968.6-1074.4 Aj/kg. The microstructural observation towards high performance alloy shows an average of large grain structures, 111.84 μm compared to low efficiency alloy. A significant difference can also be seen through the corrosion product formed on the high efficiency alloy whereby the corrosion product formed are more organised and uniform and also the corrosion rate recorded is lower compared to other Mg alloys. A lower corrosive current density, i_{corr} which is 0.0148 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ is produced by high efficiency Mg alloy. The alloy grain structure formation is proven to give a substantial effect towards Mg alloy performance. The use of a low melting temperature and a high mould preheat temperature is believed to improve grain structure formation, increase performance and efficiency of Mg alloy to be made into sacrificial anode for usage in underground environment.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Kakisan

Kakisan pada dasarnya boleh ditakrifkan sebagai penyusutan jisim bahan logam atau kerosakan secara beransur-ansur disebabkan tindak balas kimia atau elektrokimia yang berlaku di antara bahan logam dan persekitaran. Terdapat tiga keadaan persekitaran yang menjadi faktor utama berlakunya kakisan iaitu (a) keadaan fizikal molekul sama ada dalam bentuk cecair, pepejal atau gas (b) kadar kepekatan komposisi kimia persekitaran dan (c) suhu persekitaran yang terlibat. Secara umumnya, perhubungan di antara kadar kakisan, kerintangn kakisan bahan dan kakisan persekitaran dapat diterangkan melalui perhubungan persamaan (1):

$$\frac{\text{Kakisan Persekitaran}}{\text{Kerintangn Kakisan Bahan}} \approx \text{Kadar Kakisan} \quad (1)$$

Berdasarkan perhubungan persamaan (1), kadar kakisan berkait rapat di antara kakisan persekitaran dan juga kerintangn kakisan bahan. Kadar kakisan akan meningkat sekiranya kakisan persekitaran adalah lebih tinggi berbanding kerintangn kakisan bahan. Manakala kadar kakisan akan menurun sekiranya kerintangn kakisan bahan lebih tinggi berbanding kakisan persekitaran.

Industri berteraskan sains dan teknologi merupakan sektor terpenting di dalam pembangunan serta merupakan pemacu bagi peningkatan ekonomi sesebuah negara maju. Di dalam arus pembangunan negara maju, terdapat tiga cabaran global yang

utama perlu diatasi iaitu keperluan sumber tenaga yang mencukupi, penggunaan sumber air yang terawat dan kawalan terhadap pencemaran. Namun begitu, dengan mengabaikan aspek kakisan boleh mengakibatkan kejatuhan ekonomi sesebuah negara serta pelbagai masalah akan wujud dan secara tidak langsung memberi kesan terhadap kehidupan. Jadual 1.1 menerangkan empat contoh permasalahan kakisan yang berlaku dan juga kesan-kesannya.

Jadual 1.1: Sebahagian Kegagalan Akibat Masalah Kakisan dan Kesan Terhadap Kehidupan Manusia (Corrosion and Protection, Einar, B., 2003)

Tahun	Lokasi	Permasalahan	Punca	Kesan
Dis 1967	Ohio River	Jambatan yang menghubungkan Ohio dan Virginia Barat yang merentasi sungai Ohio runtuh.	Retak akibat tekanan dan kakisan.	Meragut nyawa 46 orang pengguna jambatan.
April 1988	Hawaii	Kabin sebuah pesawat penumpang komersial yang dalam perjalanan hancur secara tiba-tiba	Kesan hubungan di antara kehausan logam dan kakisan.	Penerbangan mengalami kemalangan tragik dan 65 penumpang mengalami kecederaan.
Julai 1996	Mexico	Saluran paip minyak meletup	Kebocoran pada tangki simpanan petrol akibat kakisan	Empat orang meninggal dunia dan tiga mengalami kecederaan yang serius
Julai 2005	Washington DC	Jambatan pejalan kaki di pusat membeli-belah runtuh	Bolt logam besar yang menghubungkan jambatan mengalami kakisan	Tiada kemalangan jiwa dilaporkan kerana kejadian berlaku selepas waktu operasi.

Kerugian dan kemusnahan akibat kerosakan yang disebabkan oleh faktor kakisan boleh mencecah jutaan ringgit seandainya kaedah pelindungan terhadap kakisan tidak dipraktikkan. Kesan daripada kakisan juga akan mengundang bahaya dan mengakibatkan pencemaran serta memberi kesan terhadap kehidupan sejagat.

1.1 Kawalan Kakisan

Kakisan kelihatan amat ketara apabila dipengaruhi oleh persekitaran yang sangat mengkakis. Sifat-sifat serta kebolehan bahan yang digunakan sebagai struktur amat penting diketahui apabila struktur itu didedahkan pada persekitaran yang sangat mengkakis. Pengalaman dan pengetahuan teknikal terhadap langkah-langkah kawalan kakisan amat diperlukan bagi mengelakkan kegagalan dan kemusnahan kepada struktur logam. Pemilihan kaedah serta cara kerja bagi mengawal permasalahan kakisan bukanlah sesuatu perkara yang boleh diambil mudah kerana terdapat pelbagai faktor yang perlu diberi perhatian sebelum sebarang keputusan dapat diambil. Namun begitu, terdapat kaedah dan juga aplikasi yang sering digunakan bagi mengawal permasalahan kakisan seperti:

- (i) Perlindungan anod dan katod
- (ii) Menghalang penembusan atau sentuhan di antara logam dan elektrolit melalui salutan sebagai medium penghalang, dan
- (iii) Membuat pemilihan terhadap bahan yang bersesuaian dengan keadaan persekitaran.

Perlindungan katod di dalam persekitaran tanah melibatkan tindak balas elektrokimia pada bahagian anod dan katod yang dipengaruhi oleh beberapa unsur seperti tanah, kehadiran air serta oksigen, pH, tekanan dan sebagainya. Penggunaan anod korbanan untuk perlindungan katod merupakan kaedah yang sering digunakan terutamanya bagi persekitaran bawah tanah kerana kaedah ini sememangnya mudah dan ringkas untuk dikendalikan. Namun terdapat juga kelemahan yang memberi kesan yang ketara terhadap penggunaan kaedah anod korbanan seperti kesan ke atas kehadiran bendasing di dalam persekitaran tanah dan juga pada bahan anod itu sendiri, prestasi

anod yang tidak menentu dan bahan anod yang digunakan tidak bersesuaian dengan persekitaran.

1.2 Pernyataan Permasalahan

Permasalahan kakisan merupakan penghalang bagi pembangunan sesebuah negara serta mengakibatkan kemusnahan dan membahayakan manusia. Setiap industri tidak dapat lari dari permasalahan kakisan terutamanya yang menggunakan komponen-komponen logam dan juga yang terdedah kepada persekitaran yang mengkakis. Sebagai contoh, industri petroleum serta industri pembekalan air terawat (Wang, J, 2008). Rajah 1.1 menunjukkan kesan-kesan kakisan yang sering berlaku seperti kesan kakisan pada saluran paip di dalam persekitaran bawah tanah dan kesan kakisan di dalam persekitaran air laut. Kesan kakisan ini dipengaruhi oleh persekitaran yang sangat mengkakis. Penggunaan air yang tercemar akibat saluran paip yang terkakis juga boleh mendatangkan gangguan terhadap pembekalan dan kesihatan pengguna akan terjejas.

Namun begitu, beberapa pendekatan teknologi terbukti sering digunakan sebagai kaedah pengawalan kakisan seperti kaedah perlindungan katod. Selain itu, pemilihan bahan dan reka bentuk yang bersesuaian bagi persekitaran tertentu merupakan antara pendekatan-pendekatan yang sering digunakan. Terdapat banyak kajian serta penyelidikan dilakukan bagi mengawal dan seterusnya mengatasi permasalahan kakisan ini. Antara hasil kajian dan penyelidikan yang telah dilakukan adalah menggunakan proses salutan serta pembangunan bahan baru bagi dijadikan bahan anod. Penggunaan kaedah anod korbanan di dalam perlindungan katod merupakan kaedah yang popular dan sering digunakan pada persekitaran marin mahupun tanah (Porter, F. C., 1994). Namun, wujud permasalahan di dalam penghasilan anod korbanan terutamanya yang menggunakan bahan Mg sebagai bahan anod. Bahan Mg mempunyai sifat-sifat unik

seperti bahan yang bersifat aktif, amat sensitif terhadap kehadiran oksigen dan sukar bagi mengawal proses fabrikasi aloi Mg melalui kaedah penuangan. Reka bentuk acuan yang digunakan di dalam proses penuangan aloi Mg juga memberi kesan terhadap prestasi serta kualiti aloi Mg. Oleh itu, pengoptimuman parameter penuangan untuk aloi Mg sebagai anod korbanan bagi kegunaan bawah tanah menjadi objektif utama di dalam penyelidikan ini.



Rajah 1.1 Kesan Kakisan Terhadap (a) Saluran Paip Bawah Tanah dan (b) Struktur Paip Pelantar Minyak (Vishal, L.,2013 & Rihak, J., 2009)

1.3 Rasional Kajian

Kakisan dijelaskan dalam banyak cara tetapi kebiasaan kakisan ditakrifkan sebagai degradasi bahan logam melalui tindak balas kimia di antara logam dan persekitaran. Pada asasnya, kajian kakisan adalah merupakan satu kajian ke atas interaksi logam dan persekitaran serta kadar tindak balas yang berlaku. Sifat kakisan logam mahupun aloi bergantung kepada kadar kereaktifan, struktur dan juga penghasilan produk kakisan yang terbentuk semasa tindak balas kakisan berlaku. Anod korbanan digunakan secara meluas bagi perlindungan kakisan di dalam persekitaran mengkakis. Namun begitu penggunaan anod korbanan turut mempunyai kelemahan. Sebagai contoh, keberkesanannya akan berkurangan setelah anod mengalami kakisan.

Oleh itu, kerja-kerja penyelenggaraan boleh mengharapkan yang terbaik namun begitu perlu merancang untuk sesuatu yang buruk disebabkan oleh keadaan tanah yang berubah mengikut masa. Kekurangan lain yang perlu diberi perhatian adalah keupayaan semasa bahan anod tersebut di mana anod menghasilkan perbezaan voltan dan arus di antara anod dan struktur logam yang dilindungi menerusi medium elektrolit. Semakin besar keupayaan arus dapat dihasilkan semakin lama anod dapat bertahan untuk melindungi. Bagi anod tertentu, jangka hayat anod adalah bergantung pada jisim anod tersebut manakala luas permukaan anod akan menentukan kadar aliran arus yang terhasil. Oleh itu, pemilihan bahan yang akan digunakan sebagai anod korbanan perlu menitikberatkan aspek kos, metalurgi dan keupayaan arus yang terhasil supaya dapat memberi perlindungan untuk jangka masa yang lama.

Pada masa kini, penggunaan aloi Mg sebagai anod korban digunakan secara meluas kerana sifat-sifat fizikal serta sifat kimia yang sangat baik (Li Jing, Y., 2010). Secara amnya, logam Mg mempunyai ketumpatan, $1.74 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ dan mempunyai struktur kristal berbentuk heksagonal. Aloi Mg akan membentuk satu lapisan nipis MgO atau $\text{Mg}(\text{OH})_2$ apabila bertindak balas terhadap larutan elektrolit (Jones, H.2006). Oleh itu, kecekapan anod korbanan bergantung kepada ketumpatan arus yang dihasilkan semasa tindak balas elektrokimia berlaku. Penyelidikan dan kajian secara menyeluruh akan dijalankan dalam penghasilan anod korbanan yang paling berkesan.

1.4 Penuangan Logam

Penuangan logam merupakan satu prinsip pemejalan logam di mana leburan logam dituang ke dalam acuan seterusnya acuan itu akan bertindak untuk menyari haba. Saling tindakan bendalir terhadap pemejalan menentukan kesesuaian sesuatu logam untuk proses penuangan. Pemejalan logam tuangan berlaku apabila leburan logam

bersentuhan dengan acuan dan seterusnya membentuk bijian-bijian halus dalam semua arah disebabkan penukleusan heterogen yang dipengaruhi oleh dinding acuan.

1.4.1 Peleburan Logam

Peleburan logam adalah satu proses perubahan sifat daripada pepejal kepada cecair yang melibatkan tenaga teori (entalpi) logam pada suhu tipikal torehan setelah menolak suhu tenaga sekeliling bagi melebur atau mencairkan sesuatu logam. Jumlah tenaga teori logam penting untuk menentukan jumlah tenaga yang diperlukan untuk peleburan logam. Haba deria termodinamik dapat ditentukan apabila perbezaan entalpi setiap elemen dapat dikenal pasti. Mg berada di kumpulan 2 dalam Jadual Berkala dan berketumpatan $1.74 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ serta mempunyai takat leburan pada suhu 650°C . Logam Mg kebiasaannya dilebur dengan menggunakan mangkuk pijar keluli kalis karat untuk kaedah pengaloiian serta pembaikan kerana tindak balas leburan Mg terhadap keluli adalah sangat perlahan.

1.4.2 Suhu Pemanasan Acuan

Suhu pemanasan acuan penting dalam kaedah penuangan logam serta aloi. Kadar penyejukan dan kadar pemejalan logam serta aloi memberi kesan terhadap sifat mekanikal produk tuangan. Suhu pemanasan acuan yang tinggi akan memberikan struktur sempadan ira yang sama dan homogen seterusnya meningkatkan ketahanan produk tuangan. Haba yang dibebaskan semasa proses pemejalan iaitu haba pendam lakur akan melambatkan kadar penyejukan dan pemejalan produk tuangan bergantung pada jenis aloi yang dituang. Saiz pembentukan struktur ira juga akan meningkat dengan peningkatan kadar penyejukan dan suhu pemanasan acuan.

1.5 Objektif Kajian

Pemasangan saluran paip di dalam persekitaran tanah memerlukan daya ketahanan kakisan untuk jangka masa yang lama disebabkan oleh kerja-kerja penggantian dan pembaikan adalah berisiko tinggi serta sangat merugikan. Sifat serta unsur-unsur yang terkandung di dalam persekitaran tanah itu sendiri memberikan kesan terhadap anod korbanan yang digunakan bagi proses perlindungan kakisan. Untuk mendapatkan perlindungan kakisan yang maksima, anod korbanan yang digunakan perlu sentiasa dalam keadaan aktif serta menghasilkan keupayaan pemacu yang secukupnya. Anod korbanan juga perlu berupaya untuk membebaskan arus di sepanjang penggunaannya. Bahan yang digunakan sebagai anod korbanan harus mempunyai ketumpatan arus yang tinggi sewaktu tindak balas elektrokimia berlaku di antara anod dan larutan elektrolit. Oleh itu, objektif utama penyelidikan ini di jalankan adalah untuk:

- (i) Kajian kaedah penghasilan aloi Mg yang berkualiti tinggi untuk digunakan sebagai anod korbanan bagi kegunaan bawah tanah melalui kaedah penuangan logam
- (ii) Kajian ke atas kesan perubahan mikrostruktur aloi Mg terhadap sifat fizikal, kualiti dan kecekapan anod korbanan.
- (iii) Kajian ke atas ciri-ciri kakisan aloi Mg sebagai anod korbanan dan mengukur kadar kakisan terhadap aloi Mg di dalam persekitaran tanah.

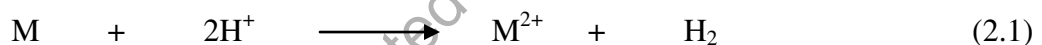
BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

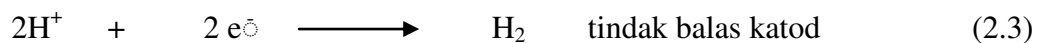
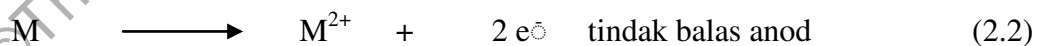
2.0 Tindak balas Elektrokimia

Kakisan logam merupakan proses perpindahan elektron dan ion di antara permukaan logam dan persekitaran melalui proses tindak balas elektrokimia. Logam akan bertindak balas terhadap oksigen dan kelembapan yang wujud di dalam persekitaran. Persamaan kimia (2.1) dapat menerangkan tindak balas kakisan logam yang berlaku:

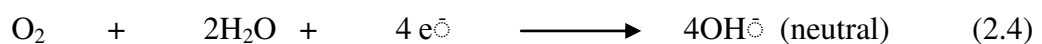
Di dalam persekitaran berasid, logam akan teroksida serta membebaskan gas hidrogen.



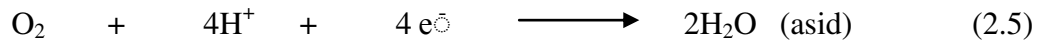
Persamaan (2.1) merupakan gabungan tindak balas anod dan katod yang membebaskan gas hidrogen sepanjang tindak balas berlaku seperti yang ditunjukkan di dalam persamaan (2.2) dan (2.3) iaitu:



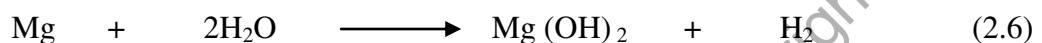
Tindak balas katod berlaku bergantung kepada keadaan persekitaran di mana tindak balas tersebut sering kali berlaku di dalam larutan yang mengandungi oksigen, tindak balas penurunan oksigen di dalam larutan neutral ditunjukkan di dalam persamaan (2.4).



Tindak balas penurunan oksigen di dalam larutan berasid ditunjukkan di dalam persamaan (2.5).



Tindak balas keseluruhan aloi Mg serta Mg tulen adalah sama di dalam larutan beralkali mahupun larutan neutral yang mana ditunjukkan di dalam persamaan (2.6).



Walau bagaimanapun, persamaan (2.6) tindak balas logam Mg tidak dapat menerangkan asas tindak balas terhadap kakisan dan proses pelarutan anod aloi Mg disebabkan oleh kesan perbezaan negatif. Adalah sukar untuk menerangkan fenomena kesan perbezaan negatif ini secara eksperimentasi kerana nilai kehilangan jisim bagi aloi Mg adalah lebih tinggi daripada jangkaan melalui teknik elektrokimia. Fenomena ini juga dapat diterangkan melalui peningkatan pembebasan gas hidrogen pada polarisasi anod serta kehilangan logam secara berlebihan (Cheng, 2009).

2.1 Gambar Rajah Keupayaan/pH (Pourbaix)

Kecenderungan tindak balas pengoksidaan di dalam larutan berasid dan juga beralkali serta kecenderungan perubahan tindak balas elektrokimia yang berlaku terhadap logam dapat diterangkan melalui gambar rajah Pourbaix. Setiap bahan logam akan bertindak balas dan terkakis dalam pelbagai tahap pH persekitaran bergantung kepada keupayaan logam tersebut. Persamaan asas untuk pengoksidaan logam di dalam persekitaran air semasa tindak balas anod berlaku ditunjukkan pada persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9):

