



**Kajian Rintangan Kakisan Ke Atas Keluli Bar  
Tetulang Dalam Pes Geopolimer**

oleh

**Farah Farhana Binti Zainal  
(1040410543)**

Tesis ini dikemukakan untuk memenuhi sebahagian daripada syarat  
penganugerahan Ijazah Doktor Falsafah

**Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan  
UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS**

**2016**

# UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

## DECLARATION OF THESIS

Author's full name : FARAH FARHANA BINTI ZAINAL  
Date of birth : 16 SEPTEMBER 1986  
Title : KAJIAN RINTANGAN KAKISAN KE ATAS KELULI BAR TETULANG DALAM PES  
GEOPOLIMER  
Academic Session : 2011/2012

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 Official 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 (full text)

I, the author, give permission to the 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).

  
SIGNATURE

860916-56-5512  
(NEW IC NO. / PASSPORT NO.)

Date : 10 JUNE 2016

Certified by:

  
SIGNATURE OF SUPERVISOR

DATUK PROFESOR EMERITUS DR. KAMARUDIN HUSSIN  
NAME OF SUPERVISOR

Date : 10 JUNE 2016

**NOTES :** \* If the thesis is CONFIDENTIAL or RESTRICTED, please attach with the letter from the organization with period and reasons for confidentiality or restriction.

## PENGHARGAAN

Bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah dan kurniaNya dapat saya menyiapkan tesis Ph.D ini dengan jayanya. Pertama sekali saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada Universiti Malaysia Perlis (UniMAP), Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan (PPKB) dan Pusat Kecemerlangan Geopolimer & Teknologi Hijau (CEGeoGTech UniMAP) kerana memberikan peluang kepada saya menyambung pengajian di peringkat Ph.D dan menyediakan kemudahan seperti tempat belajar, perpustakaan untuk mendapatkan bahan rujukan, makmal untuk menjalankan kajian, menggunakan peralatan/mesin yang berkaitan dan menyediakan bahan mentah yang disediakan.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia, Datuk Profesor Emeritus Dr. Kamarudin Hussin serta penyelia bersama, Profesor Dr. Azmi Rahmat kerana telah banyak memberi sumbangan dari segi idea, konsultasi dan bimbingan yang tidak berbelah bahagi kepada saya sepanjang menjalankan kajian ini. Selain itu juga, mereka juga banyak memberi galakan untuk menulis kertas penyelidikan, menyertai persidangan dan menyertai ekspo rekapipta dan penyelidikan bagi mendapat pendedahan tentang kajian yang dijalankan serta menambah lagi ilmu pengetahuan.

Tidak lupa juga kepada pensyarah-pensyarah lain terutama En Shaiful Rizam Shamsudin, Profesor Madya Dr. Mustafa Al Bakri Abdullah, En Tamizi Selimin, di atas pertolongan yang diberikan daripada segi idea, bimbingan semasa menjalankan kerja-kerja

makmal dan dana untuk menghadiri persidangan di dalam dan luar negara. Tentunya tidak dapat dilupakan jasa kedua ibu Raudzah Binti Mohamed dan bapa Zainal Bin Alias, keluarga terutama Rohisham Che Idrus, Muhammad Adam Rizqi, Rokiah Binti Bakar, Muhammad Farhan Bin Zainal, Muhamad Farid Bin Zainal dan Farah Fatirah Binti Zainal serta sahabat-sahabat saya yang banyak memberikan sokongan, dorongan dan bertukar-tukar idea kepada saya sepanjang menyambung pengajian. Tanpa sokongan dan dorongan semua, mungkin perjalanan Ph.D saya akan menjadi lebih sukar.

Akhir sekali, diharapkan kajian yang telah dilakukan dapat menambahkan ilmu pengetahuan dan berguna bagi mengatasi masalah kakisan yang sangat meruncing di serata dunia terutama di Malaysia disamping dapat menjimatkan kos dan mengurangkan pencemaran udara yang boleh menyebabkan kesan rumah hijau. Diharapkan juga agar ilmu ini sangat bermanfaat kepada diri saya sendiri dan pembaca yang lain agar kita sama-sama menjadi pendidik yang berpengetahuan luas dalam menyampaikan maklumat bukan sahaja dalam proses pembelajaran malah kepada masyarakat setempat khususnya.

## ISI KANDUNGAN

	MUKA SURAT
<b>DEKLARASI TESIS</b>	i
<b>PENGHARGAAN</b>	ii-iii
<b>ISI KANDUNGAN</b>	iv-x
<b>SENARAI JADUAL</b>	xi-xii
<b>SENARAI RAJAH</b>	xiii-xvii
<b>SENARAI SIMBOL</b>	xviii-xix
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xx-xxii
<b>ABSTRAK</b>	xxiii
<b>ABSTRACT</b>	xxiv
<b>BAB 1            PENGENALAN</b>	1
1.1    Pendahuluan	1
1.2    Pernyataan Masalah	3
1.3    Objektif	6
1.4    Skop Kajian	7
<b>BAB 2            KAJIAN LITERATUR</b>	9
2.1    Pengenalan	9
2.2    Mekanisme Geopolimer	9

2.3	Sifat-sifat Geopolimer	11
2.4	Kepentingan Konkrit Geopolimer	12
2.5	Bahan Mentah Dalam Geopolimer	13
2.5.1	Abu Terbang	13
2.5.2	Natrium Hidroksida (NaOH)	15
2.5.3	Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )	16
2.6	Larutan Pengaktif Alkali	16
2.7	Rekabentuk Campuran Geopolimer	17
2.7.1	Penutup Konkrit	18
2.7.2	Kekuatan Mampatan, Tempoh Pengawetan dan Suhu Pengawetan	19
2.7.3	Penyerapan air, Keliangan dan Penurunan/Pertambahan berat	20
2.8	Pencirian Geopolimer	21
2.8.1	Analisis Komposisi Kimia	21
2.8.2	Analisis Fasa	23
2.8.3	Analisis Jenis Ikatan	24
2.8.4	Analisis Morfologi	26
2.9	Keretakan Pada Konkrit	28
2.10	Kakisan	29
2.11	Proses Kakisan	31
2.12	Kajian Rintangan Kakisan	34
2.12.1	Ujian Pengukuran Keupayaan Litar Terbuka (OCP)	34
2.12.2	Ujian Ekstrapolasi Tafel	37
2.13	Perlindungan Kakisan Konkrit	39
2.13.1	Sistem Anod Galvani	40

2.13.2	Anod Korban: Anod Zink	41
2.14	Prestasi Kakisan Dalam Konkrit Simen Portland Biasa (OPC)	42
2.15	Prestasi Kakisan Dalam Konkrit Geopolimer	44
2.16	Bahan Mentah Dalam Kajian Rintangan Kakisan Ke Atas Keluli Bar Tetulang	46
2.17	Pencirian Keluli Bar Tetulang	46
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI UJIAN MAKMAL</b>	<b>48</b>
<b><u>BAHAGIAN PERTAMA KAJIAN</u></b>		
3.1	Pengenalan	48
3.2	Penyediaan Pes Geopolimer	52
3.2.1	Bahan Mentah	52
3.2.1.1	Abu Terbang	52
3.2.1.2	Natrium Hidroksida (NaOH)	52
3.2.1.3	Natrium Silikat (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	53
3.2.2	Analisis Abu Terbang	53
3.2.2.1	Analisis Komposisi Kimia Abu Terbang	53
3.2.2.2	Kandungan lembapan	54
3.2.2.3	Kehilangan Pencucuhan (LOI)	54
3.2.2.4	Analisis Fasa Abu Terbang	55
3.2.2.5	Analisis Jenis Ikatan Abu Terbang	55

3.2.2.6 Analisis Morfologi Abu Terbang	55
3.2.3 Penyediaan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH)	56
3.2.4 Penyediaan Larutan Pengaktif Alkali	57
3.2.5 Rekabentuk Pes Geopolimer	57
3.2.5.1 Pengawetan	58
3.2.5.2 Pes Geopolimer Mampat	58
3.2.5.3 Pes Geopolimer Tidak Mampat	59
3.2.6 Analisis Pes Geopolimer	59
3.2.6.1 Analisis Fasa Pes Geopolimer	60
3.2.6.2 Analisis Jenis Ikatan Pes Geopolimer	60
3.2.6.3 Analisis Morfologi Pes Geopolimer	60
3.2.6.4 Ujian Penyerapan Air	61
3.2.6.5 Ujian Keliangan	61
3.2.6.6 Ujian Kekuatan Mampatan	61
3.2.6.7 Ujian Halaju Denyutan	62
3.2.7 Ujian Rendaman	63
3.2.7.1 Larutan Air Tanah	63
3.2.7.2 Larutan Air Payau	64
3.2.7.3 Larutan Air Laut	64
3.2.8 Ujian Kekerasan	65
3.2.8.1 Penyediaan Sampel bagi Ujian Kekerasan	65
3.2.8.2 Bacaan Nilai Ujian Kekerasan	66
3.2.9 Ujian Kerintangan Elektrik	67



3.3	Penyediaan Larutan Buatan Pes Geopolimer	68
-----	--	----

## **BAHAGIAN KEDUA KAJIAN**

3.4	Penyediaan dan Pencirian Bahan Mentah	70
3.4.1	Keluli Bar Tetulang	70
3.4.1.1	Pencirian Keluli Bar Tetulang (Komposisi Kimia Keluli)	71
3.4.1.2	Pencirian Keluli Bar Tetulang (Kekuatan Tegangan)	71
3.4.1.3	Pencirian Keluli Bar Tetulang (Analisis Fasa)	71
3.4.2	Zink	72
3.4.2.1	Pencirian Zink Anod (Analisis Elemen)	72
3.5	Rekabentuk Pes Geopolimer Dengan Keluli Bar Tetulang	72
3.6	Ujian Pengukuran Keupayaan Litar Terbuka (OCP)	73
3.6.1	Elektrod Rujukan Kuprum/Kuprum Sulfat (Cu/CuSO <sub>4</sub> )	75
3.6.2	Elektrod Kalomel Tepu (SCE)	77
3.7	Analisis Fasa Keluli Bar Tetulang	78
3.8	Ujian Ekstrapolasi Tafel	78
3.9	Perlindungan Katodik (Anod Korban)	79

**BAB 4            KEPUTUSAN & PERBINCANGAN            81**

**BAHAGIAN PERTAMA KAJIAN**

4.1	Pencirian Abu Terbang dan Pes Geopolimer	81
4.1.1	Analisis Komposisi Kimia Abu Terbang	81
4.1.2	Analisis Fasa Abu Terbang dan Pes Geopolimer	83
4.1.3	Analisis Jenis Ikatan Abu Terbang dan Pes Geopolimer	85
4.1.4	Analisis Morfologi Abu Terbang dan Pes Geopolimer	91
4.1.5	Analisis Ujian Penyerapan Air Pes Geopolimer	94
4.1.6	Analisis Ujian Keliangan	95
4.1.7	Analisis Ujian Kekuatan Mampatan	96
4.1.8	Analisis Ujian Halaju Denyutan	97
4.1.9	Analisis Ujian Rendaman	104
4.1.10	Analisis Ujian Kekerasan	107
4.1.11	Analisis Ujian Kerintangan Elektrik	113

**BAHAGIAN KEDUA KAJIAN**

4.2	Pencirian Keluli Bar Tetulang	118
4.2.1	Analisis Komposisi Keluli Bar Tetulang	119
4.2.2	Analisis Kekuatan Tegangan	120
4.3	Analisis Elemen Zink	121
4.4	Analisis Ujian Pengukuran Keupayaan Litar Terbuka (OCP)	122

4.5	Analisis Fasa Keluli Bar Tetulang dan Keluli Bar Tetulang Dalam Pes Geopolimer	128
4.6	Analisis Ujian Ekstrapolasi Tafel	131
4.7	Analisis Perlindungan Katodik (Anod Korban)	135
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b>	143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Cadangan	146
	<b>RUJUKAN</b>	147
	<b>LAMPIRAN</b>	169

©This item is protected by original copyright

## SENARAI JADUAL

No.		Muka Surat
2.1	Komposisi kimia abu terbang daripada pelbagai tempat	22
2.2	Ciri-ciri jalur FTIR bagi sampel abu terbang dan geopolimer	26
2.3	Kebarangkalian kakisan keluli karbon merujuk kepada nilai pengukuran keupayaan	36
2.4	Tafsiran garis panduan bagi $I_{corr}$ beserta keadaan keluli bar tetulang	39
2.5	Senarai kaedah bagi konkrit OPC yang boleh digunakan untuk mengesan sebarang kerosakan atau risiko kakisan	43
2.6	Masa kegagalan dan kerintangan sampel	45
2.7	Julat komposisi bagi keluli karbon gred 1025	47
3.1	Kriteria ASTM C876-09 bagi kakisan keluli dalam konkrit OPC untuk elektrod rujukan piawai yang berbeza	77
4.1	Analisis komposisi abu terbang oleh XRF	82
4.2	Komposisi kimia abu terbang kelas F	83
4.3	Ciri-ciri jalur FTIR bagi sampel abu terbang	87
4.4	Ciri-ciri jalur FTIR bagi sampel pes geopolimer	90
4.5	Keputusan bagi halaju denyutan untuk pes geopolimer bagi hari ke 7, 14, 28 dan 90 menunjukkan halaju denyutan meningkat dengan masa	98
4.6	Keputusan bagi peratusan keliangan (%), kekuatan mampatan ( $N/mm^2$ ) dan halaju denyutan untuk pes geopolimer selepas hari ke 7, 14, 28 dan 90	101
4.7	Peratusan nilai purata penurunan atau pertambahan berat untuk sampel pes geopolimer bagi semua keadaan	105
4.8	Nilai purata kekuatan mampatan untuk sampel pes geopolimer bagi semua keadaan.	106

4.9	Had untuk menilai risiko kakisan tetulang yang mempunyai hubungkait dengan kerintangan elektrik pada konkrit [20°C dan OPC konkrit]	117
4.10	Analisis komposisi keluli karbon	119
4.11	Komposisi kimia bar tetulang gred 1025 dan bar tetulang yang digunakan	120
4.12	Analisis sifat-sifat bar tetulang daripada ujian kekuatan tegangan dan bar tetulang yang digunakan	121
4.13	Analisis ujian EDS bagi zink anod	121
4.14	Keupayaan Redoks dalam unit Volts vs SHE bagi SK1 dan SK2 untuk tiga keadaan (a) Tanpa rendam ke dalam air laut; (b) Rendam ke dalam air laut dan (c) Rendam ke dalam air laut dengan anod zink bagi jangka masa seminggu	137

## SENARAI RAJAH

No.		Muka Surat
1.1	Binaan yang retak akibat daripada kakisan yang berlaku pada keluli bar tetulang dalam konkrit. Lokasi gambar diambil ialah di Medan Ikan Bakar Kuala Perlis, Perlis, Malaysia pada tahun 2013	4
1.2	Pelepasan karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) global daripada industri pengeluaran simen bagi tahun 1920 hingga 2007	5
2.1	Pengaruh penutup konkrit terhadap kadar pengaratatan tetulang	18
2.2	Spektrum pembelauan sinar-x (XRD) abu terbang daripada loji kuasa Spanish (Q, kuarza; M, mulit; Ma, magnetit)	23
2.3	Spektrum pembelauan sinar-x (XRD) abu terbang daripada loji kuasa Pennsylvania Power and Light Co.'s Montour County (Q, kuarza; M, mulit)	23
2.4	Spektrum pembelauan sinar-x (XRD) geopolimer berasaskan abu terbang (Q, kuarza; M, mulit)	24
2.5	FTIR bagi sampel abu terbang dan geopolimer yang berbeza mengikut kemolaran larutan NaOH	25
2.6	Mikrograf SEM bagi sampel abu terbang	26
2.7	Mikrograf SEM bagi geopolimer	27
2.8	Mikrograf SEM bagi geopolimer	27
2.9	Keretakan pada konkrit yang menyebabkan kakisan berlaku	28
2.10	Tindak balas anodik, katodik, pengoksidaan dan hidrasi bagi keluli yang berkarat	32
2.11	Isipadu relatif ferum dan oksidanya	33
2.12	Gambar rajah Pourbaix bagi Ferum (Fe)	37
2.13	Graf ekstrapolasi Tafel yang menunjukkan kedudukan nilai bacaan bagi Icorr dan Ecorr	38
2.14	Sistema anod galvanik (anod korban) yang digunakan dalam	40

	kajian ini	
2.15	Siri elektrokimia bagi logam mengikut turutan kereaktifan	42
2.16	(a) Hubungkait Arus-Masa kakisan pada voltan pemalar 5V; (b) Hubungkait Arus-Masa kakisan pada voltan pemalar 30V; garis OPC mewakili sampel konkrit Simen Biasa Portland manakala garis T7 & T10 mewakili sampel konkrit geopolimer (GP)	44
3.1	Carta alir bahagian pertama: Penghasilan pes geopolimer dan ujian-ujian yang dilakukan ke atasnya	49
3.2	Carta alir bahagian kedua: Kajian ke atas keluli bar tetulang dalam pes geopolimer atau dipanggil sebagai pes geopolimer bertetulang	51
3.3	Radas untuk ujian halaju denyutan dengan menggunakan peralatan Tico Ujian Ultrasonik	62
3.4	Pembahagian sampel bagi ujian kekerasan	66
3.5	Titik T1 sehingga T10 iaitu bacaan yang diambil untuk ujian kekerasan	66
3.6	(a) Keseluruhan litar ujian kerintang elektrik dengan menggunakan kaedah Kuar Empat Wenner; (b) Kuar penunjuk diletakkan pada permukaan pes geopolimer dengan span yang dibasahkan dengan sedikit air bagi memudahkan pengaliran arus elektrik	67
3.7	Keluli karbon berdiameter 12 mm yang digunakan dalam kajian ini	70
3.8	Zink tulen yang digunakan dalam kajian sebagai anod korban	72
3.9	Ujian pengukuran keupayaan litar terbuka (ASTM C876-09, 2009)	74
4.1	Spektrum XRD bagi sampel abu terbang dan pes geopolimer untuk kajian ini	84
4.2	Spektrum FTIR abu terbang	86
4.3	Spektrum FTIR pes geopolimer	88

4.4	Mikrograf SEM bagi sampel abu terbang yang menunjukkan morfologi sfera, saiz antara 6.0 $\mu\text{m}$ - 18.7 $\mu\text{m}$	91
4.5	Mikrograf SEM bagi sampel pes geopolimer pada hari ke-7, 14, 28 dan 90 menunjukkan perubahan fasa sehingga ke peringkat penyusunan semula penghabluran	93
4.6	Peratusan nilai purata kadar penyerapan air bagi pes geopolimer pada hari ke-7, 14, 28 dan 90 menunjukkan penurunan peratusan penyerapan air dengan masa	94
4.7	Peratusan nilai purata kadar keliangan bagi sampel pes geopolimer pada hari ke-7, 14, 28 dan 90 menunjukkan penurunan peratusan keliangan dengan masa	95
4.8	Nilai kekuatan mampatan bagi pes geopolimer pada hari ke-7, 14, 28 dan 90 menunjukkan peningkatan kekuatan mampatan dengan masa	96
4.9	Graf hubungkait nilai purata antara penyerapan air dengan keliangan selepas hari ke 7, 14, 28 dan 90 menunjukkan penurunan peratusan penyerapan air dengan keliangan	100
4.10	Graf kekuatan mampatan ( $\text{N mm}^{-2}$ ) melawan keliangan (%) untuk pes geopolimer selepas hari ke 7, 14, 28 dan 90 menunjukkan kenaikan kekuatan mampatan dengan penurunan peratusan keliangan	103
4.11	Keratan rentas sampel yang direndam ke dalam air selepas pemotongan sampel dibuat menunjukkan dua perbezaan pada permukaan sampel iaitu bahagian permukaan yang kering dan basah	108
4.12	Nilai kekerasan untuk permukaan 1	109
4.13	Nilai kekerasan untuk permukaan 2	110
4.14	Nilai kekerasan untuk permukaan 3	111
4.15	Nilai kekerasan untuk permukaan 4	112
4.16	Nilai kekerasan untuk kesemua permukaan 1, 2, 3 dan 4	113
4.17	Kerintangan elektrik pes geopolimer selepas hari ke 7	114



	menunjukkan kenaikan nilai kerintangan elektrik dengan penambahan jarak elektrod dan penurunan nilai arus	
4.18	Kerintangan elektrik pes geopolimer selepas hari ke 14 menunjukkan kenaikan nilai kerintangan elektrik dengan penambahan jarak elektrod dan penurunan nilai arus	115
4.19	Kerintangan elektrik pes geopolimer selepas hari ke 28 menunjukkan kenaikan nilai kerintangan elektrik dengan penambahan jarak elektrod dan penurunan nilai arus	116
4.20	Keratan rentas keluli bar tetulang (keluli karbon)	118
4.21	Spektrum EDS bagi zink anod yang digunakan sebagai anod korban	122
4.22	Graf keupayaan litar terbuka (volts) melawan masa (hari) bagi keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer mampat	123
4.23	Gambar rajah Pourbaix yang menunjukkan nilai keupayaan maksimum dan minimum bagi keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer lengkap berada dalam rantau pasif	124
4.24	Graf keupayaan (volts) melawan masa (hari) Ujian Pengukuran Keupayaan Litar Terbuka bagi keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer dan direndam dalam air paip selama 140 hari	125
4.25	Gambar rajah Pourbaix yang menunjukkan nilai keupayaan bagi keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer dan direndam dalam air paip selama 140 hari berada dalam rantau pasif	126
4.26	Graf keupayaan litar terbuka (volts) melawan masa (hari) bagi keluli bar tetulang dalam larutan buatan pes geopolimer	127
4.27	Gambar rajah Pourbaix menunjukkan nilai keupayaan bagi keluli bar tetulang dalam larutan buatan pes geopolimer pH 11, 12 dan 13 berada dalam rantau pasif	128

4.28	Spektrum XRD bagi sampel keluli bar tetulang dan keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer untuk kajian ini	130
4.29	Mikrograf SEM lapisan pasif yang terbentuk pada keluli bar tetulang yang tertanam dalam pes geopolimer pada pembesaran X700	131
4.30	Graf ekstrapolasi Tafel bagi larutan buatan pes geopolimer pH 11	132
4.31	Graf ekstrapolasi Tafel bagi larutan buatan pes geopolimer pH 12	133
4.32	Graf ekstrapolasi Tafel bagi larutan buatan pes geopolimer pH 13	134
4.33	Gambar rajah Pourbaix bagi sistem Ferum-Air (Fe-H <sub>2</sub> O) pada suhu 25°C di mana terletaknya kelompok 1, 2 dan 3.	139
4.34	Keupayaan Redoks dalam unit Volts vs SHE bagi SK1 dan SK2 untuk tiga keadaan (a) Tanpa rendam ke dalam air laut; (b) Rendam ke dalam air laut dan (c) Rendam ke dalam air laut dengan anod zink bagi jangka masa seminggu	140

## SENARAI SIMBOL

2	Pembelauan sudut
	Pi (3.142)
a	Jarak elektrod
%	Peratus
°C	Darjah Celcius
a	Lengkung bahagian anodik
c	Lengkung bahagian katodik
.m	Ohm.meter
e	Elektron
$E_{corr}$	Keupayaan kakisan
$I_{corr}$	Ketumpatan arus kakisan
$\mu\text{m}$	mikrometer
kN	kiloNewton
M	Kepekatan larutan dalam Molar
$M_n$	Peratusan kandungan lembapan sampel abu terbang
$M_w$	Berat molekul
m	Jisim
mA	miliAmpere
mV	milivolt
n	Bilangan mol
$n_1$	Jisim mangkuk pijar seramik tanpa sampel
$n_2$	Jisim mangkuk pijar seramik + sampel abu terbang

$n_3$	jumlah jisim selepas pemanasan
	Kerintangan
$R_p$	Kadar bopeng
$V$	Voltan
$V$	Isipadu larutan
$W_a$	Jisim sampel dalam air
$W_d$	Berat sampel selepas dikeluarkan dari ketuhar
$W_f$	Berat selepas sampel direndam
$W_i$	Berat sebelum sampel direndam
$W_k$	Jisim sampel sebelum direndam
$W_u$	Jisim sampel di udara
$W_w$	Berat sampel sebelum dimasukkan ke dalam ketuhar

©This item is protected by original copyright

## SENARAI SINGKATAN

3LP	Pengutuban lurus yang selalunya digunakan di dalam ujian makmal
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
Al	Aluminium
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium Oksida
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	Aluminium Silikat
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
B1 - B5	Bahagian 1 - Bahagian 5
CaO	Kalsium Oksida
Ca.SO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Kalsium Sulfat Dihidrat
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida
Cu/CuSO <sub>4</sub>	Kuprum/Kuprum Sulfat
EDS	Ujian Serakan Tenaga X-Ray Spektroskopi
Fe	Ferum
FeO	Ferum Oksida
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferit Oksida
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnetit
FeOOH	Ferum Oksihidroksida
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FTIR	Spektroskopi Inframerah Jelmaan Fourier
Gecor	Sistem analisis untuk konkrit dan keluli terutama di tapak pembinaan
GP	Geopolimer

H	Hematit
H <sub>2</sub> O	Air
HRf	<i>Hardness F Scale</i>
I	Arus
JEOL	<i>Japan Electron Optics Laboratory</i>
KOH	Kalium Hidroksida
L	Liter
LOI	Kehilangan Pencucuhan
M	Mulit
Ma	Magnetit
MgO	Magnesium Oksida
MPa	Mega Pascal
Na	Natrium
NACE	<i>National Association of Corrosion Engineers</i>
NaCl	Natrium Klorida
NaOH	Natrium Hidroksida
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Natrium Silikat
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NTPC	<i>National Thermal Power Corporation</i>
O	Oksigen
OCP	Ujian Pengukuran Keupayaan Litar Terbuka
OH	Hidroksil
OPC	Simen Portland biasa
Q	Kuarza

R	Rintangan
S	Natrium Aluminium Silikat Hidrat
SCE	Elektrod Kalomel Tepu
SEM	Mikroskop Imbasan Elektron
S.H.E	Elektrod Hidrogen Piawai
Si	Silikon
SiO <sub>2</sub>	Silikon Oksida
SK1	Sampel Katodik 1
SK2	Sampel Katodik 2
SO <sub>3</sub>	Sulfur Trioksida
SPCI	South Pacific Chemicals Industries Sendirian Berhad
T1 – T10	Titik 1 – Titik 10
USA	<i>United States of America</i>
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>
SI	<i>The International System of Units</i>
XRD	Pembelauan Sinar-X
XRF	Pendaflour Sinar-X
Zn	Zink

## Kajian Rintangan Kakisan Ke Atas Keluli Bar Tetulang Dalam Pes Geopolimer

### ABSTRAK

Kajian ini adalah untuk memahami rintangan kakisan ke atas keluli bar tetulang dalam geopolimer. Pes geopolimer telah digunakan sebagai struktur binaan menggantikan konkrit simen Portland biasa (OPC). Pes geopolimer diperbuat daripada campuran abu terbang dengan larutan pengaktif alkali iaitu larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan larutan natrium hidroksida (NaOH). Bagi ujian yang melibatkan keluli bar tetulang, keluli karbon diletakkan di bahagian tengah campuran dan dibiarkan mengeras selama 24 jam. Berikunya, pes geopolimer dimasukkan ke dalam ketuhar bagi proses pengawetan selama 24 jam. Suhu yang digunakan ialah  $60^\circ\text{C}$ . Pelbagai ujian dijalankan ke atas pes geopolimer termasuk kajian kakisan ke atas keluli bar tetulang dalam pes tersebut. Antara ujian-ujian yang dijalankan ke atas geopolimer ialah analisis fasa, analisis jenis ikatan, analisis morfologi, ujian penyerapan air, ujian keliangan, ujian kekuatan mampatan, ujian halaju denyutan, ujian rendaman, ujian kekerasan, ujian kerintangan elektrik, ujian pengukuran keupayaan litar terbuka (OCP) dan ujian ekstrapolasi Tafel. Bagi ujian penyerapan air, peratusan kadar penyerapan air semakin berkurangan dari hari ke 7 hingga hari ke 90 iaitu 4.65%, 4.27%, 4.16% dan 3.81%. Ujian keliangan juga mencatatkan penurunan peratusan iaitu daripada 11.95%, 11.02%, 7.65% hingga 3.77% pada hari ke 90. Sebaliknya nilai kekuatan mampatan mencatatkan kenaikan dari hari ke 7 hingga ke 90 dengan bacaan 25.18 MPa, 26.76 MPa, 34.99 MPa dan 56.50 MPa. Nilai kerintangan elektrik geopolimer pada hari ke 28 bagi jarak elektrod 0.10 m dan arus 0.01 mA mencatatkan bacaan yang tertinggi dengan 61575 .m manakala geopolimer pada hari ke 7 bagi jarak elektrod 0.02 m dan arus 0.95 mA mencatatkan nilai kerintangan yang terendah iaitu 537 .m. Ini menunjukkan kadar kakisan dalam geopolimer sangat rendah dan kecil. Bagi ujian OCP sebelum perlindungan katodik anod korban (SACP) diaplikasikan, geopolimer mencatatkan nilai keupayaan minimum dan maksimum dengan masing-masing -0.120 V dan 0.539 V. Daripada ujian-ujian tersebut, kadar kakisan keluli dalam pes geopolimer masih di tahap terkawal dan berada di rantau pasif. Di rantau pasif, satu lapisan oksida iaitu Ferum Oksihidroksida ( $\text{FeOOH}$ ) terbentuk hasil daripada tindak balas antara keluli, mineral dan udara dan melindungi keluli daripada agen-agen kakisan. Tetapi lapisan ini hanya boleh bertahan selama beberapa dekad bergantung kepada persekitarannya. Sekiranya pes atau konkrit tersebut retak, lapisan pasif tersebut juga turut musnah. Oleh itu, kaedah SACP dilaksanakan bagi melindungi keluli bar tetulang dalam pes geopolimer tersebut. Zink anod digunakan sebagai anod korban memandangkan zink mempunyai keelektronegatifan yang lebih tinggi berbanding dengan ferum dalam siri elektrokimia. Selepas ujian dijalankan, didapati bacaan keupayaan berada dalam rantau imuniti dengan nilai keupayaan minimum ialah -0.942 V dan nilai keupayaan maksimum ialah -0.704 V. Dalam rantau imuniti, ferum (Fe) stabil dan kakisan sukar untuk berlaku pada keluli bar tetulang tersebut.