

**GEOPOLIMER BERASASKAN ABU TERBANG
UNTUK APLIKASI KONKRIT RINGAN**

MOHD MUSTAFA AL BAKRI ABDULLAH

© This item is protected by original copyright

**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN BAHAN
UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS**

2014



U*ni***MAP**

Geopolimer Berasaskan Abu Terbang Untuk Aplikasi

Konkrit Ringan

oleh

Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah

0940410445

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah
Doktor Falsafah (Kejuruteraan Bahan)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan
UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

2014

UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

DECLARATION OF THESIS

Author's full name : **Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah**
Date of birth : **16 April 1979**
Title : **Geopolimer Berasaskan Abu Terbang Untuk Aplikasi
Konkrit Ringan**
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 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).

Certified by:

SIGNATURE

790416-11-5389

(NEW IC NO. / PASSPORT NO.)

Date : _____

SIGNATURE OF SUPERVISOR

Prof. Dr. Kamarudin hussin

NAME OF SUPERVISOR

Date : _____

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ku panjatkan ke hadrat Ilahi di atas kesempatan masa dan peluang untuk menyiapkan pengajian di peringkat Doktor Falsafah. Jutaan penghargaan dan terima kasih juga diberikan kepada mereka yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam tempoh proses penyiapan tesis ini. Dengan sempurnanya tesis ini, maka tertinggalah satu titik noktah dalam kehidupan sebagai pelajar pasca-siswazah di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan di Universiti Malaysia Perlis.

Pertamanya, saya ingin mengambil peluang ini untuk menyatakan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia projek saya, Datuk Prof. Dr. Kamarudin Hussin dan penyelia bersama Prof. Madya Dr. Khairul Nizar Ismail di atas pertolongan, bimbingan, peluang dan sokongan yang diberikan. Tanpa bimbingan mereka, kajian ini akan menjadi mustahil. Saya percaya, saya mendapat banyak keyakinan diri melalui kajian ini dan pengalaman yang tidak ternilai. Terima kasih ini juga ditujukan kepada Dr. Khairul Rafezi Ahmad selaku Dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan di atas sokongan dan keprihatinan beliau.

Terima kasih tidak terhingga kepada keluarga saya terutamanya isteri saya Norazian Mohamed Noor serta bonda tercinta di atas sokongan tanpa henti dan membimbing saya sepanjang perjalanan pembelajaran dengan penuh pengorbanan dan kesungguhan dan juga anak-anak yang sangat memahami.

Selain daripada itu, saya juga berterima kasih kepada semua kakitangan **Pusat Kecemerlangan Geopolimer & Teknologi Hijau (CEGeoGTech)** iaitu Rafiza Razak, Zarina Yahya, Liyana Jamaludin, Alida Abdullah, Faheem Tahir, Lokman Hakim dan Izzat Ahmad atas bantuan dan sokongan mereka serta semua juruteknik di atas kesabaran dan bantuan dalam mengendalikan peralatan di dalam makmal termasuk

membekalkan maklumat teknikal tentang bahan-bahan. Adalah mustahil bagi saya untuk melakukan kerja-kerja makmal tanpa panduan dan tunjuk ajar dari mereka.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih tidak terhingga kepada Prof. Dr. Mohammed Binhussain atas kepercayaan menyalurkan geran penyeldikan daripada **King Abdul Aziz City Science & Technology (KACST)** kepada projek ini. Kepada sahabat-sahabat, lain yang tidak mampu disenaraikan, saya ucapkan jutaan terima kasih di atas sokongan yang diberikan sepanjang kajian ini berlangsung. Persahabatan yang ditunjukkan memberikan kekuatan, kesabaran dan pemangkin dalam menempuh onak dan ranjau kajian yang dijalankan.

Akhir kata, penghargaan ini juga ditujukan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan yang telah memberikan satu ruang dengan kemudahan yang terkini dan juga kepada Universiti Malaysia Perlis yang telah menaja pengajian ini. Kepada individu-individu yang telah menyumbang kepada kajian ini, terima kasih diucapkan. Semoga Allah S.W.T membalas jasa kalian. Wassalam.

MMAA, 2014

SENARAI KANDUNGAN

	Muka surat
DEKLARASI TESIS	iii
PENGHARGAAN	iv
SENARAI KANDUNGAN	vi
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI JADUAL	xv
SENARAI SINGKATAN, SIMBOL, TATANAMA KHUSUS	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB 1: PENGENALAN	
1.1. LATAR BELAKANG KAJIAN	1
1.2. PENYATAAN MASALAH	4
1.3. OBJEKTIF KAJIAN	7
1.4. SKOP KAJIAN	8
1.5. KANDUNGAN TESIS	9
BAB 2: KAJIAN LITERATUR	
2.1 PENGENALAN	10
2.2 SEJARAH GEOPOLIMER	11
2.2.1 Ciri-Ciri Geopolimer	13
2.2.2 Aplikasi Geopolimer	14

2.2.3	Pembangunan Pengetahuan Sains Dan Teknologi Geopolimer	15
2.3	PROSES GEOPOLIMER	17
2.3.1	Mekanisma Tindakbalas Kimia Dalam Geopolimer	20
2.4	BAHAN MENTAH DALAM GEOPOLIMER	21
2.5	BAHAN-BAHAN POZZOLAN	22
2.5.1	Pozzolan Buatan	22
2.6	LARUTAN PENGAKTIF ALKALI	24
2.6.1	Alkali Hidroksida	25
2.6.2	Larutan Silikat	26
2.7	AGREGAT (BATU DAN PASIR)	27
2.8	REKA BENTUK CAMPURAN	28
2.8.1	Pelbagaian Kemolaran NaOH	29
2.8.2	Pelbagaian Nisbah Abu Terbang/Pengaktif Alkali dan Nisbah Na ₂ SiO ₃ /NaOH	29
2.8.3	Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengeopolimeran	31
2.9	SIFAT-SIFAT GEOPOLIMER	34
2.9.1	Kebolehkerjaan Geopolimer Segar	34
2.9.2	Kekuatan Mampatan	35
2.10	PENCIRIAN GEOPOLIMER	37
2.10.1	Pendafluor Sinar-X (XRF)	37
2.10.2	Pembelauan Sinar-X (XRD)	38
2.10.3	Spektroskopi Jelmaan Fourier Inframerah (FTIR)	40
2.10.4	Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)	41
2.11	KONKRIT RINGAN	43
2.11.1	Perkadaran Dan Penyediaan Konkrit Busa	45

2.11.2 Sifat-Sifat Konkrit Busa	47
---------------------------------	----

BAB 3: METODOLOGI

3.1	PENGENALAN	49
3.2	BAHAN-BAHAN MENTAH	51
3.2.1	Abu Terbang	51
3.2.2	Natrium Hidroksida (NaOH)	51
3.2.3	Natrium Silikat (Na_2SiO_3)	52
3.3	PENYEDIAAN LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)	52
3.4	PENYEDIAAN LARUTAN PENGAKTIF ALKALI	53
3.5	REKA BENTUK PES GEOPOLIMER	53
3.5.1	Reka Bentuk Kemolaran NaOH	54
3.5.2	Rekabentuk Nisbah Abu Terbang/Larutan Pengaktif Alkali dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	56
3.5.3	Reka Bentuk Optimun Berdasarkan Suhu Pengawetan	58
3.6	PROSES PENCAMPURAN PES GEOPOLIMER	58
3.7	PENUANGAN DAN PENGAWETAN	59
3.8	REKA BENTUK KONKRIT GEOPOLIMER	61
3.9	REKA BENTUK KONKRIT BUSA GEOPOLIMER	62
3.10	SIFAT FIZIKAL, MEKANIKAL DAN PENCIRIAN SAMPEL	
	UJIAN	63
3.10.1	Ujian Kebolehkerjaan	63
3.10.2	Ujian Ketumpatan Pukal	64
3.10.3	Ujian Penyerapan Air	65
3.10.4	Ujian Kekuatan Mampatan	65

3.10.5	Analisis Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)	66
3.10.6	Analisis Corak Pembelauan Sinar-X (XRD)	66
3.10.7	Analisis Spektrokopi Jelmaan Forier Inframerah (FTIR)	66
BAB 4: KEPUTUSAN & PERBINCANGAN		
4.1	PENCIRIAN BAHAN MENTAH	68
4.1.1	Komposisi Kimia Abu Terbang	68
4.1.2	Mikrostruktur Abu Terbang	69
4.1.3	Corak Pembelauan Sinar-X (XRD) Abu Terbang	70
4.2	PENGHASILAN PES GEOPOLIMER	71
4.2.1	Kesan Kemolaran NaOH	71
4.2.2	Nisbah Abu Terbang/Pengaktif Alkali dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	75
4.2.3	Kesan Kekuatan Mampatan Terhadap Suhu Pengawetan	78
4.2.4	Kesan Kekuatan Berdasarkan Masa Pengawetan Dan Usia	80
4.2.5	Kesan Kekuatan Berdasarkan Keadaan Pengawetan	82
4.2.6	Analisa Corak Pembelauan Sinar-X (XRD)	84
4.2.7	Analisis Jelmaan Fourier Inframerah (FTIR)	89
4.2.8	Mikrostruktur Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)	93
4.3	PERBANDINGAN ANTARA KONKRIT GEOPOLIMER DAN PORTLAND SIMEN BIASA (OPC)	101
4.3.1	Ketumpatan Konkrit	101
4.3.2	Kadar Penyerapan Air Dan Keliangan	102
4.3.3	Kekuatan Mampatan	102
4.4	PENGHASILAN KONKRIT RINGAN GEOPOLIMER	106
4.4.1	Konkrit Ringan Geopolimer	106

4.4.2	Kekuatan Mampatan, Keliangan Dan Penyerapan Air Dengan Keadaan Pengawetan Berbeza	107
4.4.3	Analisis Corak Pembelauan Sinar-X (XRD)	110
4.4.4	Analisis Spktroskopi Jelmaan Fourier Inframerah (FTIR)	111
4.4.5	Analisis Mikrostruktur Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)	113
BAB 5: KESIMPULAN		117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Cadangan Penambahbaikan	119
RUJUKAN		121
LAMPIRAN		133

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1.1	Penghasilan abu terbang daripada stesen janakuasa arang batu	5
Rajah 1.2	Peratusan pelepasan karbok dioksida berdasarkan jenis industri	6
Rajah 2.1	Gambaran monomer asal geopolimer	18
Rajah 2.2	Model proses pengaktifan abu terbang menggunakan larutan alkali	19
Rajah 2.3	Kesan pelbagai suhu pengawetan ke atas kekuatan geopolimer	36
Rajah 2.4	Kesan masa pengawetan ke atas kekuatan geopolimer	36
Rajah 2.5	Corak pembelauan Sinar-X (XRD) abu terbang	39
Rajah 2.6	Corak pembelauan Sinar-X (XRD) geopolimer berasaskan abu terbang	39
Rajah 2.7	FTIR abu terbang	40
Rajah 2.8	FTIR abu terbang dan geopolimer berasaskan abu terbang	41
Rajah 2.9	Imej SEM abu terbang	42
Rajah 2.10	Abu terbang yang telah bertindak balas dengan larutan pengaktif alkali	42
Rajah 2.11	Imej SEM geopolimer berasaskan abu terbang	43
Rajah 2.12	Imej SEM konkrit berbasa	48
Rajah 3.1	Carta alir prosedur eksperiman	50
Rajah 3.2	Proses percampuran pes geopolimer	59
Rajah 3.3	Proses pengawetan pes geopolimer	60
Rajah 3.4	Proses pengawetan tanpa dan dengan plastik	60

Rajah 3.5	Mesin NCT penjana busa	62
Rajah 3.6	Peralatan ujian kebolehkerjaan	64
Rajah 4.1	Mikrostruktur SEM abu terbang	70
Rajah 4.2	Corak belauan sinar X (XRD) abu terbang	71
Rajah 4.3	Kekuatan mampatan pada molariti NaOH yang berbeza	73
Rajah 4.4	Kekuatan mampatan bagi molariti NaOH yang berbeza	74
Rajah 4.5	Kekuatan mampatan bagi molariti NaOH yang berbeza untuk beberapa kali ujian	74
Rajah 4.6	Nilai kekuatan mampatan bagi pelbagai nisbah bahan tindak balas	76
Rajah 4.7	Kekuatan mampatan untuk suhu pengawetan yang berbeza	79
Rajah 4.8	Kekuatan mampatan jangka pendek berdasarkan masa pengawetan yang berbeza pada suhu 60 °C	81
Rajah 4.9	Kekuatan mampatan jangka panjang pada usia yang berlainan	82
Rajah 4.10	Kekuatan mampatan dengan keadaan pengawetan berbeza	83
Rajah 4.11	Corak XRD abu terbang dan sampel geopolimer dengan kepekatan NaOH pada 6M, 10M, dan 12M	85
Rajah 4.12	Corak XRD sampel geopolimer dengan pelbagai kepekatan NaOH	86
Rajah 4.13	Corak XRD abu terbang (FA) serta geopolimer dengan nisbah abu terbang/larutan pengaktif alkali (AA) 1.5, 2.0 dan 2.5 dengan Na ₂ SiO ₃ /NaOH 2.5	88
Rajah 4.14	Corak spektrum FTIR abu terbang	89

Rajah 4.15	Corak spektrum FTIR bagi sampel geopolimer dengan pelbagai nisbah a) abu terbang/larutan pengaktif alkali 1.5, b) 2.0 dan c) 2.5 dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5	92
Rajah 4.16	Corak spektrum FTIR bagi sampel geopolimer dengan pelbagai nisbah abu terbang/larutan pengaktif alkali dengan nisbah $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	93
Rajah 4.17	Imej SEM geopolimer dengan: a) 6M, b) 8M, c) 10M, d) 12M, e) 14M, and f) 16M bagi larutan NaOH	95
Rajah 4.18	Imej SEM bagi sampel geopolimer dengan pelbagai nisbah abu terbang/larutan pengaktif alkali a) 1.5, b) 2.0 dan c) 2.5 dengan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5	97
Rajah 4.19	Imej SEM sampel geopolimer dengan pelbagai reka bentuk campuran: a) abu terbang/larutan pengaktif alkali 2.5 dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 2.5, serta b) abu terbang/larutan pengaktif alkali 2.5 dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 3.0	99
Rajah 4.20	Imej SEM sampel geopolimer dengan suhu pengawetan berbeza; a) 50 °C, b) 60 °C, c) 70 °C, d) 80 °C, dan e) suhu bilik	100
Rajah 4.21	Kekuatan mampatan konkrit geopolimer dan OPC dengan nisbah abu terbang (FA)/simen Portland (OPC) dan agregat (AGG) yang berbeza	105
Rajah 4.22	Kekuatan mampatan konkrit ringan geopolimer pada usia dan keadaan pengawetan yang berbeza	108
Rajah 4.23	Corak XRD sampel konkrit ringan geopolimer dengan suhu pengawetan 60 °C dan suhu bilik (RT)	110

- Rajah 4.24** Corak spektrum FTIR bagi sampel konkrit ringan geopolimer dengan suhu pengawetan 60 °C dan suhu bilik (RT) 112
- Rajah 4.25** (a) Taburan liang LC3 (b) Taburan liang LC4 (c) Imej SEM LC3 pada pembesaran 2000x, (d) LC4 pada pembesaran 2000x, (e) LC3 pada pembesaran 5000x, (f) LC4 pada pembesaran 5000x 114

© This item is protected by original copyright

SENARAI JADUAL

	Muka surat
Jadual 2.1 Sejarah bibliografi beberapa ciptaan penting tentang pengikat pengaktif alkali	11
Jadual 2.2 Komposisi kimia abu terbang berlainan tempat	23
Jadual 2.3 Kesan nisbah $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dan kepekatan larutan NaOH bagi geopolimer berasaskan abu terbang	31
Jadual 2.4 Keadaan pengawetan yang disyorkan oleh beberapa penyelidik bagi geopolimer berasaskan abu terbang	32
Jadual 2.5 Komposisi kimia abu terbang	37
Jadual 2.6 Sifat-sifat tipikal konkrit busa	47
Jadual 3.1 Sifat-sifat Sodium Hidroksida (NaOH)	51
Jadual 3.2 Julat keseluruhan parameter bagi penyediaan pes geopolimer	53
Jadual 3.3 Butiran penyediaan larutan NaOH	54
Jadual 3.4 Rekabentuk percampuran bagi penyediaan pes geopolimer pelbagai kemolaran NaOH	55
Jadual 3.5 Reka bentuk nisbah abu terbang/larutan pengaktif alkali dan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	57
Jadual 3.6 Reka bentuk campuran untuk konkrit geopolimer dan OPC	61
Jadual 3.7 Reka bentuk campuran konkrit ringan geopolimer	63
Jadual 4.1 Komposisi kimia abu terbang	69
Jadual 4.2 Jalur (<i>band</i>) penyerapan FTIR abu terbang	90

Jadual 4.3	Jalur (<i>band</i>) penyerapan FTIR bagi sampel geopolimer dengan pelbagai nisbah abu terbang/larutan pengaktif alkali 1.5, 2.0 dan 2.5 dengan Na ₂ SiO ₃ /NaOH 2.5	91
Jadual 4.4	Ketumpatan, kadar penyerapan dan keliangan konkrit geopolimer dan OPC dengan pelbagai nisbah simen:agregat	101
Jadual 4.5	Perbandingan kekuatan mampatan konkrit geopolimer dan OPC	103
Jadual 4.6	Ketumpatan dan kekuatan mampatan hari ke-7 konkrit ringan geopolimer pada suhu pengawetan 60 °C	106
Jadual 4.7	Purata nilai keliangan dan penyerapan air konkrit ringan geopolimer	109
Jadual 4.8	Jalur (<i>band</i>) penyerapan FTIR bagi sampel konkrit ringan geopolimer dengan suhu pengawetan 60 °C dan suhu bilik (RT)	112
Jadual 4.9	Nilai optimum raka bentuk geopolimer berasaskan abu terbang Malaysia	116

SENARAI SINGKATAN, SIMBOL, TATANAMA KHUSUS

AcerS	<i>American Ceramic Society</i>
Al	<i>Aluminium</i>
Al ₂ O ₃	<i>Aluminium Oxide</i>
AlO ₄	<i>Aluminate</i>
Al-Si	<i>Aluminium-Silica</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BaO	<i>barium Oxide</i>
CaO	<i>Calcium Oxide</i>
CIAQ	<i>Concreting Industry Association of Queensland</i>
CSIRO	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization</i>
Fe ₂ O ₃	<i>Iron Oxide</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
GGBS	<i>Ground Granulated Blast-Furnace Slag</i>
HIPS	<i>Hybrid Inorganic Polymer System</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
K ₂ O	<i>Potassium Oxide</i>
K ₂ SiO ₃	<i>Potassium Silicate</i>
KOH	<i>Kalium Hydroxide</i>
LOI	<i>Loss of Ignition</i>
MgO	<i>Magnesium Oxide</i>
MnO	<i>Manganese Oxide</i>
Na	<i>Natrium</i>
Na ₂ O	<i>Sodium Oxide</i>

Na ₂ SiO ₃	<i>Sodium Silicate</i>
NaOH	<i>Sodium Hydroxide</i>
OH	<i>Hydroxide</i>
OPC	<i>Ordinary Portland Cement</i>
P ₂ O ₅	<i>Diphosphorus Pentoxide</i>
RT	<i>Room Temperature</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
Si	<i>Silicon</i>
SiO ₂	<i>Silicon Oxide</i>
SiO ₄	<i>Silicate</i>
SO ₃	<i>Sulphur Trioxide</i>
SPCI	<i>South Pacific Chemicals Industries Sdn. Bhd.</i>
SrO	<i>Strontium Oxide</i>
TiO ₂	<i>Titanium Oxide</i>
XRD	<i>X-ray Diffraction</i>
XRF	<i>X-ray Fluorescence</i>
ZrO ₂	<i>Zirconium Dioxide</i>

© This item is protected by original copyright

GEOPOLIMER BERASASKAN ABU TERBANG UNTUK APLIKASI

KONKRIT RINGAN

ABSTRAK

Proses pengeopolimeran merupakan proses pengaktifan bahan pozolan dengan larutan pengaktif alkali menggunakan abu terbang sebagai sumber aluminosilikat. Kajian ini merangkumi penghasilan konkrit ringan daripada abu terbang melalui proses pengeopolimeran. Matlamat kajian ini adalah untuk mengenalpasti kesan beberapa parameter utama kepada sifat-sifat geopolimer berasaskan abu terbang dan aplikasinya sebagai konkrit ringan. Abu terbang merupakan bahan mentah utama yang diperolehi daripada sisa buangan stesen janakuasa yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. Proses penghasilan konkrit geopolimer ini melibatkan beberapa proses utama iaitu rekabentuk, penyediaan larutan pengaktif alkali, pencampuran, persampelan dan pengawetan (rawatan haba). Fasa pertama adalah penghasilan rekabentuk optimum melalui proses kajian terhadap pes geopolimer. Seterusnya, kajian terhadap konkrit geopolimer dengan penggunaan nisbah agregat kasar dan halus adalah 60:40 memberikan kekuatan optimum. Kajian kesesuaian geopolimer sebagai konkrit ringan juga turut dikaji. Pencirian sampel juga dibuat menggunakan ujian fizikal, ujian mampatan, penyerakan sinar-X (XRD), analisis belauan sinar X (XRF), spektroskopi inframerah jelmaan fourier (FTIR) serta morfologi menggunakan mikroskop imbasan elektron (SEM). Daripada penyelidikan, keputusan mencadangkan bahawa 12M larutan natrium hidroksida (NaOH), nisbah pepejal/cecair 2.0, nisbah pengaktif alkali 2.5 dan suhu pengawetan 60 °C merupakan keadaan optimum untuk penghasilan geopolimer berasaskan abu terbang. Ini telah terbukti melalui keputusan XRD yang menunjukkan bahawa keamatan kandungan kuartz pada 12M amat mudah dikesan dan menyumbang kepada kekuatan mampat yang tertinggi. Kekuatan mortar geopolimer mencapai 79.16 MPa pada hari ke-28 manakala kekuatan konkrit geopolimer pula mencapai kekuatan 49.30 MPa dengan nisbah agregat kepada abu terbang optimum adalah 70:30. Bagi konkrit ringan pula mencapai kekuatan sehingga 18.19 MPa pada hari ke-28 dengan ketumpatan 1653 kg/m³. Konkrit ini boleh dikelaskan sebagai konkrit ringan kerana mempunyai ketumpatan kurang daripada 1800 kg/m³.

FLY ASH-BASED GEOPOLYMER FOR LIGHTWEIGHT CONCRETE APPLICATION

ABSTRACT

Geopolymerization process is the activation process of pozzolanic material with an alkaline activator solution using fly ash as a source of aluminosilicate. This study includes the production of lightweight concrete from fly ash through geopolymerization. The goal of this study is to determine the impact of several key parameters on the properties of fly ash-based geopolymer and its applications as lightweight concrete. Fly ash is the main raw material derived from power plant waste that can cause environmental pollution. Production process of geopolymer concrete involves several major processes namely design, preparation of alkaline activator solution, mixing, sampling and curing (heat treatment). The first phase is the production of an optimum design through study of the geopolymer paste. Next, studies on the geopolymer concrete with the use of coarse and fine aggregate ratio 60:40 was giving optimum strength. The feasibility of geopolymer as lightweight concrete was also studied. Characterization of samples also made using physical test, compression test, X-ray scattering (XRD), X-ray diffraction analysis (XRF), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and morphology by scanning electron microscopy (SEM). From the research, the results suggest that 12M solution of sodium hydroxide (NaOH), the ratio of solid / liquid 2.0, the ratio of alkaline activator 2.5 and curing temperature of 60 °C is the optimum conditions for the production of fly ash-based geopolymer. This was proved by XRD results that show the intensity of quartz content in 12M very easily detected and contribute to the highest compressive strength. Strength of geopolymer mortar reaches 79.16 MPa at 28 day whereas the strength of geopolymer concrete reach 49.30 MPa with optimum ratio of aggregate to fly ash is 70:30. For lightweight concrete, strength achieved 18.19 MPa at 28 days with density of 1653 kg/m³. This concrete can be classified as lightweight concrete because having density less than 1800 kg/m³.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Geopolimer adalah salah satu bahan baru dan telah disiasat, dikaji, dan digunakan untuk beberapa dekad oleh beberapa penyelidik di seluruh dunia. Geopolimer mula-mula diperkenalkan oleh Profesor Joseph Davidovits di State Quentin, Perancis, pada tahun 1979 (Davidovits, 1988). Ciri-ciri utama geopolimer adalah kekuatan mampatan yang tinggi, pengecutan yang rendah, rintangan asid, rintangan api dan rintangan haba yang rendah bergantung kepada bahan mentah yang digunakan dan keadaan pemprosesan (Duxson, et. al., 2007). Bahan berasaskan geopolimer melibatkan tindak balas kimia yang dikenali sebagai proses pengeopolimeran menghasilkan polimer dengan ikatan Si-O-Al. Proses pengeopolimeran melibatkan tindak balas kimia yang jauh lebih cepat di bawah larutan pengaktif alkali ke atas bahan berasaskan silika – aluminium. Banyak penyelidikan telah dikaji dengan penggunaan abu terbang sebagai bahan sumber dalam membuat bahan-bahan geopolimer. Walau bagaimanapun, terdapat maklumat terhad yang boleh didapati mengenai menggunakan teknologi geopolimer berasaskan abu terbang untuk membuat konkrit geopolimer ringan.

Geopolimer ialah satu kelas polimer inorganik yang terbentuk oleh pengaktifan beralkali sumber alumino-silikat dan larutan beralkali melalui proses pengeopolimeran pada

suhu ambien atau lebih tinggi (Yao, et. al., 2009). Polimer inorganik ini terdiri daripada amorfus dengan struktur tiga dimensi (Rowles & O'Connor, 2003) yang terbentuk daripada pempolimeran spesies $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ (Zhang, et. al., 2010). Ia adalah sama seperti alumino-silikat yang berbentuk kaca. Walau bagaimanapun, bahan ini terbentuk pada suhu rendah dan boleh menggabungkan agregat dan sistem tetulang semasa proses pembentukan konkrit.

Penyelidikan awal oleh Davidovits (1989) telah membuktikan bahawa geopolimer adalah murah untuk dihasilkan. Geopolimer boleh terbentuk daripada campuran bahan semula jadi dengan natrium hidroksida dan air. Oleh kerana proses kimia yang terlibat adalah sama, proses pengeopolimeran geopolimer adalah dianggap analog dengan sintesis zeolit. Walau bagaimanapun, produk geopolimer tidak mempunyai komposisi stoikiometri, tetapi ia terdiri daripada campuran struktur amorfus atau separa hablur dan hablur partikel Al-Si (Davidovits, 1991).

Abu terbang adalah bahan zarah halus dipisahkan daripada gas serombong stesen janakuasa arang batu yang kaya dengan alumina dan silika. Sebagai pengeluaran abu terbang yang semakin meningkat secara berterusan dan menimbulkan masalah pencemaran alam sekitar yang serius, ini tidak seharusnya dilupuskan semata-mata untuk mengelakkan pencemaran alam sekitar, tetapi harus dianggap sebagai sumber berharga atau digunakan semula sebagai bahan mentah dalam teknologi baru dengan ciri-ciri yang baik. *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah mengklasifikasikan abu terbang kepada dua kelas iaitu kelas F (kalsium Rendah) dan kelas C (kalsium Tinggi) berdasarkan (ASTM C618, 2001). Abu terbang kelas F mempunyai sebahagian besar unsur bahan pozzolana (Si atau Al)

dan boleh diaktifkan oleh larutan pengaktif alkali yang tinggi untuk bertindak sebagai pengikat melalui tindak balas pengeopolimeran (Swanepoel & Strydom, 2002).

Larutan pengaktif alkali yang paling biasa digunakan dalam sistem geopolimer ialah campuran air, natrium hidroksida dan natrium silikat. Sistem logam alkali, campuran alkali yang berbeza ataupun sisa alkali pekat juga boleh digunakan sebagai larutan pengaktif (Rowles & O'Connor, 2003). Dengan menggunakan larutan pengaktif yang berbeza, komposisi akhir polimer inorganik ini turut berbeza (Rowles & O'Connor, 2003). Pengikat yang biasa digunakan adalah abu terbang, sangga relau bagas atau metakaolin dan bahan alumino-silikat.

Semasa proses pengeopolimeran, serbuk alumino-silikat diadunkan dengan larutan pengaktif alkali dan pes kemudiannya ditransformasikan kepada geopolimer keras dengan cepat. Oleh itu, pes tidak mempunyai masa yang cukup untuk membentuk struktur hablur dengan sepenuhnya. Ini adalah merupakan perbezaan asas antara zeolit dan geopolimer. Selepas pengerasan, geopolimer dengan struktur polihablur ini mempamerkan sifat mekanikal yang lebih baik berbanding dengan zeolit yang mempunyai ketumpatan yang lebih rendah dengan struktur hablur dalam bentuk sangkar (Xu & Van Deventer, 2000).

Proses pengeopolimeran melibatkan proses larut resap, kondensasi dan pengerasan, sementara proses sintesis zeolit berkaitan dengan pra-penukleusan, penukleusan dan pembentukan hablur. Di samping itu, geopolimer biasanya mengeras pada suhu yang lebih rendah daripada yang diperlukan dalam pembentukan zeolit (Davidovits, 1991). Faktor-faktor yang mempengaruhi sintesis zeolit adalah termasuk suhu, pH dan kation dan ia dipercayai bahawa ketiga-tiga faktor ini juga mempengaruhi proses geopolimer.

Pada masa kini, penghasilan bahan geopolimer berasaskan abu terbang lebih menumpu kepada bahan yang berprestasi tinggi dan lebih baik kualitinya serta ketahanan dan kekuatan tinggi sebagai bahan pembinaan. Pembangunan konkrit ringan geopolimer berasaskan abu terbang masih belum diterokai. Oleh itu, banyak penyelidikan lanjut mengenai konkrit ringan geopolimer perlu dilaksanakan bagi meningkatkan kualiti dalam pembinaan bangunan dan infrastruktur lain. Jika dibandingkan konkrit ringan konvensional yang digunakan di Malaysia, kebanyakan masih menggunakan simen Portland sebagai bahan utama. Kajian ini menggunakan abu terbang sebagai bahan utama dan ini sedikit sebanyak membantu mengurangkan kesan masalah alam sekitar.

1.2 PENYATAAN MASALAH

Matlamat utama kajian ini adalah untuk menghasilkan bahan baru iaitu bahan geopolimer yang lebih menumpukan kepada konkrit ringan geopolimer dengan cara yang memberi manfaat kepada alam sekitar dan industri pembinaan. Untuk mencapai matlamat ini, pemeliharaan sumber semula jadi atau bahan buangan boleh menjadi penyelesaian alternatif yang progresif bagi menghasilkan bahan-bahan binaan yang mesra alam sekitar, di samping mengurangkan kadar abu terbang yang dilupuskan di tapak pelupusan.

Setiap tahun, beribu tan abu terbang yang dijana dari stesen-stesen kuasa haba serta industri petrokimia di seluruh dunia dihasilkan. Berdasarkan Laporan Kualiti Alam Sekitar Malaysia (2011), 980 ribu tan lebih abu terbang dihasilkan daripada dua sumber utama iaitu stesen janakuasa dan industri. Dengan adanya kuantiti abu terbang yang banyak ini telah menimbulkan masalah dalam operasi pelupusan dan alam sekitar yang amat besar. Atas sebab